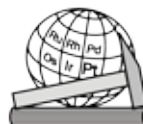




САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ

I НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА В.Г. ЛАЗАРЕНКОВА

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ



Санкт-Петербург

25 мая

2016

УДК 553.491.8

ББК 26.34+65.304.12

П 781

Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы геологии и эксплуатации месторождений платиновых металлов (I научные чтения памяти проф. В.Г. Лазаренкова)», 25 мая 2016 г., Санкт-Петербург, Горный университет – СПб: Изд-во СПГУ 2016. 184 с.

В сборнике представлены материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы геологии и эксплуатации месторождений платиновых металлов (I научные чтения памяти профессора В.Г. Лазаренкова)», проходившей 25 мая 2016 г. в Горном университете, Санкт-Петербург. Отражены актуальные проблемы геологии, геохимии, минералогии и эксплуатации месторождений платиновых металлов. Материалы сборника представляют интерес для широкого круга специалистов, работающих в области поиска, разведки, добычи и переработки платиновых металлов.

Представленные в сборнике материалы опубликованы в авторской редакции.

Редакционная коллегия:

И.В. Таловина (отв. редактор), Н.И. Воронцова, А.М. Дурягина

© Коллектив авторов, 2016

© Санкт-Петербургский горный
университет, 2015

UDK 553.491.8

BBK 26.34+65.304.12

P 781

Proceedings of All-Russian conference with international participation «Problems of geology and exploitation of platinum metal deposits» (I-st readings devoted to Professor VG Lazarenkov memory), 25 May 2016, St.-Petersburg, Mining university. – St-P.: SPGU, 2016. 184 p.

The volume contains papers of All-Russian conference with international participation «Problems of geology and exploitation of platinum metal deposits» (I-st readings devoted to Professor VG Lazarenkov memory), which was held at Saint-Petersburg Mining university. Publication reflects the problems of geology, geochemistry and exploitation of Platinum metals. The volume can be of great interest for a wide range of specialists involved in exploration, prospecting, development and processing of Platinum metals.

Materials represented in the volume are published in the authors' version.

Editorial team:

I. Talovina (Resp. editor), N. Vorontsova, A. Duryagina

© Group of authors, 2015

©St-Petersburg Mining university, 2016

Организаторы

Санкт-Петербургский горный университет

Фрайбергская горная академия

ОРГКОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

И.В. Таловина – заведующая кафедрой исторической и динамической геологии, д.г.-м.н.

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Ю.Б. Марин - член-корр. РАН, д.г.-м.н., профессор, Горный университет

Г. Хайде - директор института минералогии Фрайбергской горной академии (ФГА), профессор

Х. Либервирт – директор института обогащения ФГА, профессор

Т.Н. Александрова – заведующая кафедрой обогащения полезных ископаемых, д.т.н., доцент

М.А. Иванов – заведующий кафедрой минералогии, кристаллографии и петрографии, д.г.-м.н., доцент

В.Т. Борзенков - начальник управления международной деятельности, к.т.н.

РАБОЧАЯ ГРУППА:

И.В. Таловина – заведующая кафедрой ИДГ, д.г.-м.н.

Н.И. Воронцова - доцент кафедры ГРМПИ, к.г.-м.н.

А.М. Дурягина – ассистент кафедры ИДГ, к.г.-м.н.

М.М. Мачевариани – ассистент кафедры ИДГ, к.г.-м.н.

В.С. Никифорова – аспирант кафедры ИДГ

Е.Н. Николаева – аспирант кафедры ИДГ

Р.Н. Сагдиева – аспирант кафедры ИДГ

А.Н. Штырляева – аспирант кафедры ИДГ

Е.В. Малеваник – ведущий инженер каф. ИДГ

А.Н. Ковалева – начальник ОПиО

Е.А. Карасев – начальник ЦНИТСО

Е.Е. Попова – директор Горного музея

Organizers

St-Petersburg Mining University

Freiberg University of Mining and Technology

ORGANIZING COMMITTEE

CHAIRMAN:

I. Talovina – Head of the Department of Historical and Dynamic Geology,
Dr of Geol-min. Sciences, Mining University

COMMITTEE MEMBERS:

Yu. Marin – Corr. member RAS, Dr of Geol-min. Sciences, professor, Mining University

G. Heide – Director, Institute of Mineralogy, Freiberg University, Professor

H. Libervirt – Director, Institute of mineral processing, professor

T. Alexandrova - Head of the Department of Mineral Processing, Dr of Sciences, Mining University

M. Ivanov – Head of the Department of Mineralogy, Crystallography and Petrology, Dr of Sciences, Mining University

V. Borzenkov – head of international programs centre, Ph.D., Mining University

ORGANIZING COMMITTEE MEMBERS

I. Talovina – Head of the Department IDG, Doctor of sciences

N. Vorontsova – Associate Professor of the Department GRMPI, Ph.D.

A. Duryagina – Assistant lecturer of the Department IDG, Ph.D.

M. Machevariani – Assistant lecturer of the Department IDG, Ph.D.

V. Nikiforova – Post-graduate student of the Department IDG

E. Nikolaeva – Post-graduate student of the Department IDG

R. Sagdieva – Post-graduate student of the Department IDG

A. Shtyrlyaeva – Post-graduate student of the Department IDG

E. Malevanik – Leading Engineer of the Department IDG

A. Kovalev – head of OPiO

E. Karasev – Head of TSNITSO

E. Popova – Director of the Mining Museum

Оглавление

| | |
|---|-----|
| СЕКЦИЯ 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ И ОСВОЕНИЯ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ | 8 |
| <i>Турченко С.И.</i> Геодинамика раннего докембрия (3.8-1.65 млрд лет) и изотопно-геохимическая этапность платинометалльного рудообразования | 8 |
| <i>Петров С.В., Бороздин А.П., Полеховский Ю.С., Тарасова И.П.</i> Последовательность минералообразования в сульфидно-платинометалльных рудах в косьвитах Кондёрского массива | 16 |
| <i>Пилюгин А.Г., Бугаев И.А.</i> Общие вопросы геологии медно-платино-палладиевого оруденения массива Кондер, Дальний Восток России | 22 |
| <i>Гуревич Д.В., Полонянкин А.А.</i> Сульфидные полиминеральные Pt-Pd руды массива Кондёр, Хабаровский Край: геологическая позиция | 27 |
| <i>Sidorov E.G., Ignatyev E.K., Chubarov V.M.</i> The first finding of PGM in the ore of Kirganic copper-porphyry deposit (Kamchatka) | 47 |
| <i>Телегин Ю.М.</i> Некоторые особенности платиноносных минерализованных зон Светлоборского пироксенит-дунитового массива (Средний Урал) | 53 |
| <i>Schlothauer T., Heide G.</i> Host rock related unusual trace element concentrations of the BiCoNi-Assoziation from the Schlema-Alberoda polymetallic uranium deposit | 57 |
| <i>Казанов О.В., Корнеев С.И., Петров С.В., Фролова А.А.</i> Особенности распределения минералов благородных металлов в медно-платиновых жилах участка Западный Ниттис Мончегорского расслоенного плутона (Кольский п-ов) | 62 |
| <i>Еременко Е.Г., Петров С.В.</i> Особенности благороднометалльной минерализации в окисленных жильных сульфидных рудах г. Ниттис (Мончегорский район) | 66 |
| <i>Киселева О.Н., Айриянц Е.В., Жмодик С.М., Белянин Д.К.</i> Селениды рутения в хромититах Дунжугурского офиолитового комплекса | 71 |
| <i>Пономарева Г.А.</i> Геохимические особенности распределения палладия в рудных месторождениях Оренбургской части Южного Урала | 75 |
| <i>Гусев А.В.</i> Структурные факторы контроля размещения платинометалльного оруденения в пределах Онежской палеопротерозойской структуры и прилегающих территорий | 80 |
| <i>Стокрацкая Л.С.</i> Из истории российской платины | 85 |
| СЕКЦИЯ 2. ПЛАТИНОВЫЕ РОССЫПИ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ: ГЕОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ | 91 |
| <i>Мочалов А.Г., Якубович О.В.</i> ¹⁹⁰ Pt- ⁴ He возраст самородков платины щелочно-ультраосновного массива Кондёр (Хабаровский край, Россия) | 91 |
| <i>Толстых Н.Д., Сидоров Е.Г.</i> Рутениридосминовая ассоциация в россыпи реки Хатырка (Корякия) | 99 |
| <i>Lehmann, Uwe.</i> Gold and platinum group minerals in Cenozoic sediments of Saxony (Federal Republic of Germany) | 105 |
| <i>Воронцова Н.И., Таловина И.В.</i> Платиноиды, золото и серебро в месторождениях кор выветривания на офиолитовых массивах с дунит-гарцбургитовым типом субстрата, Урал | 111 |
| <i>Дурачина А.М., Таловина И.В.</i> Платинометалльная специализация зонального профиля выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов, Средний Урал | 120 |
| <i>Сагдиева Р.К., Таловина И.В.</i> Первая находка самородной платины на Еловском гипергенном силикатно-никелевом месторождении Серовского района (Северный Урал) | 125 |

| | |
|---|-----|
| <i>Кутырев А.В., Сидоров Е.Г., Антонов А.В.</i> Платинометалльная ассоциация ручья Прижимный, Камчатка | 131 |
| СЕКЦИЯ 3. ПРОЦЕССЫ РУДОПОДГОТОВКИ И КОМПЛЕКСНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩЕГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ | 135 |
| <i>Козлов А.П., Толстых Н.Д.</i> Основные технологические свойства платиносодержащей минерализации зональных базит-ультрабазитовых массивов | 135 |
| <i>Петров Г.В., Андреев Ю.В., Сидорова М.С.</i> Извлечение платиновых металлов при переработке хромитовых руд дунитовых массивов | 140 |
| <i>Корчевенков С.А., Александрова Т.Н.</i> Перспективы извлечения мелких частиц МПГ из отвалов месторождения Кондёр | 146 |
| <i>Александрова Т.Н., Ромашев А.О., Павлова У.М.</i> Извлечение платиноидов из нетрадиционного платиносодержащего сырья | 150 |
| <i>Афанасова А.В., Александрова Т.Н.</i> Технологические аспекты извлечения металлов платиновой группы из углеродсодержащих пород | 154 |
| <i>Петров С.В., Алексеев И.А., Шелухина Ю.С.</i> Технологическая минералогия металлов платиновой группы в месторождениях малосульфидного типа | 160 |
| <i>Петров Г.В., Фокина С.Б., Бодуэн А.Я., Зотова И.Е.</i> Кучное выщелачивание Pt-содержащих хвостов обогащения Инаглинского месторождения хромитовых руд | 168 |
| <i>Дубовиков О.А., Таловина И.В., Логинов Д.А., Николаева Е.С.</i> Исследование термического разложения шамозита | 172 |
| <i>Афанасьев В.Г., Волошинова И.В., Шайдуров В.Н.</i> Петр Соболевский – основоположник порошковой металлургии | 179 |

СЕКЦИЯ 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ И ОСВОЕНИЯ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ

УДК 553.21, 553.491

ГЕОДИНАМИКА РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ (3.8–1.65 МЛРД. ЛЕТ) И ИЗОТОПНО- ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭТАПНОСТЬ ПЛАТИНОМЕТАЛЬНОГО (PGE) РУДООБРАЗОВАНИЯ

Турченко С.И.

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены этапы формирования континентальной коры в раннедокембрийское время (3.8–1.65 млрд. лет) совместно с образованием геохимически различных доменов из-за первичной неоднородности солнечной небулы и соответственно земного вещества. На фоне развития палеоархейского (3.8–3.5 млрд. лет), мезо- и неоархейского (3.4–2.6 млрд. лет) и палеопротерозойского (2.5–1.65 млрд. лет) этапов становления мантии и коры происходило образование мантийных мафит-ультрамафитовых интрузивных комплексов, несущих PGE ассоциации и в различной степени ассимилировавших участки континентальной коры. В зависимости от этого образовывались платинометалльные месторождения различной геохимической направленности и различных размеров, которые вскрывались рифтогенными структурами.

Ключевые слова: ранний докембрий; этапы становления мантии и коры; образование платинометалльных месторождений.

GEODYNAMIC OF EARLY PRECAMBRIAN (3.8–1.65 Ga) AND ISOTOPIC- GEOCHEMICAL STAGES OF PGE OREFORMING

Turchenko S. I.

Institute of Precambrian Geology and Geochronology PAS

ABSTRACT

In this paper is consider a stages of forming continental crust during Early Precambrian (3.8–1.65 Ga) together with making of domens different by geochemical property from ordinary nonhomogeneous Solar nebula and Earth's matter. At the phone of development Paleoarchaeon (3.8–3.5 Ga), Mezo- and Neoarchaeon (3.4–2.6 Ga) and Paleoproterozoic (2.5–1.65 Ga) stages

mantle and crust becoming are forming mantle mafic-ultramafic intrusions that carried PGE associations and are assimilated differential plots of continental crust. In conclusion PGE mineral deposits with various geochemical trend and sizes were formed. At the next its were excavated by rifts.

Keywords: Early Precambrian; stages of appearance mantle and crust with PGE elements; forming of PGE deposits.

На основании изучения распределения изотопов благородных газов [1] установлен возраст Земли в 4.45 ± 0.02 млрд. лет, образовавшейся в результате холодной агглютинации первичного вещества Солнечной системы и имевшего признаки наиболее ранней вещественной неоднородности. Предполагается также, что в результате последовавших метеоритных ударов и в особенности крупных планетозималей произошло частичное плавление первичного земного вещества и разогрев глубинных частей Земли, что создало

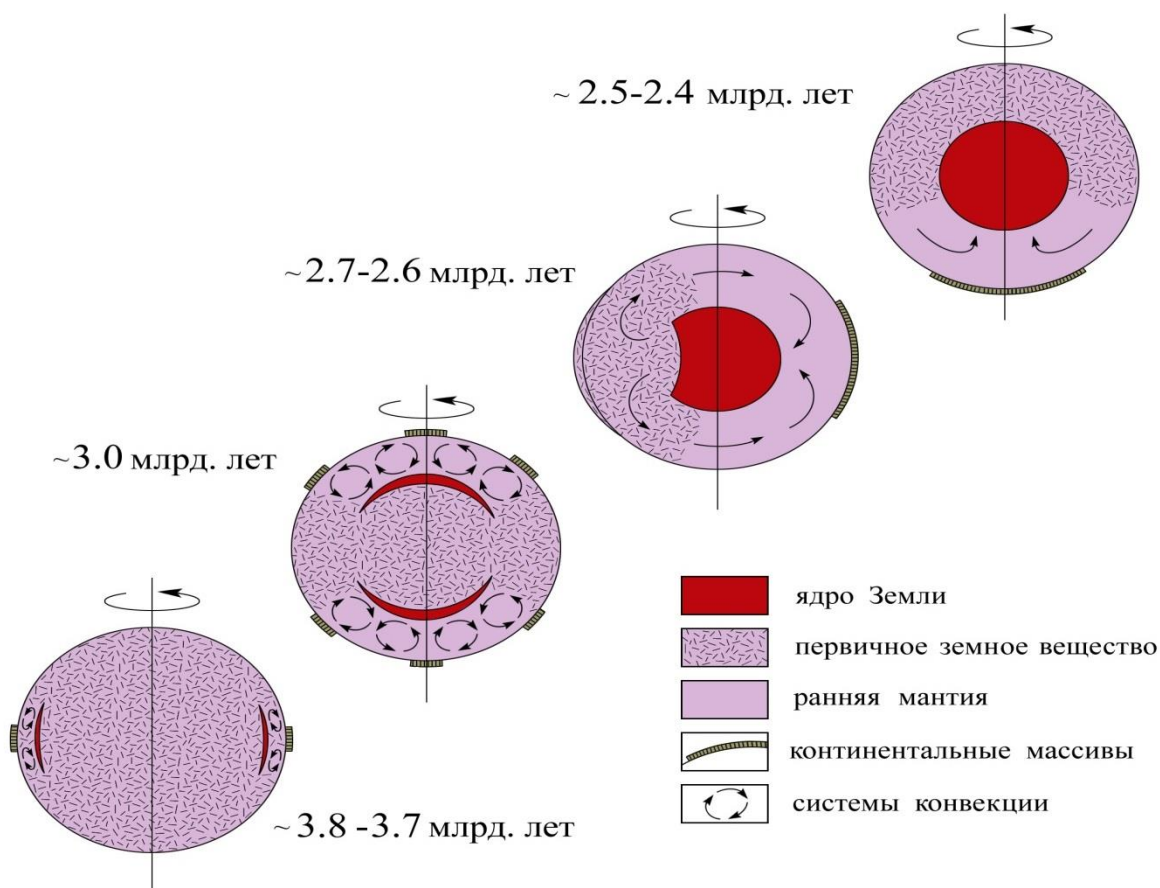


Рис.1. Последовательные этапы развития земного вещества, формирование ядра Земли, многоячейковых и двоячейковых систем конвекции.

Красным показаны этапы формирования ядра Земли, черточками – первичное земное вещество, розовым – ранняя мантия, радиальной штриховкой – континентальные массивы. По [2].

первичный магматический океан гадейского этапа, но сохранивший глобальные неоднородности. Интенсивная метеоритная бомбардировка, в сопоставлении с данными по Луне, длилась в период приблизительно до 3.8 млрд. лет и продолжалась с постепенным затуханием до конца архея. К этому же временному этапу относится начало выделения земного ядра и соответственно формирование протомантийного вещества, послужившего основой для создания мантийного глубинного слоя. В этом слое произошла за период 3.8-3.5 млрд. лет дифференциация мантии на геохимически различные домены из-за первичной неоднородности земного вещества с образованием хондритового и деплетированного мантийных резервуаров. В это же время произошла существенная перестройка структуры литосферы, связанная, вероятно, с образованием конвективных ячеек в мантии и появлением ранних микроконтинетов (рис.1).

Граница архей-протерозой (2.6–2.5 млрд. лет) отмечена коренным изменением в характере мантийных процессов - от мелкочаеистого типа конвекции в высоконагретой архейской мантии к преобразованию в одно- или двучейковые системы конвекции [2]. Согласно расчетам этих авторов, переход от мелкочаеистой к одно-двучейковой системе конвекции определялся завершением процесса отделения земного ядра и, соответственно, изменением тектонического стиля (переход к развитию плюм и плейт-тектонических процессов). Это сопровождалось изменением стиля осадконакопления, наращиванием массы континентальной коры и соответственно характера магматизма и металлогении (рис.2).

Для архейского периода геологической истории характерно существование относительно небольших континентальных плит, размеры которых постепенно возрастали вплоть до образования единого суперконтинента Пангея-0. Следы наиболее древних континентальных пород обнаружены в Зап. Австралии, где найдены цирконы с возрастом древнее 4.0 млрд. лет, причем некоторые из них с низкими значениями $\delta^{18}\text{O} < 6.5\%$ [3] свидетельствуют о существовании мафитовой коры. Небольшие по площади участки древнейших горных пород (древнее 3550 млн. лет) обнаружены также в Гренландии, Канаде, Антарктиде, Китае, России. Для пород мантийного происхождения (коматиитов, пикритов, габбро-пироксенитов и мафических даек) палео- и мезоархейского возраста (3.8–3.2 млрд. лет) установлены по Sm-Nd возрастным данным положительные и нулевые значения ϵNd , отвечающие первичному деплетированному и хондритовому резервуарам [4, 5, 6]. Имеются также отрицательные значения ϵNd , соответствующие веществу контаминированному континентальными отложениями. Однако из-за дефицита серы в таких древнейших отложениях крупных сульфидных PGE месторождений неизвестно, выявлены лишь небольшие месторождения и рудопроявления (Шангани) в коматиитах (с

возрастом 3526 ± 48 и $\epsilon Nd +0.7$) из низов группы Онвервахт зеленокаменного пояса Барбертон в Каапвальском кратоне Ю. Африки. Это и был 1-й этап PGE рудообразования.

2-й этап платинометального рудообразования наиболее ярко проявился в период неархейского возраста (Табл.1 и рис.3), свидетельствующие об архейском деплетированном мантийном источнике формирования коматиитов с Ni-PGE месторождениями Камбалда, Фортескью ($2730 Ma$, $\epsilon Nd +3.7$ и $+2.7$) в зеленокаменных поясах кратона Йилгарн в Зап. Австралии.

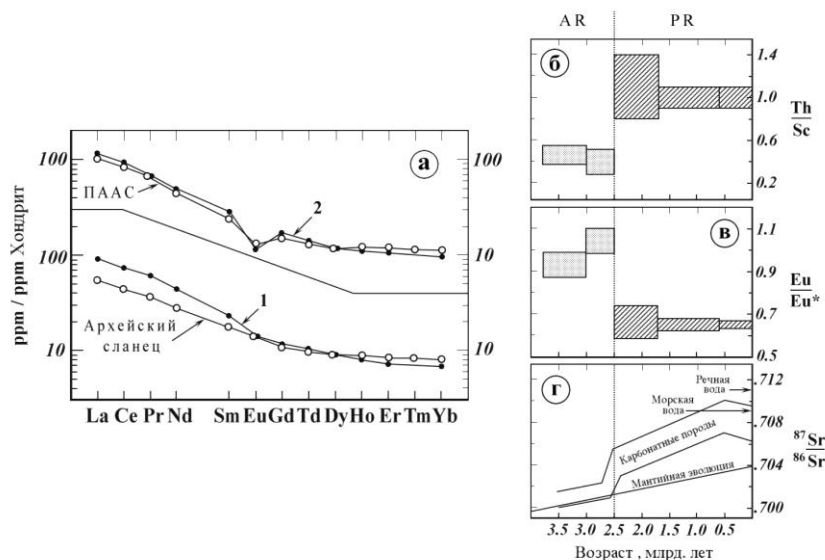


Рис. 2 по [7]. а- Различие между характером распределения РЗЭ архейских и раннепротерозойских осадочных пород (на примере орогена Пайн Крик, Австралия).

1- нижняя толща орогена, демонстрирующая сходство распределения РЗЭ с архейскими сланцами, 2- верхняя толща орогена, имеющая распределение РЗЭ типичное для протерозойских сланцев (ПААС) с характерной Eu аномалией. б- Th-Sc отношения типичные для тонкозернистых обломочных пород, показывающие его заметное возрастание на границе архей-протерозой и свидетельствующая об изменении характера корового состава. в- Обеднение пород Eu на границе архей-протерозой, свидетельствующее об изменении состава коры в палеопротерозое по сравнению с археем. г- Карбонатные породы, отражающие состав морской воды и резкое возрастание отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ на границе архей-палеопротерозой.

Таблица 1.

Породы мантийного происхождения (коматииты, пикриты, габбро-пироксениты и мафические дайки) мезо- и неогаргейского возрастов (3.4-2.6 млрд. лет) по Sm-Nd изотопным данным (по публикациям Ф.П.Митрофанова, Т.Б.Баяновой, А.Б.Вревского, С.И.Турченко, И.С. Пухтеля, J.J.Vuollo, H. Nuhma, V. Beziat).

| Места маф.- умаф. пород | T Млн. лет | ϵ_{Nd} | Места маф.-умаф. пород | T Млн. лет | ϵ_{Nd} |
|------------------------------------|---------------|-----------------|--|---------------|-----------------|
| Полмос-Порос | 2870 | +3.2±3.0 | г. Генеральская | 2505 | -2.3 |
| Ура губа | 2870 | +3.3±1.6 | Мончеплутон | 2504 | -1.4 |
| Карелия | | | Фед.-Панский плутон | 2501 | -2.1 |
| Хаутаваара | 2935 | +1.6±0.3 | Имандровский интрузии | 2491 | -2.1 |
| Койкары | 2935 | +1.9±1.4 | Кивакка интрузия | 2445 | -1.2 |
| Палая-ламба | 2935 | +1.2±0.6 | Луккулуйсваара интрузия | 2439 | -2.4 |
| Совд-озеро | 2920 | +3.3±1.5 | Ципринга интрузия | 2449 | -1.1 |
| Камен.-озеро | 2875 | +11.9±9.5 | Бураковская интрузия | 2441 | -2.0 |
| Костамукша Канада, Австралия | 2795 | +3.0±2.7 | Ветряный. Пояс малые тела | 2450 2410 | -1.3 -10.7 |
| Тиккерутук | 2725 | +0.69- +0.62 | Маф. дайка Карминак Канада | 2450 | -1.7 |
| Оз. Минто | 2725 | +0.79- +0.04 | Чинней, Восточная Сибирь.(интрузив) | 2203 | +1.6 |
| Вабигун маф. дайка | 2685 | +0.91- +1.09 | Бирримий (базальт) | 2100 | +3.0 |
| Лиф-ривер, маф.дайка | 2725 | +1.68- +1.04 | Пеникат, Финляндия | 2410 | -1.6 |
| Камбалда, коматиит | 2730 | +4.4-+2.7 | Аканваара, то же | 2423 | -2.1 |
| То же, базальт | 2730 | +2.8-+3.7 | Кончезерск дайка, Карелия | 1975 | +3.2 |
| То же, у-о интрузив | | +1.75+4.7 | Гремяха.Вырмес (интрузия) | 1926 | +0.8 |
| | | | Печенга (интрузии) | 1975 | +1.5 |
| То же, коматиит | 2730 | -1.0 | Оутокумпу (интрузия) Финляндия | 1965 | +3.0 |
| | | | Йормуа (базальт), то же | 1955 | +3.1 |
| | | | Коталахти (интрузия) то же | 1880 | +2.0 |

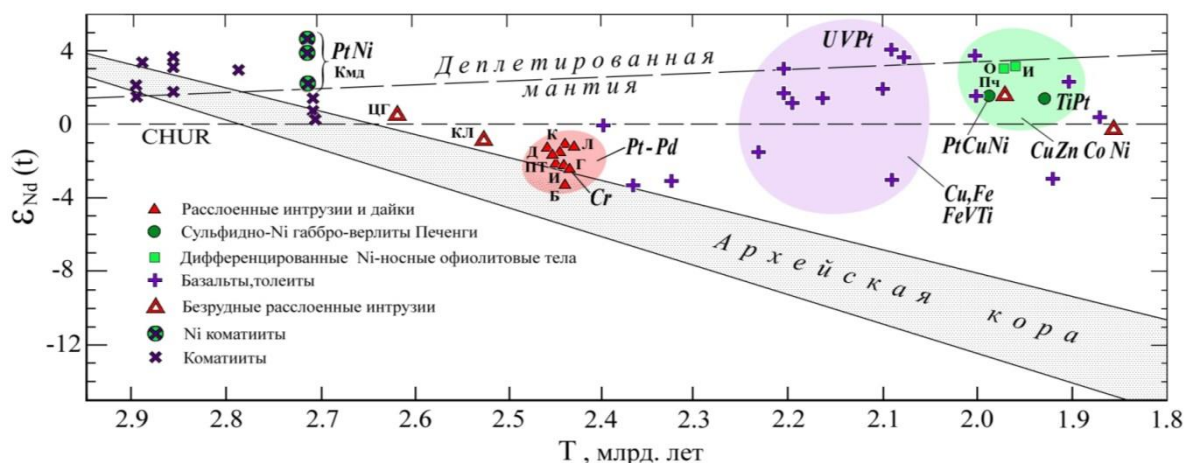


Рис. 3. Отношение ϵ_{Nd} /возраст для Ni-PGE содержащих мафит-ультрамафитовых пород: кмд-Камбалда, к-Кивакка, пт-Панские Тундры, Б-Бураковка, И-Имандра, Г-Генеральская, Пч-Печенга, О-Оутокумпу, Й-Йормуа.

Последующие геологические события, произошедшие в палеопротерозое, свидетельствуют о существенных тектонических преобразованиях, выраженных в формировании интракратонных рифтов, сопровождаемых глобальным проявлением мантийного мафит-ультрамафитового магматизма. Эти изменения произошли под влиянием окончательного формирования земного ядра и глубинных слоев литосферы - нижней и верхней мантии. Формирование континентальной коры происходило в составе протоконтинента Пангея 0, который сохранил черты металлогенической неоднородности, отражающей раннюю аккрецию Земли (рис.4), несшей в своем составе наиболее ранние концентрации металлов платиновой группы. Палеопротерозойский рифтогенез выразился в формировании палеорифтовых структур, содержащих расслоенные мафит-ультрамафитовые интрузии с геохимическими свойствами кремнеземистых высокомагнезиальных магм, несущих платиноиды. Источником таких магм являлось деплетированное мантийное вещество, концентрации которого послужили основой для малосульфидных и сульфидных месторождений. При возрастном диапазоне 2.5–2.4 млрд. лет интрузии обладали отрицательными значениями ϵ_{Nd} (табл.1) в большинстве случаев трактуемых как результат ассимиляции архейских коровых пород. Более вероятно такое глобальное проявление специфических геохимических свойств магм (высокое содержание в ультрамафитах Al, Mg, Ni, PGE и некогерентных элементов) связано с окончательным формированием глубинной структуры Земли и в частности выделением ядра и деплетированной мантии в современном ее понимании.

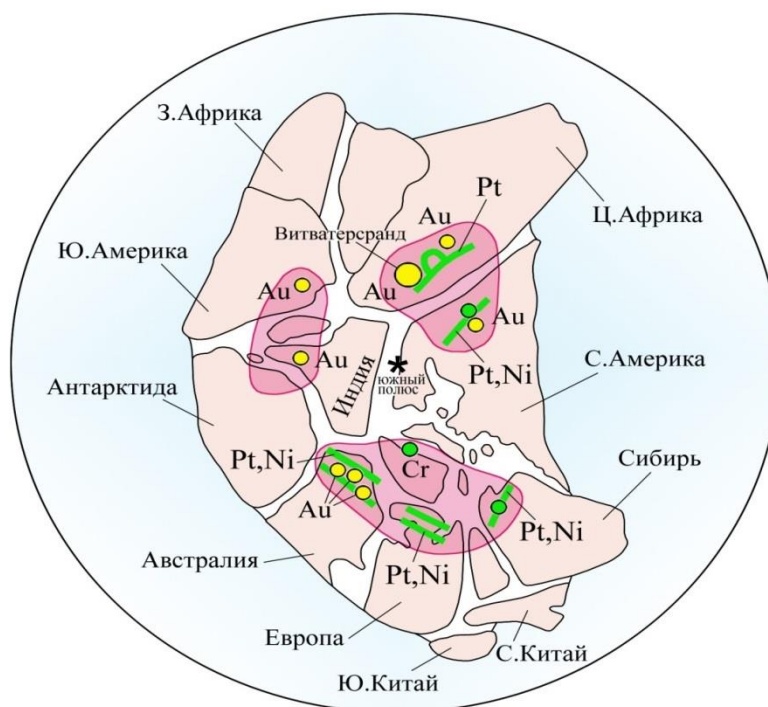


Рис.4. Реконструкция суперконтинента Пангея 0 в полярных координатах.

Розовым показано возможное положение аккрецированных планетоземалей, несущих ранние концентрации никеля, платиноидов и золота. Зеленым отражено положение крупнейших палеорифтов раннего палеопротерозоя (2.5–2.4 млрд. лет), которые вскрыли раннюю палеомантию и дали материал для расслоенных интрузий и платинометалльных месторождений.

Это и был третий, наиболее важный по значимости и концентрации PGE месторождений, этап в истории Земли.

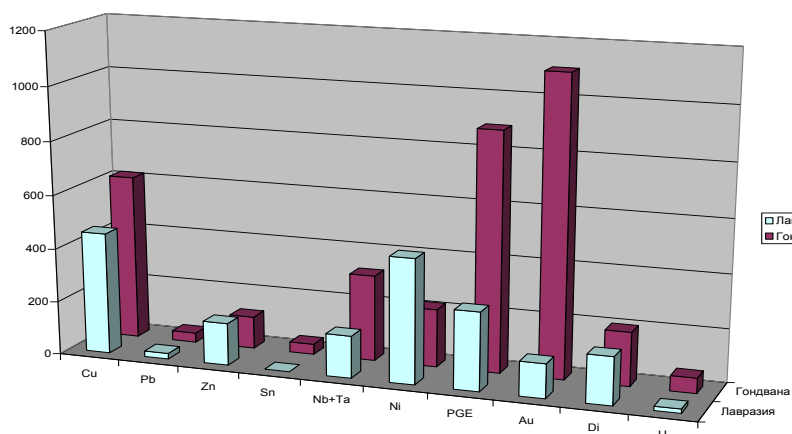


Рис.5. Характер распределения докембрийских месторождений в протоматериках Гондвана и Лавразия по потенциальной ценности минеральных ресурсов площадей, взятой по [8]. Преобладание ресурсов PGE в Гондване связано с гигантскими малосульфидными PGE месторождениями плутона Бушвельд в ЮАР.

Дальнейшее развитие ультрамафит-мафитового магматизма, с которым связаны PGE месторождения, происходило под влиянием сформированного слоя деплетированной мантии. На протяжении более 500 млн. лет происходило рециклирование корового материала, обогащение мантии некогерентными элементами и LREE, что в интервале 2.0–1.9 млрд. лет создало предпосылки для проявления четвертого этапа образования PGE оруденения (см. рис.3). Оно выражено в широком развитии PGE месторождений в протоконтинентах Гондвана и Лавразия (пояса Томпсон, Печенга, Бушвельд), сохранивших металлогенические неоднородности в распределении докембрийских месторождений (рис.5).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang J. The young age of Earth. // *Geoch. Cosmochim Acta*. 1988. V. 62. P. 3185-3189.
2. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Природа тектонической активности Земли. Итоги науки и техники. М. 1983. Сер. Физика Земли. Т. 12. 300 с.
3. Nemchin.A., Pidgeon, R.T., Whitehouse, M.J. Re-evaluation of the origin and evolution of >4.2 Ga zircons from the Jack Hills metasedimentary rocks // *Earth and Planetary Science Letters*. 2006. V. 244, P. 218–233.
4. Jahn B. M., Gruau G., Glickson A.Y. Komatiites of the Onverwacht Group, S. Africa: REE geochemistry, Sm-Nd age and mantle evolution // *Contrib. Miner. Petrol.* 1982. V. 80. P. 25-40.
5. Cattell A., Krogh T.E., Arndt N.T. Conflicting Sm-Nd whole rock and U-Pb zircon ages for Archean lavas from Newton Township, Abitibi belt, Ontario // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1984. V.70. P. 280-290.
6. Chauvel C., Dupre B., Jenner G.A. The Sm-Nd age of Kambalda volcanics is 500 Ma too old! // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1985. V. 74. P. 315-324.
7. Taylor S.R. Geochemical and petrological significance of the Archaean-Proterozoic boundary // *Geol. Soc. Spec. Publication*. 1987. N 33. P. 3-8.
8. Красный Л. И. Геолого-минерагеническая карта Мира. Объяснительная записка. Ч.2, Минерально-сырьевые ресурсы континентов и активных транзиталей. Изд. СПб картфабрики ВСЕГЕИ. 2000. 34 с.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В СУЛЬФИДНО-ПЛАТИНОМЕТАЛЬНЫХ РУДАХ В КОСЬВИТАХ КОНДЁРСКОГО МАССИВА

С. В. Петров¹, А. П. Бороздин^{1,2}, Ю. С. Полеховский¹, И. П. Тарасова²

1 – Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

2 – ООО «Лаборатория изучения минерального сырья»

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся первые сведения о последовательности кристаллизации минералов в метасоматически изменённых пироксенитах (косьвитах) Кондёрского массива. Показана позиция минералов металлов платиновой группы, которая формируется в результате ремобилизации вещества в процессе температурного всплеска, вызванного влиянием щелочных интрузий.

Ключевые слова: Кондёр; косьвит; сульфидно-платинометальные руды.

SEQUENCE OF MINERALOGENESIS WITHIN SULPHIDE-PLATINUM ORES IN KOSVITES OF THE KONDER MASSIF

S. V. Petrov¹, A. P. Borozdin^{1,2}, Yu. S. Polekhovskiy^{1,2}, I. P. Tarasova²

1 - Institute of Earth Science, Saint-Petersburg State University;

2 – LLC «Laboratory of Raw Materials Studying».

ABSTRACT

The first data concerning the sequence of minerals' crystallization in metasomatised pyroxenites (kosvites) of the Konder massif is provided in this article. The position of platinum group minerals formed as a result of substance remobilization due to the temperature splash, which was caused by the influence of alkaline intrusions, is shown.

Keywords: Konder; kosvite; sulphide-platinum ores.

В работе представлены первые данные об исследовании минерального состава сульфидно-платинометального оруденения в косьвитах Кондёрского массива, которым посвящена работа Д.В. Гуревича и А.А. Полонянкина в данном сборнике.

В целом характер окисно-сульфидного оруденения в косьвитах носит рассеянный или густовкрапленный характер, реже встречаются гнездовые структуры и микропрожилки. При макроскопических наблюдениях была выявлена *магнетит-ильменит-пирротин-халькопиритовая* эпигенетическая минерализация в

тектонизированных, измененных пироксенитах и *благороднометально-медносульфидная* – в интенсивно слюдизированных пироксенитах.

Таблица 1

Минеральные парагенезисы и последовательность рудообразования

| №п /п | Минералы | Стадии минералообразования | | | | Низкотем- пературно- гипергенная | |
|----------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--|--|---|
| | | Сингене- тическая | Эпигенетическая | | | | |
| | | | Гидротееомально-метасоматическая | | | | |
| | | Пирок- сениты | Магнетит- ильменит- сульфидный | Медно- суль- фидный | Сульфо- теллуридно- благородно- метельный | | |
| 1 | Магнетит-1 (титаномагнетит) | + | | | | | |
| 2 | Перовскит | + | | | | | |
| 3 | Ильменит-1 (титаномагнетит) | + | | | | | |
| 4 | Магнетит-2 | | + | | | | |
| 5 | Ильменит-2 | | + | | | | |
| 6 | Пирит | | + | | | | |
| 7 | Пирротин | | + | | | | |
| 8 | Кобальт- пентландит | | | + | | | |
| 9 | Халькопирит-1 | | | + | | | |
| 10 | Миллерит | | | + | | | |
| 11 | Сфалерит | | | + | | | |
| 12 | Халькозин | | | | + | | |
| 13 | Борнит-а (сиреневый) | | | | + | | |
| 14 | Халькопирит-2 | | | | + | | |
| 15 | Борнит-б (коричневый) | | | | + | | |
| 16 | Группа линнеита- карролита | | | | | + | |
| 17 | Галенит | | | | | + | |
| 18 | Алтаит | | | | | + | |
| 19 | Минералы ЭПГ | | | | | + | |
| 20 | Титанит | | | | | | + |
| 21 | Ковеллин | | | | | | + |
| 22 | Гематит | | | | | | + |
| 23 | Гидрогематит | | | | | | + |
| 24 | Малахит | | | | | | + |
| 25 | Азурит | | | | | | + |

В косьвитах обнаружены **магнетит** двух генераций, **перовскит**, **ильменит** двух генераций, **пирит**, гексагональный **пирротин**, **кобальт-пентландит**, **халькопирит**

первой генерации, **миллерит** и **сфалерит**. Медносульфидная минерализация, наблюдаемая в слюдизированных породах, представлена **халькозином**, **борнитом** двух модификаций и **халькопиритом** второй генерации. В процессе последующей перекристаллизации кристаллизуются **минералы группы линнеита-карролита** переменного состава, **галенит** и **алтаит**. Благороднометалльная минерализация наблюдается в виде микровключений в краевых частях медносульфидных выделений и, реже, в нерудной матрице. Она представлена: **соболевскитом**, **мончеитом**, **сперрилитом**, **винцентитом**, **палладоарсенидом**, **звягинцевитом**, **масловитом**, **гесситом**. Кроме того, отличительной чертой руд является присутствие разнообразных, предположительно, **новых платино- и палладийсодержащих фаз**, таких как – $\text{Pd}_5(\text{As,Pb})_2$, $\text{Pd}_2(\text{Bi,Pb})_2(\text{Te,Cu})$, $(\text{Pd,Pt})_2\text{BiAsTe}$, PdNiAs , PdAg_2Te_4 , Pd_4TeBi_3 , $(\text{Ni,Pd})_2(\text{Te,Bi})$.

Низкотемпературные гипергенные минералы: **титанит**, **ковеллин**, **гематит**, **гидрогематит**, **малахит** и **азурит**.

Породный парагенезис сингенетической стадии минералообразования представлен **перовскитом**, **магнетитом** и **ильменитом** первых генераций, возникших как результате распада ранее существовавшей титаномagnetитовой фазы в пироксенитах. В составе магнетита отмечаются примеси Ti 1,5-5,3%, Cr до 0,5%, Mg до 1,2% и V до 3%; в ильмените – Mn 2-4%, Mg 2,5-4,5%; в перовските – Fe 0,2-1,2%, Na до 0,5%.

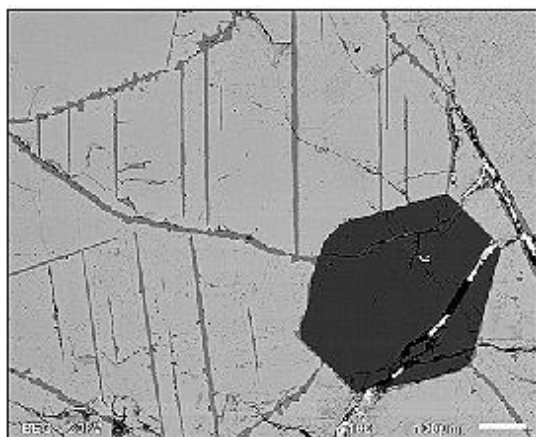


Рис. 1. Включения ильменита первой генерации, ориентированного по направлениям отдельности в магнетите. Изображение BSE.

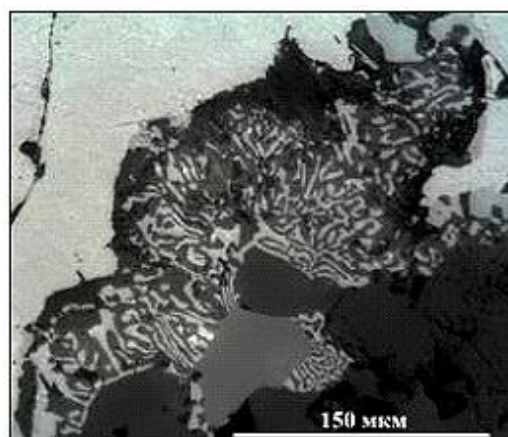


Рис. 2. Мирмекиты перовскита. Отраженный свет.

Гидротермально-метасоматическая стадия предваряется тектоническими трансформациями, приведшими к образованию сети трещин в ранее сформированных минералах. Во время этой стадии рудообразования формируются три, сменяющие друг друга и различающиеся по составу, парагенезиса: **1) магнетит-ильменит-сульфидный**; **2) медносульфидный**; **3) сульфотеллуридно-благороднометельный**.

Первый парагенезис, включает **магнетит** и **ильменит** вторых генераций, **пирит**, **пирротин**, **кобальт-пентландит**, **халькопирит-1**, **миллерит** и **сфалерит**.

Магнетит-2 и ильменит-2 содержат значительно меньшие концентрации примесей, чем минералы первой генерации. Сульфиды представлены практически чистыми стехиометрическими фазами. Соотношение Ni/Co в пентландите = 2,5, а содержание железа в сфалерите – 1,3%.

Второй парагенезис включает **халькозин**, **борнит** двух модификаций и **халькопирит** второй генерации, которые установлены в самых разнообразных взаимоотношениях. Общая тенденция замещений в данном парагенезисе отвечает направлению от ассоциации халькозина и борнита А (фиолетового, содержащего в структурах распада халькозин) к ассоциации халькопирита 2 и борнита (коричневого). Таким образом, наблюдается тенденция постепенного повышения температуры от ранней ассоциации к более поздней.

Третий парагенезис, *сульфотеллуридно-благороднометельный*, представлен минералами **группы линнеита-карролита**, **галенит**, **алтаит** и минералы, содержащими благородные металлы, изредка встречаются внутри халькозиновых зерен, но чаще наблюдаются в краевых частях халькопирита-2 и по периферии медносульфидных агрегатов.

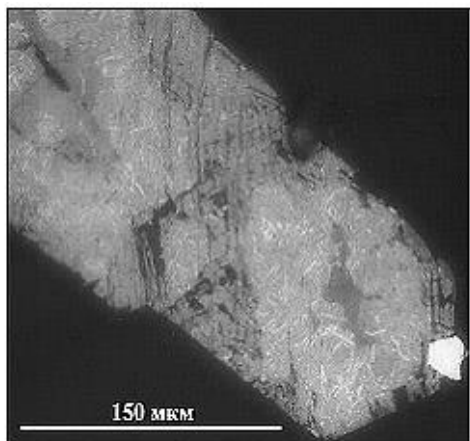


Рис. 3. Кристаллизация карролита на краю медносульфидного агрегата. Отраженный свет.

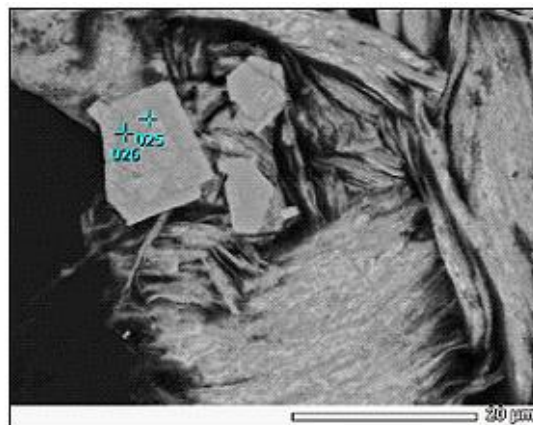


Рис. 4. Развитие минералов группы линнеита (ан. 025, 026) в краевой части халькопирита-2. Изображение BSE.

Минералы группы линнеита представлены зональными фазами переменного состава, среди которых наблюдаются все три минерала: карролит, линнеит и флетчерит. В составе минералов постоянно присутствует железо (до 5%) и изредка – серебро до 0,9%.

Благороднометалльная минерализация представлена интерметаллидами, арсенидами, теллуридами и минералами сложных композиций, возможно, ранее неизвестных.

Платиноиды формируются вслед за минералами группы линнеита-карролита, часто замещая их (рис. 5). Самый распространенный минерал из группы платиноидов – соболевскит, всегда содержит примесь теллура и иногда – свинца.

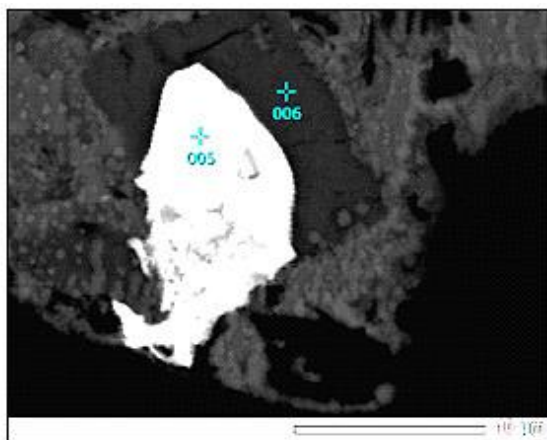


Рис. 5. Кристаллизация соболевскита на месте кристалла карролита. Изображение BSE.

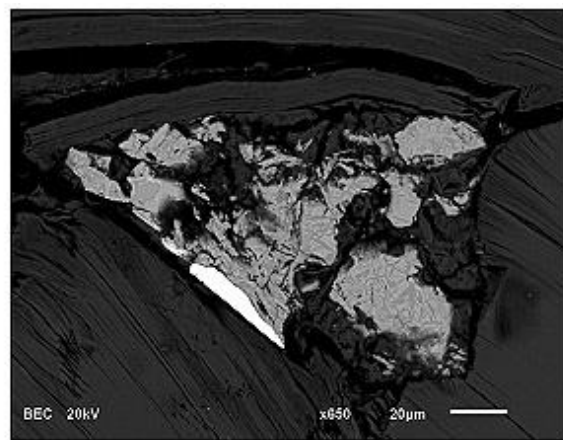


Рис. 6. Ланцетовидные и пунктирные выделения соболевскита в краевых частях медносульфидных выделений. Изображение BSE.

Мончеит ассоциирует с соболевскитом, образует структуры распада в нем, и оптически, практически, не отличается. Сперрилит образует самостоятельные микровключения, которые наблюдаются в халькозин-борнитовых образованиях в виде ярких изотропных выделений белого цвета. Сперрилит срастается с винцентитом, галенитом и с неназванными фазами благородных металлов. В ассоциации сперрилита, соболевскита и палладоарсенида установлены масловит, звягинцевит и гессит (самый поздний по времени кристаллизации среди благороднометалльных фаз), а также несколько неизвестных фаз, которые перечислены выше. Размеры этих образований не превышают 10-20 мкм, что, естественно, не затрудняет определить их оптические свойства и кристаллическую структуру.

Минералы *низкотемпературно-гипергенной* стадии представлены фазами замещающими первичные минералы – **титанитом, ковеллином, гематитом, гидрогематитом, малахитом и азуритом.**

Последовательность минералообразования платинометалльных руд в косьвитах указывает на отчетливую связь с активирующим воздействием щелочных пород. Формирование сульфидных парагенезисов характеризуют обычный регрессивный гидротермальный процесс, заканчивающийся формированием минералов группы халькозина (т.е. ниже 110°). И эта стадия сменяется новой высокотемпературной стадией с кристаллизацией халькопирита и тиошпинелей (что дает основания считать температуру весьма высокой – не менее 500-600°). Именно с этим парагенезисом связана наиболее

богатая платино-палладиевая минерализация, формирование которой определяется с температурной трансгрессией.

В качестве аналога данного процесса можно привести (отчасти) руды Волковском и, скорее, Баронского рудопроявления на Среднем Урале [1,2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. 327 с.
2. Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. СПб: СПбГУ, 2003, 487 с.

**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ МЕДНО-ПЛАТИНО-ПАЛЛАДИЕВОГО
ОРУДЕНЕНИЯ МАССИВА КОНДЁР, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ**

А.Г. Пилюгин, И.А. Бугаев
АО «Артель старателей «Амур»

АННОТАЦИЯ

В пределах дунитового ядра щёлочно-ультраосновного концентрически-зонального массива Кондёр обнаружен новый потенциально промышленный тип полиметаллического платинометалльного оруденения в связи с жильными телами щелочных метасоматитов. Основными полезными компонентами в рудах являются палладий, платина и медь, попутными – серебро, прочие платиновые металлы, золото.

Ключевые слова: металлы платиновой группы; месторождения платиновых металлов; Дальний Восток России; концентрически-зональные ультраосновные массивы; массив Кондёр.

**GENERAL ISSUES OF GEOLOGY COPPER-PLATINUM-PALLADIUM ORES OF
THE KONDYOR MASSIF, FAR EAST, RUSSIA**

Pilugin A.G., Bugaev I.A.,
JSC «AS Amur»

ABSTRACT

Within dunite core of alkaline-ultramafic concentrically zoned massif Kondyor discovered a new type of industrial potential of platinum polymetallic ores in relation to vein bodies of alkaline metasomatic rocks. The main useful components include palladium, platinum and copper, passing – silver, other platinum group metals and gold.

Keywords: platinum-group metals; deposits of platinum group metals; Far East Russia; concentrically zoned ultramafic massifs; the Kondyor massif.

Концентрически-зональный массив Кондёр находится на восточной окраине Алданского щита в пределах субмеридиональной зоны континентального ранне-позднепротерозойского рифтогенеза, пересекающей Батомгский выступ кристаллического щита на пересечении с Кондёро-Нетским разломом субширотного простирания [1].

Кондёрский массив представляет собой вертикальный шток-диапир, имеющий в плане форму правильного круга и тектонические контакты по кольцевым разломам.

Вмещающими породами являются раннеархейские гнейсы батомгской серии. Залегающие на гнейсах среднерифейские терригенные породы вздёрнуты вокруг массива, образуя кольцевой горный хребет. Положительная структура куполовидного поднятия фундамента с щёлочно-ультраосновным массивом в центре образует Кондёрский выступ кристаллического основания юго-востока Сибирской платформы.

Массив сложен раннепротерозойскими породами кондёрского дунит-клинопироксенит-габбрового и раннемеловыми породами кет-капского монцодиоритового интрузивных комплексов [2]. Массив имеет концентрически-зональное строение и состоит из дунитового ядра диаметром 5,1-6 км, площадью 24,7 км² и оболочки клинопироксенитов, косьвитов, габбро мощностью до 850 м. Для дунитов также отмечается зональность, заключающаяся в смене мелкозернистых разновидностей средне- и крупнозернистыми через порфирировидные дуниты. Тела дунитовых пегматитов имеют вытянутую или неправильную форму и локализованы среди порфирировидных дунитов. На северо-восточной и юго-западной периферии массива среди клинопироксенитов, габбро и вмещающих метаморфитов обнажаются крупные тела пород монцититоидной серии. Жильные породы щелочной серии представлены дайками щелочных и фельдшпатоидных сиенитов.

С Кондёрским массивом связано одно из крупнейших в мире уникальное по запасам месторождение россыпной платины [3]. Со времени начала опытно-промышленной эксплуатации в 1984 году и до наших дней на месторождении добыто свыше 106 тонн шлиховой платины. Месторождение также известно благодаря большому количеству добытых самородков платины. Крупнейший из них имел вес 3521,7 г.

Коренная платиноносность Кондёрского массива открыта раньше россыпной еще в 1956 году. Среди горных пород массива до настоящего времени были известны повышенные концентрации платиновых металлов в дунитах, хромшпинелидовых сегрегациях в дунитах, клинопироксенитах оболочки и жилах диопсидовых метасоматитов дунитового ядра, верлитах, в телах титаномагнетитовых клинопироксенитов, в дайках сульфидизированных фельдшпатоидных сиенитов, в сульфидизированном габбро, в малахитовых желваках среди флогопитизированных апатит-титаномагнетитовых клинопироксенитов и дунитов.

Важным открытием последнего времени стало выявление потенциально промышленной платиноносности жил клинопироксен-флогопитового состава, с цеолитами, рассеянной, вкрапленной и прожилково-вкрапленной сульфидной медной минерализацией, реже с апатитом, амфиболом и реликтовыми хромшпинелидами. В ходе буровой заверки комплексной платино-палладий-медной геохимической и магнитной

геофизической аномалии выявлено полиметаллическое медно-платино-палладиевое рудопроявление Аномальное.

Характерной чертой геологического строения этого участка массива является широкое развитие тел титаномагнетитовых клинопироксенитов и связанных с ними метасоматитов, секущих дуниты на всей площади участка и прослеженных скважинами до глубин свыше 800 м. Наиболее крупные тела титаномагнетитовых клинопироксенитов имеют субгоризонтальное и слабонаклонное залегание. Титаномагнетитовые клинопироксениты флогопитизированы и имеют как правило крупно- и грубозернистые сидеронитовые, а иногда брекчиевые структуры.

Жилы, дайки и хонолиты титаномагнетитовых клинопироксенитов имеют сложную конфигурацию и в совокупности образуют штокверк в западной части дунитового ядра. В центральной части штокверка жилы составляют до 60 % объёма, по мере удаления их количество снижается до 20 %, затем происходит резкое снижение до 2-3 %. Эта граница фиксируется на карте исходного магнитного поля, ограничивая крупную геофизическую магнитную аномалию. Морфологические параметры штокверка и отдельных тел, а также уровень содержания полезных компонентов позволяют говорить о наличии на участке масштабного ванадий-титаномагнетитового оруденения.

Ещё одной характерной особенностью геологического строения участка является широкое развитие коры выветривания. Мощность рыхлой структурной коры выветривания на водоразделах достигает 40 м, а под водотоками линейная трещинная кора выветривания распространяется до 100 м. Клинопироксениты при этом обладают большей устойчивостью к выветриванию. По-видимому, активное развитие коры выветривания на площади участка связано с интенсивной гидротермальной проработкой дунитов, происходившей в ходе образования штокверка титаномагнетитовых клинопироксенитов и связанных с ними метасоматитов.

Для медно-платино-палладиевого оруденения характерны геолого-структурный тектонический, петрологический, минералогический и геохимический критерии контроля. Оруденение выявлено в центральной и западной части дунитового ядра массива Кондёр в пределах нескольких жильных зон, приуроченных к оперяющим трещинам радиального разлома второго порядка, маркированного на поверхности ручьём Аномальный. Оруденение локализовано в жильных телах клинопироксен-флогопитовых пород и не выходит за их пределы.

Жилы имеют небольшую протяжённость по простиранию (до первой сотни метров) и мощность (в среднем 1-4 м), углы падения в среднем 55-65°, реже 30-35°, протяжённость по падению свыше 300 м. Жилы секут как дуниты, так и титаномагнетитовые

клинопироксениты и имеют зональное строение. В дунитах эта зональность выглядит следующим образом (от зальбанда к центральной части): оторочка мелкозернистого флогопита, клинопироксеновая, клинопироксен-флогопитовая, клинопироксен-цеолит-флогопитовая, цеолитовая зоны. Иногда в пределах первых четырёх зон встречаются облечённые пироксеновой каймой единичные реликтовые зёрна, сегрегации и даже переходящие в дуниты цепочки и струи вкрапленных хромшпинелидов. Последнее обстоятельство свидетельствует в пользу метасоматического происхождения названных зон. По содержанию $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ и SiO_2 , а также отношению $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ рудоносные метасоматиты можно отнести к щелочным горным породам (щелочным метасоматитам) калиевого ряда.

Жилы щелочных метасоматитов являются аномально обогащёнными платиновыми металлами, медью, золотом и серебром горными породами. Вместе с тем существуют как жилы с заведомо непромышленными содержаниями металлов, так и обогащённых метасоматитов, а платинометалльная минерализация может не сопровождаться интенсивной медной сульфидной вкрапленностью. Для медистых руд характерны более высокие концентрации платиновых металлов и более высокое Pd/Pt отношение чем для собственно платинометалльных. Среднее Pd/Pt отношение в рудах равно 1,5. Содержания платиновых металлов в жилах щелочных метасоматитов варьируют от десятков мг/т до десятков г/т, меди – до десятков масс.%, серебра – от десятых г/т до сотен г/т, золота – до первых г/т. В целом содержания платиновых металлов и меди увеличиваются с глубиной.

Благороднометалльная минерализация щелочных метасоматитов представлена мелкими (до сотен мкм) выделениями интерметаллидов, сульфидов, арсенидов палладия, платины, родия и серебра в сростаниях с сульфидами меди и породообразующими силикатами. Медная минерализация представлена тонковкрапленными, вкрапленными и прожилково-вкрапленными выделениями сульфидов меди – борнита, халькопирита, халькозина и других.

Флогопитизированные титаномагнетитовые клинопироксениты и щелочные метасоматиты, по-видимому, являются коренными источниками уникальных самородков в виде кубических кристаллов изоферроплатины (Pt_3Fe), звягинцевита (Pd_3Pb) и их сдвойникованных сростков, добытых в россыпи ручья Аномальный, нередко в «рубашке» из минералов золота и палладия. Их образование могло происходить путём перераспределения платины в процессе метасоматического преобразования из более ранних дунитов и клинопироксенитов [4]. Таким образом может иметь место наложение платинометалльного оруденения щелочных метасоматитов на более раннее хромит-платиновое оруденение дунитов и палладий-платиновое оруденение титаномагнетитовых

клинопироксенитов с образованием богатых руд, имеющих значительную неравномерность распределения, связанную с наличием крупных кристаллов и сростков минералов платины и палладия.

Выявленные и предполагаемые ресурсы полиметаллического медно-платино-палладиевого с попутными серебром, другими платиноидами и золотом рудопроявления Аномальное свидетельствуют о возможности открытия в пределах Кондёрского массива крупного по масштабам рудного месторождения платиновых металлов нового геолого-промышленного типа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология, петрология и рудоносность Кондёрского массива / В.Г. Гурович, В.Н. Землянухин, Е.П. Емельяненко, А.С. Каретников, А.И. Квасов, В.Г. Лазаренков и др. М.: Наука, 1994. 176 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист О-53 – Нелькан. Объяснительная записка / В.А. Дымович, А.Ф. Васькин, Е.С. Опалихина, С.Г. Кисляков и др. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 364 с.
3. Лазаренков В.Г. Месторождения платиновых металлов / В.Г. Лазаренков, С.В. Петров, И.В. Таловина. СПб.: Недра, 2002. 298 с.
4. Мочалов А.Г. Онтогения кристаллических индивидов изоферроплатины и звягинцевита месторождений Pt-Pd магматогенно-метасоматического типа массива Кондёр Алданского щита / А.Г. Мочалов, О.Л. Галанкина // Онтогения, филогения, система минералогии. Материалы Всероссийской конференции, Миасс, 2015. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2015. С. 136-140.

**СУЛЬФИДНЫЕ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЕ РТ-РД РУДЫ МАССИВА КОНДЕР,
ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ: ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ**

Д.В. Гуревич, А.А. Полонянкин

ОАО «Русская Платина»

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся первые сведения о медно-платинометалльном оруденении в косьвитах (титаномагнетитовых пироксенитах) Кондёрского массива. Приводятся сведения о его разновидностях и геологической позиции, обсуждается авторская концепция глубинного строения массива, формулируется гипотеза формирования косьвитов, слюдистых пегматитов и медно-платинометалльного оруденения.

Ключевые слова: Кондёрский массив; косьвит; медно-платинометалльное оруденение.

ABSTRACT

The paper presents the first data on the Cu-PGM mineralization hosted by titanium-magnetite pyroxenite (kosvite) of the Konder alkaline-ultramafic massif, Khabarovsk region, Russia. It discusses the geological position and types of mineralization, and authors' concepts of the massifs' deep structure, formation of kosvite, mica pegmatite and copper-PGM mineralization.

Keywords: Konder massif; kosvite; copper-PGM mineralization.

Ведение. Прошло около 35 лет с начала систематического изучения массива Кондер. За эти годы, в результате работ ОАО «АС Амур» на весь массив и отдельные участки были составлены геологические, геохимические и геофизические карты масштаба от 1:50 000 до 1:2000, геологическими маршрутами и многочисленными канавами было выявлено и вскрыто более четырехсот проявлений платины и палладия, титаномагнетитовых руд, руд хрома, меди и лантана. На более чем сорока рудопроявлениях было установлено содержание ЭПГ превышающее 1 г/т. За эти годы были опубликованы десятки научных работ, посвященные геологии массива, петрологии и минералогии пород и руд. Несмотря на большой объем исследований, некоторые вопросы остались нерешенными. Это касается возраста дунитов, происхождения симметричной купольно-кольцевой структуры и др. Главная же нерешенная проблема - это наличие или отсутствие экономически значимых коренных источников ЭПГ.

В 2013 году, в рамках проекта по изучению коренной платиноносности, подготовленного А.А. Полонянкиным и специалистами ОАО "АС АМУР", внутренняя часть массива была покрыта наземными геофизическими съемками, включая высокоточную гравиразведку (Долгаль А.С), электро- и магниторазведку (Полтавцев А.В.), комплексную интерпретацию геофизических данных (Петров А.В.). Вся площадь была покрыта литохимической съемкой по методике МАСФ (метод анализа сверхтонкой фракции, Бродяженко Т.И.). Полученные результаты позволили выделить перспективные участки и в 2014 г. на двух из них было проведено бурение керновых скважин и скважин РС. Документацию и опробование осуществляли специалисты компании ООО "НОВАГЕО". Определение платиноидов и элементов-спутников в керновых пробах проводилось в лабораториях SGS, г. Чита и ALS, г. Москва с использованием пробирного анализа с атомно-абсорбционным окончанием и метода индукционно-связанной плазмы (ICP 90A). В этом же году Д.В. Гуревичем с участием Ф.И. Жимулева и консультационной поддержкой А.Г. Мочалова были проведены ревизионные работы, включавшие геологические маршруты с отбором штучных проб и проходку бульдозерных расчисток с бороздовым опробованием. Из керна скважин и обнажений было отобрано около двухсот образцов для лабораторного изучения. Минералогические исследования проводились в Сибирском Гос. Университете, г. Красноярск (Шведов Г.И.), в СПбГУ (Петров С.В., Бороздин А. П., Тарасова И. П., Полеховский Ю. С.) и в Институте минералогии УРО АН РФ, г. Миасс (Белогуб Е.В., Заботина М.В.).

Наиболее важный результат геофизических и геохимических работ состоял в выделении комплексных аномалий с повышенными значениями магнитной восприимчивости, поляризуемости и гравитационного поля, пониженным сопротивлением и аномальным содержанием в почвах Pd, Cu, Au. Аномалии этого типа находятся в двух структурных позициях: в пределах участка Аномальный и в виде прерывистой цепочки внутри "пироксенитового кольца", окружающего дунитовое ядро. Анализ геологических данных и сопоставление с данными опробования керна скважин позволили сделать вывод о том, что во всех случаях аномалии этого типа совпадают в пространстве с выходами титаномагнетитовых клинопироксенитов или *косъвитов* (в соответствии с традицией, сложившейся при изучении массива). Некоторые из этих комплексных аномалий были известны ранее, но они практически не изучались. Это объясняется плохой обнаженностью (пироксенитовое кольцо располагается в нижней части внутреннего склона кольцевой гряды, закрытой лесом и осыпями, а рудная зона участка Аномальный была полностью перекрыта рыхлыми отложениями) и тем, что основное внимание

уделялось проявлениям фероплатины, расположенным на холмах в пределах дунитового ядра (рис. 1).

Выявление полиминерального Cu-Pt-Pd оруденения, связанного с указанными аномалиями, можно рассматривать как основной результат проведенных работ. Данный текст концентрируется на структурно-геологической позиции оруденения, минералогический и геохимический составы руд будут рассмотрены отдельно.

Косъвиты. Косъвиты, или титаномагнетитовые клинопироксениты, характеризуются постоянным набором минеральных фаз, но со значительными вариациями их относительных количеств. Содержание клинопироксена варьирует от 35 до 60%, флогопита - от 5 до 40%, титаномагнетита - от 10 до 30%, апатита - от долей процента до 5%. Так же встречаются амфибол, перовскит, ильменит, титанит, биотит, хлориты и хромдиопсид. Структура изменяется от мелко - до гигантокристаллической пегматоидной (причем нередко в пределах одного обнажения или интервала мощностью в десятки сантиметров - первые метры), кристаллы титаномагнетита достигают 15 см, а его линзовидные сегрегации - 50 см, причем толщина жил пегматоидных косъвитов может составлять всего несколько сантиметров. Важная особенность косъвитов состоит в том чрезвычайно высокой изменчивости структуры: в пределах одного обнажения или небольшого интервала (первые метры) она может меняться от мелко- до гигантозернистой. Текстура - массивная и полосчатая, отмечаются небольшие участки автобрекчий (причем и обломки и цемент могут быть представлены как мелко- так и крупнокристаллическими разностями). Достаточно часто жилы мелкокристаллического косъвита с четкими границами секут крупнокристаллический, в других случаях между этими разностями наблюдается постепенный переход.

Эндоконтакты обогащены флогопитом, этот же минерал часто образует в верхнем экзоконтакте сеть прожилков (рис. 5.d). При этом, при всем разнообразии структуры и морфологии, косъвиты *всегда* имеют резкие контакты с вмещающими породами; даже экзоконтактовая флогопитизация носит в основном прожилковый характер (рис. 5.d).

Формы залегания косъвитов изучались по керну скважин, на естественных и искусственных обнажениях, на геологических разрезах. Важные результаты были получены при интерпретации данных гравиметрической съемки в системе "КОСКАД" [9]. Значительный плотностной контраст (по данным измерений плотности керна плотность косъвита - 3,32-3,50 г/см³, дунита - 3,1-3,29 г/см³, флогопитовых слюдитов, пегматитов и щелочных метасоматитов - 2.4-2.9 г/см³) обеспечил возможность построения информативных плотностных разрезов (рис. 3). Суммируя имеющиеся данные, можно сделать вывод о том, что в пределах участка Аномальный косъвиты залегают в виде

многоярусной чашеобразной "этажерки" или своеобразного "макроштокверка" в котором силлы, внедрившиеся по пологой отдельности в дунитах, соединяются друг с другом крутопадающими проводниками, штокверками и дайками (рис. 2). Характерно падение силлов и даек к центру структуры (рис. 6.a, b). Мощность силлов и даек изменяется от десятков сантиметров до первых десятков метров, мощность жил составляет миллиметры - десятков сантиметров.

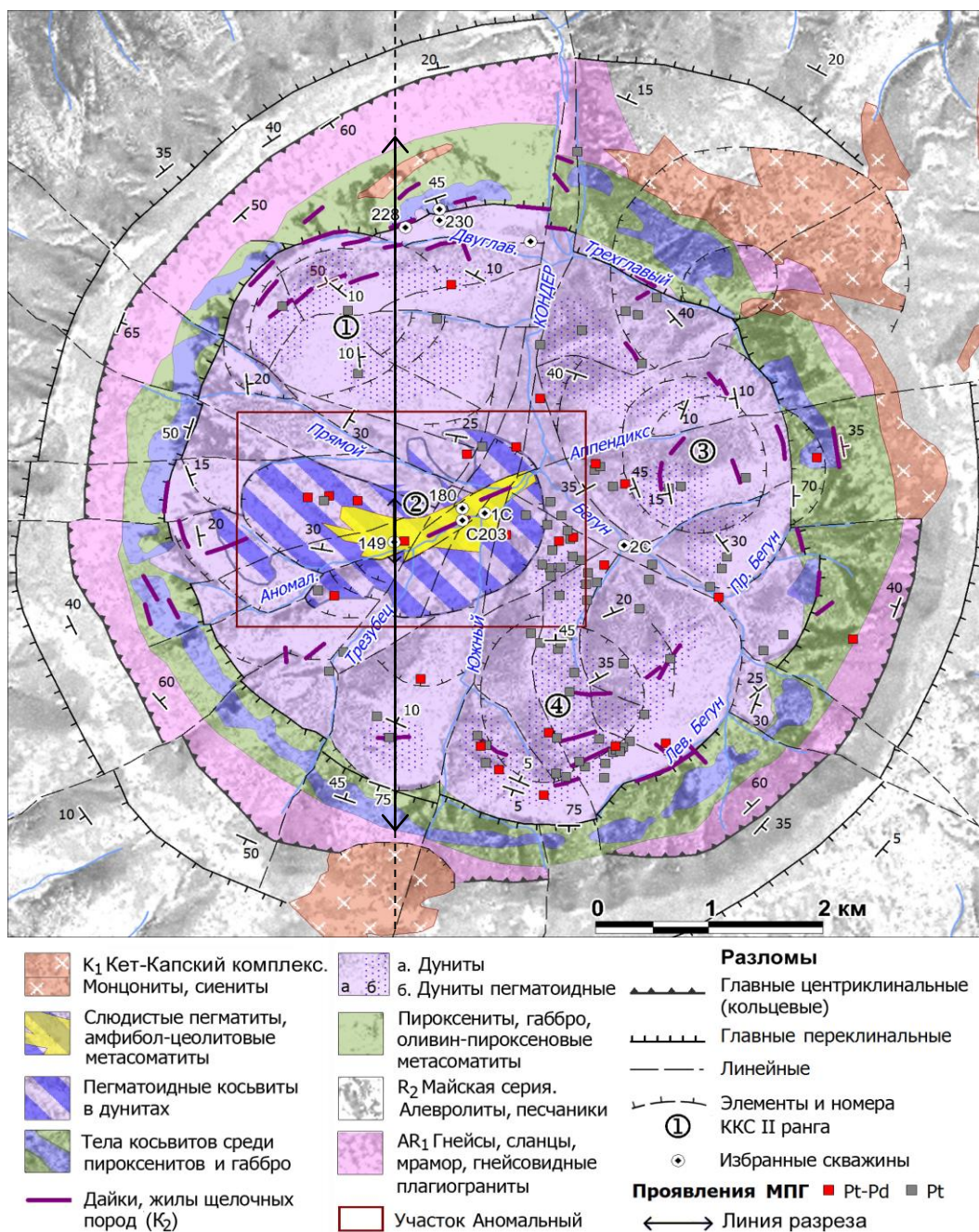


Рис. 1.

Геологическая карта массива Кондер.

Составлена с использованием данных ОАО "АС Амур". Купольно-Кольцевые Структуры: Северная (1), Аномальная (2), Восточная (3) и Южная (4).

Вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что *косьвиты представляют собой интрузивные образования, которые формировались в результате неравномерной и неравновесной кристаллизации флюидонасыщенной магмы*. Размерность структуры определялась при этом динамикой летучих: чем дольше сохранялась в кристаллизующемся теле водно-флюидная составляющая, тем дольше продолжалась кристаллизация и тем более крупные вырастали кристаллы. Отделяющаяся флюидная фаза формировала флогопитовые оторочки, штокверки и жилы.

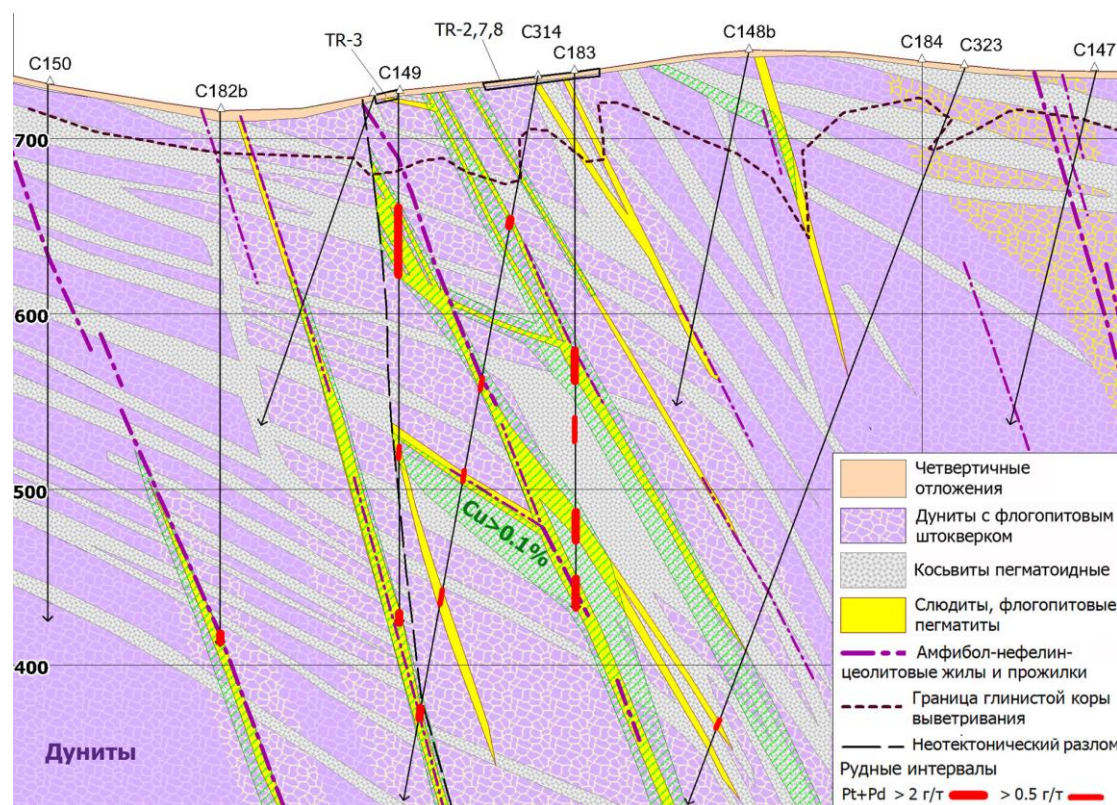


Рис. 2. Геологический разрез через зону сульфидной Cu-Pt-Pd минерализации, уч. Аномальный

Косьвиты, встречающиеся в пределах пироксенитового кольца, резко отличаются от вмещающих их пироксенитов и верлитов и сходны с косьвитами участка Аномальный. Сходство с последними касается, помимо прочего, и геохимической специализации, состоящей в повышенном содержании Cu (0,02 - 0,05% и более), P (0,5-1,1%), Mn (0,15-0,3%), V (0,03-0,1%) и Zn (около 0,01%). Для всех без исключения косьвитов характерно повышенное содержание суммы Pt и Pd - от 0,04 до 0,15 г/т (средние значения по 7 выборкам из наименее измененных разностей) при Pd/Pt близком к единице. В осмотренных нами обнажениях, расположенных в пределах пироксенитового кольца и в керне скважин, перебуривших косьвиты в северной части массива (рис. 1), преобладают

мелко- и среднекристаллические разности с относительно пониженным содержанием флогопита и магнетита (соответственно FeO и K₂O).

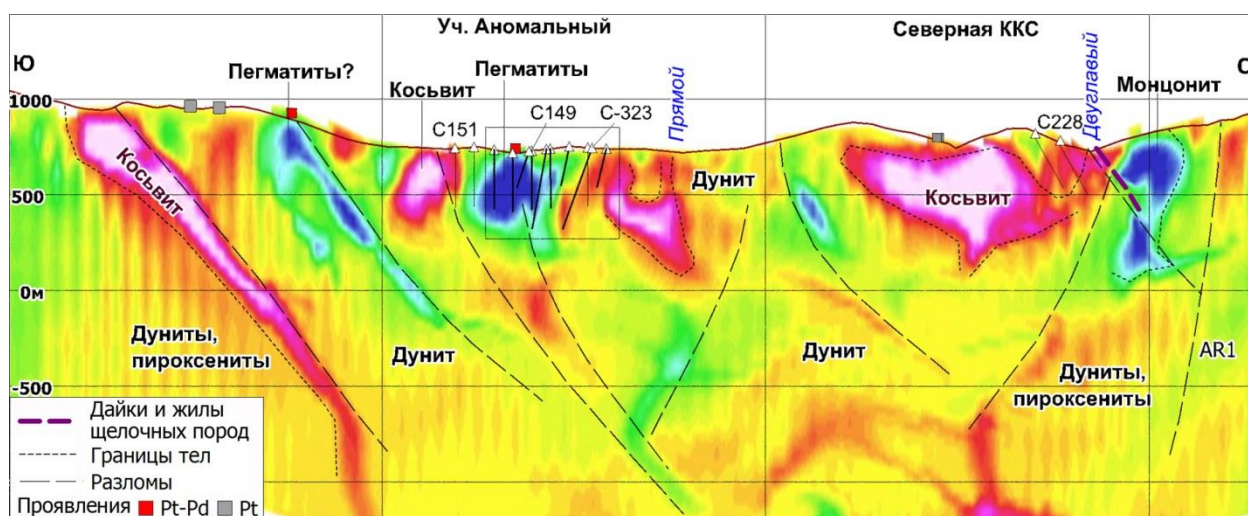


Рис. 3. Меридиональный плотностной разрез через внутреннюю часть массива Кондер.

Интерпретация результатов трассирования трехмерной модели гравитационного поля в системе КОСКАД [9]



Рис. 4. Меридиональный разрез через массив Кондер. Составлен с использованием результатов трассирования плотностных аномалий

«Косьвиты кольца» образуют дайки и линзовидные дайкообразные тела мощностью от десятков сантиметров до 20м, падающие к центру массива с углами 40-50 градусов. Трассирование источников аномального гравитационного поля, выполненное в системе "КОСКАД" [9], показало что такое залегание прослеживается до глубин около 1,7 км, формируя сложную воронкообразную структуру (рис. 3). Ниже падение становится более крутым и, возможно, переходит в вертикальное, формируя "трубку" диаметром 3 - 3,5 км. Интерпретация рисунка плотностных аномалий (рис. 3, 4) позволяет наметить внутри «воронки» силло- и дайкообразные тела косьвитов, секущие дуниты и образующие "мегащтокверк". Сгущения "мегащтокверка" (плотностные аномалии) фиксируются на

участке Аномальный, достигая глубины около 800 м (рис. 3); они могут быть сопоставлены с описанной выше чашеобразной "этажеркой", сложенной силлами, штокверками и дайками косьвитов.

Еще одна плотностная аномалия совпадает с купольно-кольцевой структурой (ККС) II ранга Северная (рис. 3), а две другие - с ККС Восточная и Южная. Эти структуры были выделены нами по форме рельефа, залеганию даек и отдельности дунитов и по методике, описанной в [2], при этом первый ранг присвоен массиву в целом. Логично предположить, что формирование ККС II ранга непосредственно связано с внедрением косьвитов; это же событие могло привести к подъему внутренней части массива.

Считается [3, 4] что скважина, пробуренная в восточной части участка Аномальный в 1990 г. до глубины 808 м (1С, на рис. 1), в интервале 283 - 775 м вскрыла интрузию косьвитов, окруженную ореолом "щелочных метасоматитов". Судя по имеющейся документации, часть "метасоматитов" и "интрузивные косьвиты" полностью аналогичны друг другу и описанным выше косьвитам из жил и силлов, то есть представляют собой *одну и ту же породу изменчивого состава*. Можно предположить, что "интрузия" представляет собой сгущение крутопадающих даек.

Косьвиты "пироксенитового кольца" ранее относились к раннепротерозойским образованиям [8], либо, вместе с "титаномагнетитовыми метасоматитами", считались раннемеловыми [3, 4]. Наконец, существуют представления о том, что косьвиты и "метасоматиты" участка Аномальный имеют раннемеловой возраст, но при этом никак не связаны с косьвитами кольца [5]. По нашему мнению, имеющаяся совокупность данных указывает на то, что *косьвиты кольца, косьвиты участка Аномальный и "титаномагнетитовые метасоматиты" являются магматическими образованиями единой флюидонасыщенной системы*. К сходным выводам пришли при описании керна геологи "НОВАГЕО" В.Г. Писарев и Ф.И. Жимулев.

Наиболее крупные тела пегматитов мощностью до 5-6 м, с размером пластин флогопита до 0,5 м располагаются в зоне северо-восточного простирания в центральной части структуры (рис. 1). Тела имеют ВСВ простирание и прослеживаются примерно на 200 - 300 м, падение крутое на ССЗ. С запада и востока тела пегматитов ограничены системами разломов СВ - субмеридионального простирания, главный из которых проходит по линии руч. Южный - р. Кондер и имеет отчетливую сдвиговую составляющую (около 160 м в северной части массива - рис. 1). Такая структура может быть объяснена как *дуплекс растяжения в зоне правого сдвига*. В целом рисунок распространения пегматитов и слюдитов (мелкозернистых агрегатов с преобладанием флогопита) имеет более сложный характер и, судя по геофизическим данным, напоминает

рисунок "древовидного мегаштокверка", образованного телами козьвитов (рис. 3, 4). Большую роль в контроле козьвитов и пегматитов играли пологие (45° - 30°) срывы, которые фиксируются зонами рассланцевания и серпентинизации в дунитах.

Сульфидные полиминеральные Cu-Pt-Pd руды. До 2013 г. работы по изучению коренной платиноносности были сконцентрированы на богатых (до 200 г/т и более) проявлениях ферроплатины, заключенной в шлирах и прожилках хромита. В конце 90-х годов проявления этого типа, расположенные на участке Верхний (северный склон Южной ККС, рис. 1), были оценены с помощью траншей, буровых скважин и опытно-промышленной эксплуатации малого карьера (с дроблением и гравитационным извлечением ферроплатины). Работы не дали положительного результата. Это было связано с тем, что шлиры хромитов, несущие ферроплатину, имеют небольшие размеры и распределены весьма нерегулярно, и с тем, что при наличии богатой и легкодоступной (на тот момент) россыпи у предприятия не было серьезной экономической заинтересованности.

Проявления других типов, выявленные при геологическом картировании, характеризуются существенно меньшими содержаниями ЭПГ и детально не изучались. Речь идет прежде всего о Pt-Pd минерализации, связанной с окисленными медными рудами, флогопитовыми и флогопит-амфибол-цеолитовыми пегматитовыми жилами, о литохимических аномалиях палладия и меди, выявленных на участке Аномальный в 90-е годы (участок рассматривался как перспективный на выявление месторождения апатита, флогопита и замещающего его вермикулита). В то же время массовые минералогические исследования шлихов, проведенные до 2013 г., ясно свидетельствовали о большом разнообразии типов минерализации. Всего было выявлено 87 минеральных фаз Pt, Pd, Ru, Ir, Os, включая 34 не имеющих названия [14].

В 2013 - 2014 г.г. на участке Аномальный было пробурено нескольких десятков колонковых скважин глубиной до 300, реже 400 м. В результате практически по всему участку была выявлена медная и Pt-Pd минерализация. По результатам документации керн и статистической обработки результатов опробования было предварительно выделено три ее разновидности. В последствие это разделение было уточнено в ходе минералого-петрографических исследований.

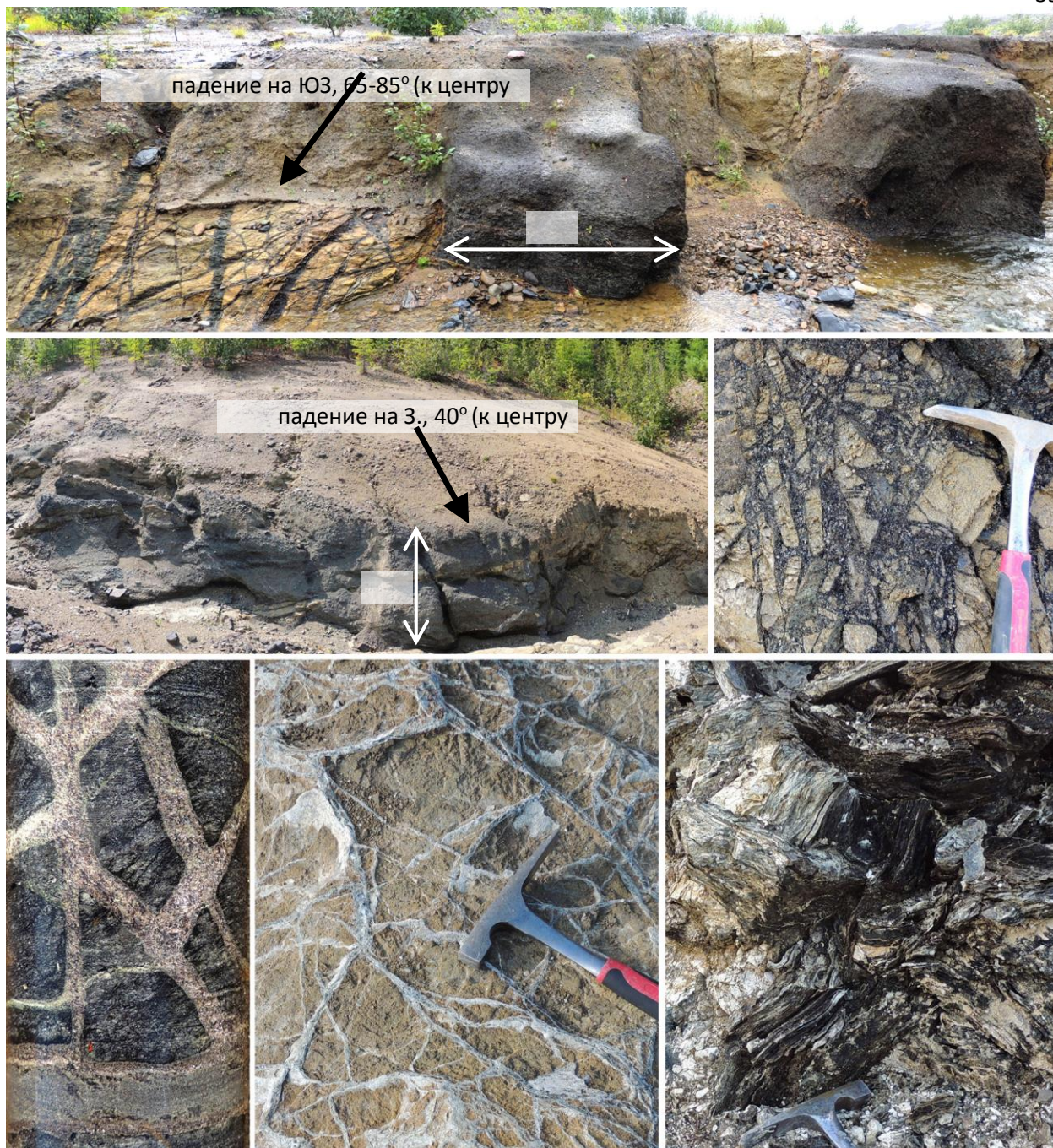


Рис. 5. Косьвиты и флогопитовые пегматиты

- а. Дайки косьвитов в лев. борту р. Кондер, уч. Аномальный. б. Выход силла косьвитов в борту руч. Бегун. с. Брекчия дунита на флогопитовом цементе. d. Горизонтальная жила косьвита и штокверк прожилков флогопита в серпентинизированном дуните (кern диаметром 7 см). е, С-166, 192м. е. штокверк, сложенный агрегатом вермикулита, хлорита, серпентина в дуните, устье руч. Аппендикс. f. Жила флогопитового пегматита мощностью 5м (с. и f. - на слиянии руч. Аномальный и Трезубец)

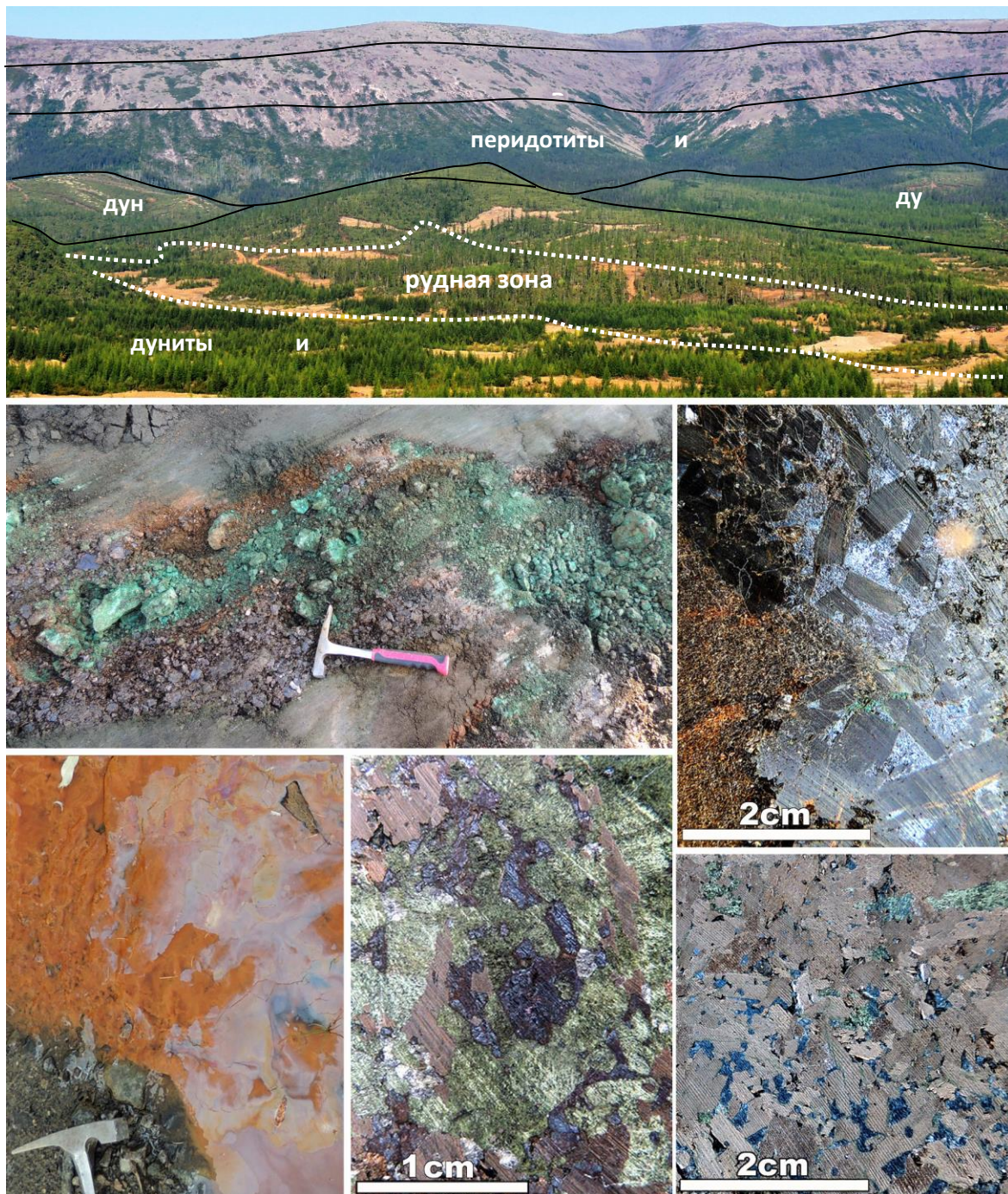


Рис. 6. Сульфидные полиминеральные Cu-Pt-Pd руды

- а. Уч. Аномальный, западая часть рудной зоны, фото с востока. б. Cu-Pt-Pd руды в жиле флогопита в зоне окисления; расчистка 1, руч. Аномальный. с. Гели окисленного железа в источнике на слиянии руч. Аномальный и Трезубец. d Гнезда борнита в апатит-амфибол-флогопитовом метасоматите, С-183-255,3м. е. Рудная брекчия на халькозиновом цементе во флогопитовой жиле, С-309, 65м. f. Халькозин в интерстициях флогопита, С-149, 76.7м.

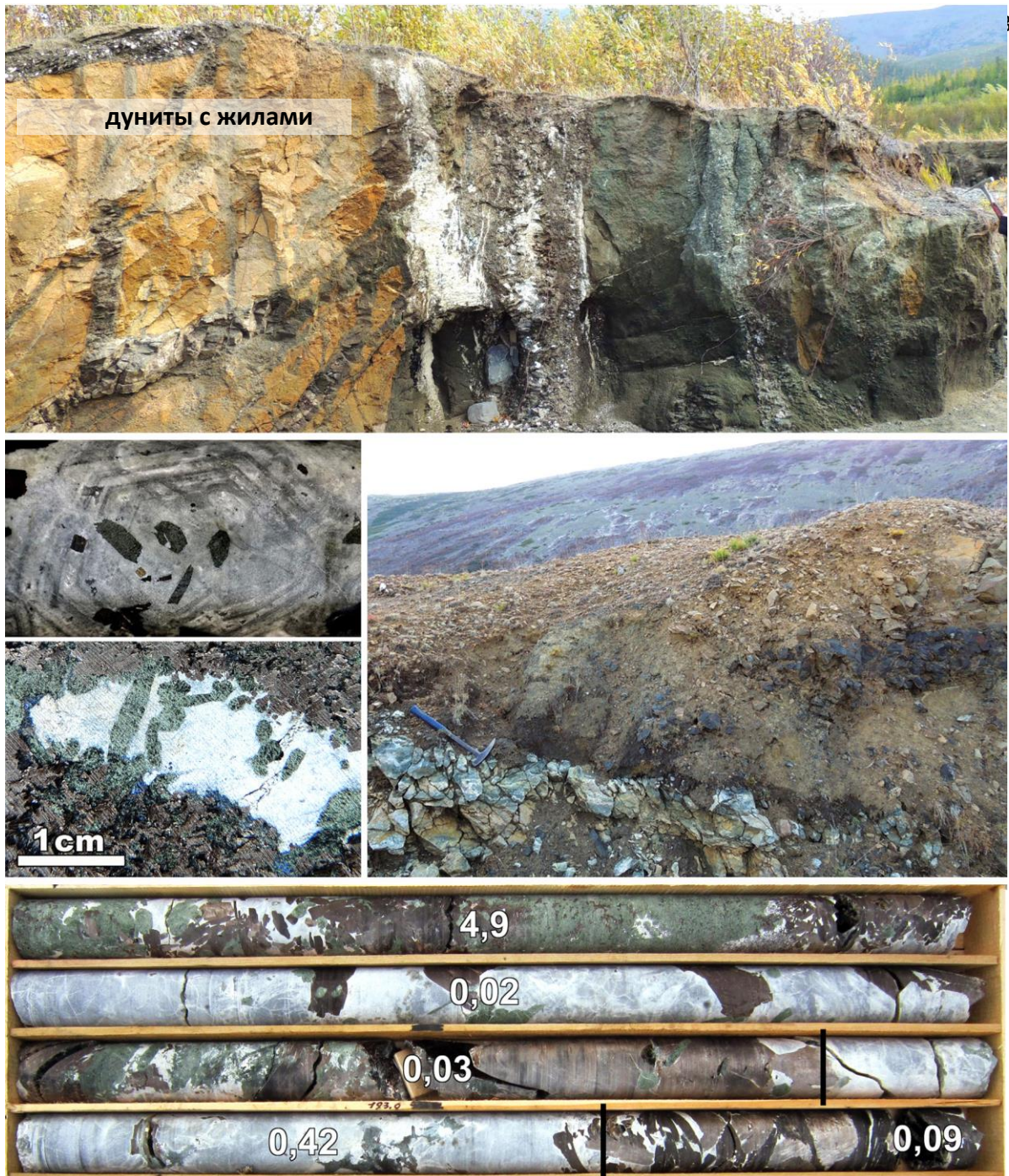


Рис. 7. Щелочные дайки и метасоматиты на участке Аномальный

а. Нефелин-цеолитовые жилы (белое) и амфиболовые метасоматиты, наложенные на флогопитовые пегматиты; лев. борт р. Кондер. б. Зональный цеолитизированный нефелин с включениями амфибола, С-308, 122м. с. Амфибол-альбит-цеолитовый прожилок сечет флогопитовый пегматит с халькозином, С-149, 73м. d. Дайка нефелинового сиенита периклинального падения сечет дуниты и дайку мелкозернистых косьвитов центриклинального падения; верховья руч. Аномальный. е. С-203, инт. 190.6-194.6м; Pt+Pd в г/т по керновому опробованию.

Первый тип минерализации приурочен к отдельным sillам крупнозернистых козьвитов мощностью от 1 до 16 м. Суммарное содержание Pt и Pd составляет от 0.2 до 0.6 г/т при отношении Pd/Pt близком к единице. Характерны повышенные содержания меди и серы (до процента), а так же кальция и стронция. Практически всегда удается установить мелкую вкрапленность халькопирита (до миллиметра). В аналогичной ситуации встречается интервалы медной минерализации (до 0.2% на 15м) и без существенного накопления ЭПГ.

Второй тип связан с развитием полиминеральной медной минерализации (халькозин II генерации, борнит, халькопирит, ковеллин) в пределах жил и тел слюдистых пегматитов. По данным минералогического изучения (Г.И. Шведов, С. Петров, Е.В. Белогуб и М.В. Заботина) платиноиды образуют собственные минералы с мышьяком, висмутом, серой и теллуrom и располагаются в виде тонкой вкрапленности в минералах меди, при этом наибольшая концентрация наблюдается в борните и халькозине II, которые замещают и обрастают более ранний халькозин. Последний встречается в виде ксеноморфных агрегатов в интерстициальном пространстве между кристаллами флогопита и амфибола (рис. 6.d,f), реже цементирует кристаллы флогопита, образуя рудные брекчии (рис. 6.e). Истинная мощность рудных пересечений составляет от десятков сантиметров до 30м. Геохимическая ассоциация – Pd, Pt, Cu, K, Li, Sr, S, Ba, Au, Ag. Средние суммарные содержания ЭПГ достигают 15,4 г/т на истинную мощность 10 м; средние содержания меди в рудных интервалах изменяются от 0.5 до 1,5%; золота - от 0.01 до 0.03 г/т, серебра - от 0.5 до 2.5 г/т. Содержания Pt (в метровых пробах) достигают 22,7 г/т, Pd - 63,7 г/т, Cu - 9,5%. Отношение Pd/Pt в рудных интервалах изменяется от 1,23 до 4,35, по предварительным данным с глубиной это отношение увеличивается.

Третий тип - это минерализация, заключенная в щелочных метасоматитах и жилах и не сопровождающаяся высокими содержаниями меди. Предположительно, этот тип связан с ремобилизацией металлов под воздействием щелочных (карбонатно-хлориднонатровых) растворов. Для этого типа характерны весьма непостоянные содержания ЭПГ, резкая изменчивость Pd/Pt (от 0,07 до 8 при среднем около 1) и небольшие мощности рудных интервалов (десятки см - первые метры). В наиболее полно проявленных метасоматитах этого типа и в амфибол-нефелин-альбит-цеолитовых жилах минерализация ЭПГ отсутствует.

Наиболее важное значение имеет минерализация второго типа, приуроченная к жилам и телам флогопитовых пегматитов, которые приурочены к зоне длиной около 2 км при ширине по поверхности 200 - 300 метров (рис.6.a). В разрезе зона представляет собой серию крутопадающих субпараллельных зон минерализации, которые контролируются

крутопадающими разрывными нарушениями северного падения (которые по нашему мнению входят в систему правых сдвигов) и более пологими нарушениями, часто приуроченными к контактам тел косьвитов (рис. 2). Если допустить, что крутопадающие нарушения имеют взбросовую составляющую, то структура в целом так же может быть описана как дуплекс растяжения: взбросы играют роль сдвигов, а структуры растяжения, контролирующие раздувы пегматитовых тел и оруденения, формируются на их пересечениях с пологозалегающими телами косьвитов. Это объясняет, в частности, резкие изменения масштабов минерализации вдоль рудоконтролирующих разломов: рудные интервалы, имеющие мощность в первые десятки метров сменяются "проводниками" мощностью в десятки сантиметров.

До 2014 г. зона развития сульфидного оруденения была практически полностью перекрыта почвой и растительностью, а в долинах ручьев - толстым (до 10 м) слоем аллювия и техногенных отложений. После того, как пологий холм, занимающий большую часть участка, был пересечен сетью бульдозерных дорог, рудная зона "проявилась" красным оттенком почвы, который связан окислением сульфидной минерализации (рис. 6.а). Другой важный признак - выходы родников с железистыми гелями (рис. 6.с). Всего нами обнаружено 24 таких родника, расположенных по всей рудной зоне. Привязка к последней связана с тем, что зона совпадает с наиболее нарушенной частью массива, то есть с областью разгрузки грунтовых вод всей кольцевой структуры (рис. 1). Ранее родники с железистыми гелями не отмечались, что, вероятно, связано с тем, что большую часть времени они оказываются скрыты под снежным покровом или же их растворы бывают сильно разбавлены поверхностным стоком (таяние снега, оттайка мерзлоты, дожди). Визуально "красные родники" могут быть обнаружены только в сентябре - октябре, когда заканчивается оттайка. Установленные ранее проявления Pt-Pd природы (рис. 1), особенно в ассоциации с минералами меди, так же нужно рассматривать как важный поисковый признак. Еще один поисковый признак (косвенный) - это штокверки, образованные прожилками чешуйчатых и скрытокристаллических агрегатов вермикулита, серпентина, хлорита и монтмориллонита (рис. 6.е) которые формируются по флогопитовым штокверкам (в керне скважин можно наблюдать все переходные варианты).

Поздние щелочные дайки и метасоматиты. Щелочные породы массива Кондер представлены дайками нефелиновых сиенитов, жилами и метасоматитами и являются наиболее поздними эндогенными образованиями. В большинстве работ [2, 4, 8] они отнесены к поздемеловому Дарьинскому комплексу, то есть отделены от раннемелового

Кет-Капского монцодиоритового комплекса, представленного дайками и двумя штокообразными телами монцонитов (рис. 1).

Щелочные дайки имеют разнообразный состав, пегматоидную и зонально-полосчатую текстуру. Характерно разнообразие щелочных породообразующих минералов (нефелин, лейцит, арфведсонит, эгирин и др.). В составе метасоматитов и жил преобладают зеленый амфибол, нефелин, полностью или частично замещенный агрегатами альбита и цеолита, канкренин и флогопит. Часто наблюдается зональное строение, при этом в одних случаях флогопит образует оторочки, в других - встречается во внутренней зоне (рис. 8). Метасоматиты характеризуются относительно повышенными содержаниями Na_2O и Al_2O_3 (за счет нефелина и альбита), SiO_2 (за счет амфибола) и Ca (амфибол и цеолиты). Содержание K_2O коррелирует с количеством флогопита, при этом основная часть этого минерала по-видимому унаследована от исходных пород - флогопитовых пегматитов. Для всех пород комплекса характерны повышенные содержания Ba, Be, Th, La (40 - 100 г/т) и Sr (до 0,4%).

В плане (рис. 1) распространение щелочных пород сходно с распространением козьвитов. Большая часть располагается в пределах пироксенитового кольца и в краевой части дунитового ядра. В отличие от козьвитов, щелочные дайки падают не к центру массива, а в сторону его внешних контактов (рис. 1 и 7.d). Длина даек редко превышает несколько десятков метров, часто отмечаются следы синтетектонической кристаллизации, преобладает "кольцевая" ориентировка. Все эти особенности могут быть объяснены тем, что внедрение происходило в момент опускания ядерной части массива и дайки заполняли периклинальные трещины отрыва. Напротив, козьвиты внедрялись ("вдавливались") в центриклинальные трещины отдельности в дунитах, что, по-видимому, сопровождалось воздыманием центральной части массива.

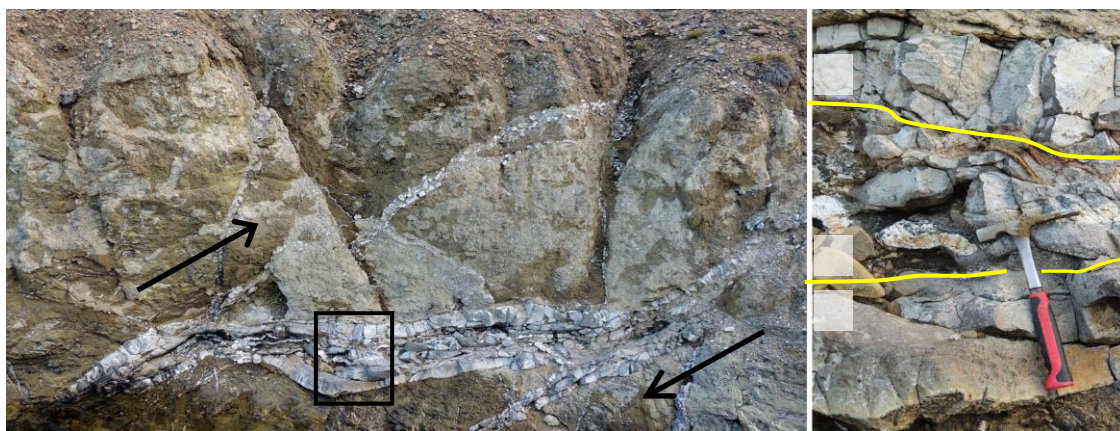


Рис. 8. Жилы щелочных пород в борту водоотводной канавы на уч. Прямой (северная граница уч. Аномальный)

a. Общий вид (с юга); b. фрагмент. Щелочные породы в трещинах системы взбросо-сдвига и дуплекса растяжения. Зональная жила мощностью 60 см заполняет трещину отрыва (зона 1 - альбит, цеолит, амфибол, зона 2 - флогопит, цеолит).

На участке Аномальный щелочные метасоматиты и жилы амфибол-нефелин-цеолитового состава наиболее широко и полно развиты в пределах пегматитовой зоны. Жилы и тела полнопроявленных метасоматитов ориентированы либо в СВ, либо в субширотном направлении. По нашему мнению, это, так же как и в случае пегматитов, может быть связано с формированием щелочных пород в системе дуплекса растяжения; примеры подобных структур можно наблюдать в разных частях участка Аномальный (рис. 8).

Сами по себе щелочные породы не несут платинометальной минерализации, но играют важную роль в рудолокализации. По результатам документации керн скважин, бульдозерных расчисток и обнажений, с использованием данных минералогических исследований и результатов опробования, была построена трехчленная схема метасоматической зональности.

Во **внешней зоне** происходит частичное замещение пироксена зеленым амфиболом, в гнездах и прожилках флогопита появляются интерстициальные вкрапления и микропрожилки цеолитов. Эти изменения затрагивают до трети общего объема пород участка Аномальный и неравномерно усиливаются в направлении центра. **Промежуточная зона** сложена агрегатом амфибола, нефелина, цеолита, альбита, канкринита; присутствуют нефелин-цеолитовые прожилки и жилы. Реликтовые минералы зоны - флогопит, магнетит, хромит, пирит и халькопирит. **Центральная зона** представлена нефелином, в различной степени замещенным агрегатом альбита и цеолита. Может присутствовать реликтовый флогопит, в этом случае образуются характерные "графические" текстуры (рис. 7.е). По данным бурения истинная мощность центральной зоны достигает 85 м (скв. 180).

В метасоматитах внутренней зоны содержания платины и палладия соответствуют фоновым или ниже последних (рис. 7.е - вторая ячейка сверху). Содержания в промежуточной зоне (рис. 7.е - первая, третья и четвертая ячейки сверху) варьируют от фоновых значений до 10 и более г/т. Содержания во внешней зоне при наложении метасоматоза изменяются несущественно.

Последовательность формирования платиновой и Pt-Pd минерализации. В пределах Кондёрского массива установлен первый случай промышленных концентраций медно-платино-паладиевой минерализации в концентрически-зональных пироксенит-

дунитовых платиноносных массивах Урало-Аляскинского типа (определение по [6]). Вместе с тем, в пределах Платинового пояса Урала, в районе Бушвельда и во многих других местах известны проявления и месторождения, которые демонстрируют значительное сходство с сульфидными рудами Кондера - как по минеральному и геохимическому составу руд, так и по их геологической позиции. Речь идет во-первых, о проявлениях ЭПГ, связанных, с дунит-клинопироксеновыми и габроидными массивами, несущими комплексное железо-титан-фосфор-ванадиевое оруденение (Волковский и Качканарский массивы и др.) и, во вторых, о полиминеральной Pt-Pd минерализации в щелочно-карбонатитовых комплексах (Палабора, Ковдор и др.).

Это обстоятельство позволяет предположить, что некоторые принципы и закономерности, сформулированные по результатам изучения других объектов, могут быть применимы и к процессу рудообразования массива Кондер. Среди них нужно упомянуть некоторые из факторов концентрирования ЭПГ, рассмотренных Налдреттом [6]. Это, во-первых, фракционирование сульфидной магмы и ее обогащение Cu, Pd, Pt, Au. Во-вторых - гидротермальное перераспределение ЭПГ в связи с деятельностью обогащенных хлором водных растворов, концентрирующих ЭПГ на поздних стадиях развития интрузий. В-третьих - возможность вторичной концентрации ЭПГ в хромитовых прожилках и шлирах. Учет этих и многих других известных закономерностей, касающихся формирования тектонических и гидротермально-метасоматических систем, позволяет предложить для рассмотрения следующую гипотетическую последовательность событий, приведших к формированию Pt и Pt-Pd оруденения.

1. Начальным событием, приведшим в конечном итоге к формированию оруденения, стало *внедрение косьвитовой магмы*, обогащенной летучими (вода, F?), Fe, Ti, Mn, V, Cu, Pt и Pd. Была сформирована единая воронкообразная структура, "стенки" которой выходят на поверхность в зоне пироксенитового кольца и падают к центру под углом 30° - 50°. В дунитах, расположенных внутри воронки, сформировались силло- и дайкообразные тела косьвитов, образующие "древовидный мегаштокверк" (рис 3, 4). Внедрение косьвитовых магм было связано с поднятием внутренней части массива (по кольцевому разлому, разделяющему протерозойские и архейские породы) и формированием купольной структуры с периклинальным залеганием вмещающих пород.

2. Основные черты залегания косьвитов в пределах массива определялись его внутренней структурой, сложившейся ранее. В то же время, неравномерность внедрения могла привести к формированию сгущений в строении косьвитового "мегаштокверка". Такие сгущения, возможно включающие промежуточные очаги, выражаются в геофизических полях как плотностные и магнитные аномалии. Часть таких аномалий

располагается на глубинах до 800м под четырьмя **купольно-кольцевыми структурами (ККС) второго ранга, включая ККС Аномальная.**

3. Кристаллизация коьсвитов сопровождалась отделением флюидной фазы, которая частично покидала кристаллизующееся тело и уходила вверх, формируя флогопитовые жилы и штокверки. Тектонические подвижки привели к формированию **системы разломов типа дуплекса растяжения** в зоне правого сдвига, проходящего по линии руч. Южный - р. Кондер. Открытые трещины ВСВ ориентировки в центре структуры стали местами концентрации летучей фазы и, одновременно, каналами ее продвижения вверх. Это привело к формированию в центре массива тел флогопитовых брекчий и пегматитов мощностью до 5-6 м.

4. **Воздействие флюидов на вышележащие дуниты** приводило к их перекристаллизации и частичному замещению (флогопитом и серпентином) и перемещению рудного вещества (вверх и в стороны). По мере удаления от главных зон флюидная фаза концентрировалась в отдельных тектонических "проводниках", и, по мере остывания, сбрасывала металлы в виде "рудных" хромшпинелидов и ксеноморфной ферроплатины с включениями различных минералов Pd и других платиноидов. Рудные минералы кристаллизовались одновременно с относительно низкотемпературными минералами, такими как хромдиопсид, амфиболы, флогопит, хлориты, серпентины и апатит [3,10]. Об активной роли флюидной фазы говорит наличие в хромшпинелиде и ферроплатине газовой-жидких включений [3, 10].

Наибольшие концентрации были сформированы в центре массива - над главной зоной развития пегматитов. Накопления меньшего масштаба - над другими благоприятными структурами, дренирующими потоки летучих от крупных тел кристаллизующихся коьсвитов, включая центральные части ККС Северная, Восточная и Южная. Возможно, что этот процесс наследовал более ранний пневматолитовый процесс перераспределения хрома и платины, связанный с собственными автометаморфическими преобразованиями дунитов.

5. Кристаллизация коьсвитов сопровождалась так же **фракционированием сульфидного расплава**. Последний оставался на месте, в пределах силлов коьсвитов, формируя в конечном итоге бедную наложенную Cu-Pt-Pd минерализацию с Pd/Pt отношением близким к единице.

6. Внедрение коьсвитов завершилось проседанием кровли их материнского очага, опусканием внутренней части массива и формированием на поверхности земли кольцевой депрессии. Наличие последней, наряду с воронкообразной структурой массива и восходящими флюидными потоками в его внутренней части обусловили формирование

конвективной системы циркуляции подземных вод, геометрически сходной с той, которая действует в настоящее время. Деятельность системы обеспечила частичный перенос металлов из участков бедной сульфидной Cu-Pt-Pd минерализации в зоны разгрузки, связанные с крутопадающими пегматитовыми жилами. В эту стадию сформировался, в частности, низкотемпературный халькозин, выполняющий интерстиции в пегматите (рис. 6.f).

8. *Внедрение щелочных магм* повысило температуру гидротермальной системы, изменило ее химизм и резко усилило перераспределение металлов. Движение растворов, обогащенных Na, Ca, Ba, La, Th, Sr и, предположительно, хлором, контролировалось уже существующими зонами проницаемости, включая флогопитовые пегматиты. Щелочной (натриевый) метасоматоз сопровождался разрушением сульфидов ранних генераций во внутренней части метасоматической колонны и выносом Cu, Pt, Pd и Au в промежуточные и внешние части. Наиболее интенсивно минералообразование (халькопирит II генерации, борнит, сульфиды, арсениды, висмутиты Pt и Pd) происходило на границах ранее сформированных сульфидных фаз (халькопирит, халькозин). Опускание внутренней части массива, связанное с проседанием кровли предполагаемого очага щелочной магмы, сопровождалось внедрением даек щелочных сиенитов в периклинальные трещины отрыва.

9. Современный рельеф массива Кондер был сформирован процессами выветривания и денудации, начавшимися предположительно в палеогене. Понижения рельефа образовались на месте ослабленных зон, расположенных в центральной части массива (высоты рельефа 650-700 м) и по границе дунитового ядра (700-900 м), то есть по зонам развития пегматитов, косьвитовых и флогопитовых штокверков, щелочных даек и метасоматитов. Возвышенности внутри дунитового ядра (до 1140 м) отвечают относительно слабо измененным дунитам. Перепад высот во внутренней части массива достигает 440 м, что позволяет наблюдать разные уровни "пегматитовой колонны" - от верхних частей "флюидного фронта" (проявления ферроплатины в центрах слабо эродированных ККС II ранга) до самих "флюидных колонн" в центре массива. Поскольку наиболее богатые проявления ЭПГ были сформированы над центральной пегматитовой зоной, *денудация верхней части Аномальной ККС обеспечила основной вклад в формирование россыпи платины.*

Таким образом, формирование сульфидной полиминеральной Pt-Pd минерализации имело полигенный и полихронный характер. Важнейшую роль сыграло радиально-кольцевое строение массива, обеспечившее долговременную и унаследованную

концентрацию восходящих пневматолитовых и гидротермальных потоков в центре массива.

Представления о флюидно-метаморфической или пневматолито - гидротермальной природе накопления ферроплатины развивались Мочаловым [15] и Пушкаревым и соавторами [10]. Эти представления лежат в русле идей об эпигенетическом характере платиноидной минерализации, которые были высказаны Заварицким, Бетехтиным, Налдреттом [7], Волченко [1], Ивановым [6], Генкиным и другими учеными.

Предполагаемое нами формирование козьвитов, пегматитов и проявлений ферроплатины в результате единого процесса согласуется с результатами определений абсолютного возраста. Для трех проб, отобранные на уч. Аномальный из козьвитов, были получены значения 126.7 ± 0.8 млн лет (Rb–Sr метод) и 131 ± 35 млн лет (Sm–Nd) [5]. Для ферроплатины, отобранной из хромированных шлиров на участке Верхний (Южная ККС) - 112 ± 7 млн лет ($^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$) [13]. Наиболее молодые значения возраста цирконов, отобранных из измененных дунитов в центре массива, определенные U–Pb методом, составили $125,8 \pm 3,8$ млн лет, что практически совпало с возрастом бадделиита (124.9 ± 1.9 млн лет), отобранного из той же пробы [11], как и с возрастом клинопироксена из дунита (128 ± 40 млн лет, Sm–Nd) [12]. Все эти значения достаточно близки к возрасту пород Кет-Капского комплекса - 109-128 млн лет [8]. Возраста щелочных пород и богатого Pt–Pd оруденения, связанного с их воздействием, требуют дополнительных определений.

Авторы выражают благодарность всем геологам, геофизикам и минералагам, принявшим участие в изучении коренной платиноносности массива Кондер.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волченко Ю.А., Иванов К.С., Коротеев В.А. и др. Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений уральского типа. Часть I. Литосфера. 2007. №. 3. С. 3-27.
2. Гуревич Д.В. Картирование Купольно-Кольцевых Структур при поисках и разведке порфириновых и эпитеpmальных месторождений. Материалы конференции, посвященной Дню Вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2013, с. 280-290.
3. Гурович В.Г., Землянухин В.Н., Емельяненко В.П. и др. Геология, петрология и рудоносность Кондерского массива. М.: Наука, 1994. - 176с.
3. Емельяненко Е.П., Масловский А.Н., Залищак Б.Л. и др. Закономерности размещения рудной минерализации на Кондерском щелочно-ультраосновном массиве // Геологические условия локализации эндогенного оруденения. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 100-113.

4. Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л., Малич К.Н., Лепихина Г.А. Sm–Nd и Rb–Sr (ID-TIMS) датирование апатит-флогопитовых клинопироксенитов в дунитовом “ядре” Кондерского массива на Алданском щите: новые данные // ДАН, 2012. Т. 445. № 5. С. 564–569.
5. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. 327 с.
6. Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. СПб: СПбГУ, 2003, 487 с.
7. Объяснительная записка к Государственной геологической карте РФ. Масштаб 1:1000000. Лист О-53 — Нелькан. СПб, 2012.
8. Петров А.В., Юдин Д.Б., Хоу Сюели. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестник КРАУНЦ, 2010, № 2, вып. 16, с.126-132.
9. Пушкарев Е.В., Каменецкий В. С., Морозова А. В. и др. Онтогенез рудных хромшпинелидов и состав включений как индикаторы пневматолито-гидротермального оразования платиноносных хромитов массива Кондер / ГРМ, 2015, Т. 57, № 5, с. 394–423
10. Ронкин Ю.Л., Ефимов А.А., Лепихина Г.А. и др. U–Pb датирование системы “бадделеит-циркон” платиноносного дунита Кондерского массива (Алданский щит): новые данные // ДАН, 2013, Т. 450, № 5, с. 579–585.
11. Саватенков В.М., Мочалов А.Г.. Возраст и источники платиноносных дунитов массива Кондёр Алданского щита (Rb-Sr и Sm-Nd изотопные данные). Материалы конференции "Месторождения стратегических металлов". Москва, ИГЕМ РАН, 2015, с.300-301.
12. Шуколюков Ю.А., Якубович О. В., Мочалов А. Г. и др. Новый изотопный геохронометр для прямого датирования самородных минералов платины (^{190}Pt - ^4He Метод) // Петрология, 2012, том 20, № 6, с. 545–559
13. 12th International Platinum Symposium Field Trip 2: PGM placer deposits and their sources in the ultramafic and alkaline rocks of the concentrically zoned Kondyor massif, Far East, Russia. Mochalov A.G., Golovkin S.A., Petrov S.V. et al., 2014, Yekaterinburg, Urals, Russia.
14. Mochalov A.G., Khoroshilova T.S. The Konder alluvial placer of platinum metals // International platinum. St. Petersburg-Athens: Theophrastus Publ., 1998. P. 206–220

**THE FIRST FINDING OF PGM IN THE ORE OF KIRGANIK COPPER-PORPHYRY
DEPOSIT (KAMCHATKA)**

E.G. Sidorov¹, E.K. Ignatyev², V.M. Chubarov¹

1 – Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS

2 – «Amur Minerals» Ltd.

ABSTRACT

Copper-porphyry deposit Kirganik is situated in the central part of the Sredinniy mountain range of Kamchatka, and is confined to the fields of development of potassic orthoclase metasomatite and hypabyssal intrusions of shonkinite. PGM such as merenskyite, kotulskite, keithconnite and temagamite were discovered in the chalcopyrite-bornite and chalcopyrite-bornite-chalcocite ore of the deposit for the first time. Formation of PGM might be paragenetically associated with Late Cretaceous-paleogenous intrusive complexes of gabbro-clinopyroxenite-dunite formation of the Ural-Alaskan type and closely associated with them differentiated intrusions of essexite-monzonite-syenite composition, largely presented within Central Kamchatka, including the area of Kirganik deposit.

Keywords: Kamchatka; copper-porphyry deposit; platinum group minerals; merenskyite; kotulskite; keithconnite; temagamite

Recently copper-porphyry deposits are considered as potential sources of PGM. Numerous recent publications, containing the data about high grade of PGE in the ore of this formational type, show this. There are not many findings of PGM in the ore of copper-porphyry deposits. They are mainly represented by tellurides and tellurobismuthides of palladium and platinum, merenskyite being prevalent among them. It was described in the ore of copper-porphyry deposits in various regions of the world as the most abundant PGM [1-5].

According to the existing assessment [6] the most potential for discovery of copper deposits in Kamchatka peninsular is the Sharomsko-Kirganikskaya copper ore zone, situated in the central part of the Sredinniy mountain range. A few gold copper occurrences and deposits are known within this zone. The deposit and discovered here gold copper occurrences are of the same type and confined to the fields of development of potassic orthoclase metasomatite and hypabyssal intrusions of shonkinite.

The most potential deposits Kirganik was discovered by geologists Y.V. Markov in 1956. In the following years prospecting and exploration was conducted within the deposit by Kamchatka geologists A.I. Baikov, V.N. Lukyanov, G.M. Vlasov, M.M. Vasilevskiy, G.B.

Flerov, E.K. Ignatyev, V.N. Shapovalenko, A.S. Gumovsky. The inferred resources ($P_2 + P_3$ categories) of Kirganik deposit make about 900 thousand t. of copper and 47 t. of gold [7].

Whereas, a number of features typical of copper-porphyry systems were identified for the deposit, there is no categorical opinion not only about the genesis, but also about its formational identity. According to the most popular point of view, which the authors of this article also share, Kirganik deposit relates to the copper-porphyry formation [8]. Other researchers relate it to the copper ore orthoclase gold containing formation [6], or to a special type of occurrences of chalcophylic mineralization (with Au and Ag) in the circular massifs of high alkalinity [9].

The deposit is situated in the field of development of Late Cretaceous-paleogenes silicious-volcanogenic rocks, to which the intrusions and dykes of shonkinite are confined. Here post-mineral intrusions and dykes of diorite, granodiorite of Miocene also frequently occur, as well as the dykes of basalt and andesite-basalt [6; 10-12]. Orthoclase metasomatite and confined to them ore are bedding in shonkinite massif in the form of linear oriented zones of thickness up to 50 m, which are followed along the strike for 870 m. By the ratio of rockforming minerals they are divided into clinopyroxene-kalifeldspar, biotite-clinopyroxene-kalifeldspar and biotite-kalifeldspar variations, characterized by gradational contact between them. Gold-copper mineralization is confined to biotite-clinopyroxene-kalifeldspar and biotite-kalifeldspar metasomatite. The richest gold-copper mineralization is located in biotite-kalifeldspar rocks. The grades of copper over the area of the deposit are the following: rich ($Cu > 1.0\%$), ordinary (Cu from 0.4 to 1.0%) and poor (Cu from 0.1 to 0.4 %) ores. They are divided by the zone of barren clinopyroxene-kalifeldspar metasomatite, in which thick dissemination is often recorded, as well as lenses and thin veins (up to 0.3 m) of titanomagnetite. Sulfide ore is represented by cluster, veinlet and veinlet-disseminated types, besides, they differ by the degree of oxidation and desalination of ore components.

The selected by the authors samples (127 samples) were analyzed for three elements Au, Pt and Pd in the laboratory Chemex Labs (Vancouver, Canada). The analytical method included: fire assay, separation of dore bead, its dissolution in nitromuriatic acid and ICP-MS analysis. The detection limit for all three elements was: 0.03 g/t. Polished microsection were made from the samples with the identified high grade of PGE, which were studied under a microscope in reflected light. The morphology, internal structure and composition of minerals were studied on the scanning electronic microscope Vega-3 with the accelerating voltage 20 kilovolt, with the current of E beam (on the clean Ni) – 1 nanoampere, and the microprobe Camebax #244, the accelerating voltage 20 kilovolt, with the beam current (on the clean Ni) – 20 nanoampere. The metals and artificial compounds of the known composition were used as standards. According to the applied in the Institute of Volcanology and Seismology of the Far East Department of the

Russian Academy of Science method, $K\alpha$ -lines were used as analytical lines for light elements (up to Se), for medium elements (from Se to Te) - $L\alpha$ -lines, and for heavy elements (heavier than Te) - $M\alpha$ -lines of x ray spectrum. In the process of preparation for the analysis the microsections were polished with diamond paste, washed and covered by a current-conducting graphitic layer in a vacuum source.

Conducted by the authors revisory assaying of ore bodies showed that besides gold palladium and platinum are present among other useful components.

High grade of gold and palladium are often confined to cluster chalcopyrite-bornitic ore (Cu > 1.0 %), where the grade of gold was from 0.10 to 9.33 g/t and the grade of palladium from 0.07 to 2.03 g/t. In one of such samples the grade of gold reached 63.0 g/t, palladium - 7.70 g/t, platinum – 0.35 g/t and copper – 3.0%. The average grade of 32 samples from the ore (excluding bonanza samples) was: copper – 1.53%, gold – 1.14 g/t and palladium – 0.47 g/t. In oxidized ore with the grade of copper from 0.4 to 1.0% the average grade of palladium was 0.24 g/t (for 23 samples). In poor leached copper ore (Cu – to 0.35%) the grade of gold varies from 0.02 to 0.66 g/t (usually < 0.1 g/t), palladium – from 0.07 to 0.21 g/t.

The main minerals of the ore of Kirganik deposit are bornite, chalcopyrite and chalcosine, less frequent are covellite, magnetite, pyrite, cuprite, gold, native tellurium and copper, hessite, argentite, coloradoite, clausthalite, tiemanite, cinnabar and PGM.

Barite with the grade of strontium up to 5.8% and copper up to 2.4%, bariant strontianite and fluor-apatite are often recorded in the ore. Secondary minerals such as limonite, hematite, malachite, armenite, covellite frequently occur in oxidized and leached ore.

PGM are recorded in chalcopyrite-bornite and chalcopyrite-bornite-chalcosine ore and are represented by merenskyite, kotulskite, keithconnite and temagamite. Tellurides of palladium – merenskyite $PdTe_2$ is the most abundant mineral in the ore of Kirganik deposit. It occurs in the form of separate large (up to 100 micron and more), round, angular grains in chalcopyrite-bornite-chalcosine ore on the border of the grains of ore and silicious minerals, in the form of dissemination in chalcopyrite, bornite and covellite in association with coloradoite, hessite, clausthalite, argentite and gold (Fig. 1a.).

Tellurides of palladium often occur in the form of fine dissemination (1-15 micron) alongside with selenide and tellurides of lead, mercury, silver, gold in copper minerals (bornite, chalcosine, chalcopyrite or cuprite).

The composition of some grains of merenskyite slightly varies by the grade of palladium and tellurium and is close to the ratio of $PdTe_2$, however, still their larger portion is heterogeneous by combination and composition of alloys, among them Fe and Au prevail (Table 1, tests 1-4).

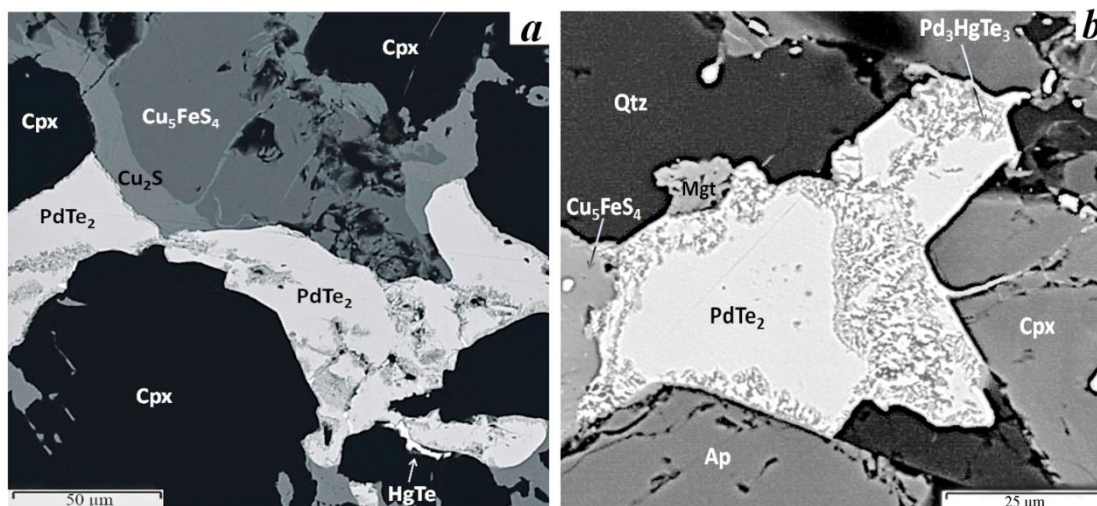


Fig. 1. Form of aggregates of tellurides of palladium in the ore of Kirganik deposit. (a) aggregate of merenskyite grains (PdTe_2) with oxidation zones on the contact of clinopyroxene (Cpx) and bornite (Cu_5FeS_4) in association with coloradoite (HgTe); (b) the grain of merenskyite in association with bornite, magnetite (Mgt), quartz (Qtz), apatite (Ap) and clinopyroxene (Cpx). Disseminations of temagamite (Pd_3HgTe_3) in the oxidation zone of merenskyite.

Aggregates of kotulskite and keithconnite, which size in not more than 25 micron, are recorded in bornite and chalcopyrite together with fine inclusions of coloradoite. The alloys of Fe, Au and Pt are typical of them (Table 1, tests 5-7). Porous oxidation grains are formed along the periphery of separate grains of merenskyite and tractures, in which the aggregates of keithconnite are recorded (Table 1, test 7) and the inclusions of temagamite (Fig. 1b, Table 1, tests 8-11) in association with coloradoite.

Table 1

PGM of Kirganik deposit

| N | Fe | Pd | Te | Pt | Au | Hg | Sum | Formula |
|----|------|-------|-------|------|------|-------|--------|---|
| 1 | 1.10 | 29.04 | 68.31 | - | - | - | 98.45 | $(\text{Pd}_{0.99}\text{Fe}_{0.07})_{1.06}\text{Te}_{1.94}$ |
| 2 | 0.58 | 29.31 | 69.42 | - | 0.76 | - | 100.06 | $(\text{Pd}_{0.99}\text{Fe}_{0.04}\text{Au}_{0.01})_{1.04}\text{Te}_{1.96}$ |
| 3 | - | 29.53 | 69.84 | - | - | - | 99.37 | $\text{Pd}_{1.01}\text{Te}_{1.99}$ |
| 4 | 0.29 | 28.10 | 69.41 | - | 0.78 | - | 98.58 | $(\text{Pd}_{0.97}\text{Fe}_{0.02}\text{Au}_{0.01})_{1.00}\text{Te}_{2.00}$ |
| 5 | 0.68 | 44.93 | 52.62 | 0.15 | 0.11 | - | 98.65 | $(\text{Pd}_{1.00}\text{Fe}_{0.03})_{1.03}\text{Te}_{0.97}$ |
| 6 | 0.68 | 44.93 | 52.62 | 0.15 | 0.11 | - | 98.50 | $(\text{Pd}_{1.00}\text{Fe}_{0.03})_{1.03}\text{Te}_{0.97}$ |
| 7 | 0.87 | 68.18 | 29.64 | 0.19 | - | - | 98.87 | $(\text{Pd}_{2.88}\text{Fe}_{0.08})_{2.96}\text{Te}_{1.04}$ |
| 8 | - | 34.28 | 43.19 | - | - | 22.42 | 99.88 | $\text{Pd}_{2.92}\text{Hg}_{1.01}\text{Te}_{3.07}$ |
| 10 | - | 34.20 | 42.99 | - | - | 21.81 | 99.00 | $\text{Pd}_{2.93}\text{Hg}_{0.99}\text{Te}_{3.07}$ |
| 11 | - | 34.07 | 43.76 | - | - | 20.68 | 98.51 | $\text{Pd}_{2.93}\text{Hg}_{0.94}\text{Te}_{3.13}$ |

Note: 1-4 merenskyite (PdTe_2), 5-6 kotulskite (PdTe), 7 keithconnite (Pd_3Te), 8-11 temagamite (Pd_3HgTe_3).

Therefore, the presence of PGM in the ore of Kirganik deposit can be considered as one of the important typomorphic features for copper-porphyry deposits, confined to alkaline magmatic systems, with them the occurrences of potassic orthoclase metasomatite are closely associated.

The formation of PGM might be paragenetically associated with the Late Cretaceous-paleogene intrusive complexes of gabbro-clinopyroxenite-dunite formation of the Ural-Alaskan type, and closely associated with them differentiated intrusions of essexite-monzonite-syenite composition, largely presented within Central Kamchatka, also including the area of Kirganik deposit.

The work was performed with the financial support of the Far East Department of the Russian Academy of Science (Grant N15-I-2-095).

REFERENCE

1. Filimonova L.E. // Presentations of the Academy of Science. 1984. V.279. #1. P. 200-202.
- Tarkian M., Eliopoulos D.G., Economou-Eliopoulos M. // Neues Jahrb. Mineral. Monat. 1991. Bd. 12. P. 529-537.
2. Tarkian M., Koopmann G. // Mineralium Deposits. 1995. V. 30. P. 39-47
- Economou-Eliopoulos M. Platinum group element potential of porphyry deposits. In Exploration for Platinum-group Element Deposits (J.E. Mungall, ed.). Mineralogical Association of Canada, Short Course 35: 2005. P. 203-246.
3. Beresina A.N., Sotnikov V.I., Economou-Eloipoulos M., Eloipoulos D.G. // Geology and Geophysics. 2007. V. 48. # 8. P. 848-851.
4. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000. Koryaksko-Kuril'skaya Series, Sheet N-57. Explanatory note. Edition of B.A. Markovsky. SBR: Publishing house Cartographic plant of A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute. 2006. 376 p.
5. Solovyev S.G. Metallogeny of Shoshonite Magmatism. V.1. – M.: Nauchny Mir. 2014. 528 p.
- Smirnov V.I. Mineral Deposits Geology. M.: Nedra. 1982. 669 p.
6. Zvezdov V.S. // Russian Geology. 1997. N5. P. 13-17.
7. Geology of the USSR. V. XXXI. Kamchatka, Kuril and Komandorsky Islands // Edition of G.M. Vlasov. M.: Nedra, 1977. 351 p.

8. Polokhov V.P., Volynets O.N. In the collection: Formations and Phases of the Upper Cretaceous and Cainozoic Magmatic Rocks of the Central Kamchatka. M.: Nauka. 1968. P. 47-73.

9. Flerov G.B., Koloskov A.V. Alkaline Basalt Magmatism of the Central Kamchatka. M.: Nauka. 1976. 147 p.

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАТИНОНОСНЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ
ЗОН СВЕТЛОБОРСКОГО ПИРОКСЕНИТ-ДУНИТОВОГО МАССИВА
(СРЕДНИЙ УРАЛ)**

Ю.М.Телегин
ООО «Проспектор»

АННОТАЦИЯ

Особенности локализации и внутреннего строения платиноносной минерализованной зоны в дунитах Светлоборского массива Урало-Аляскинского типа позволяют предположить пневматолитово-гидротермальный генезис платинометалльной минерализации

Ключевые слова: Урал; Светлоборский; дуниты; платина; зона

**SOME FEATURES OF PLATINUM MINERALIZED ZONES OF SVETLOBORSKY
PYROXENITE-DUNITE INTRUSION (MIDDLE URALS)**

Telegin Y.M.
«Prospector» LLC

ABSTRACT

Features of location and composition of platinum mineralized zone in dunites of the Svetloborsky Ural-Alaskan type intrusion allow to suppose the pneumatolytic-hydrothermal origin of Platinum mineralization.

Key words: Urals; Svetloborsky; Dunite; Platinum; Zone

В.Г.Лазаренков много внимания уделял изучению ультраосновных массивов платиноносного пояса Урала. Практическая реализация этих представлений излагается в данной статье.

Уральский платиноносный пояс – это крупнейшие россыпи платины. Их источниками считались связанные сегрегации хромшпинелидов.

В качестве объекта исследований был выбран Светлоборский массив: хромититы для массива не характерны; в ручьях, дренирующих светлоборские дуниты, преобладает тонкая платина (Высоцкий, 1923).

Светлоборский пироксенит-дунитовый массив (20 км²) находится к западу от крупного Качканарского пироксенитового массива. (Иванов, 1997). Проведенные автором

в 2003-2011 гг. исследования привели к выявлению группы платиноносных минерализованных зон в дунитах. Наиболее контрастным из них (зона Высоцкого Н.К., использована в качестве эталонного объекта (рис.1).

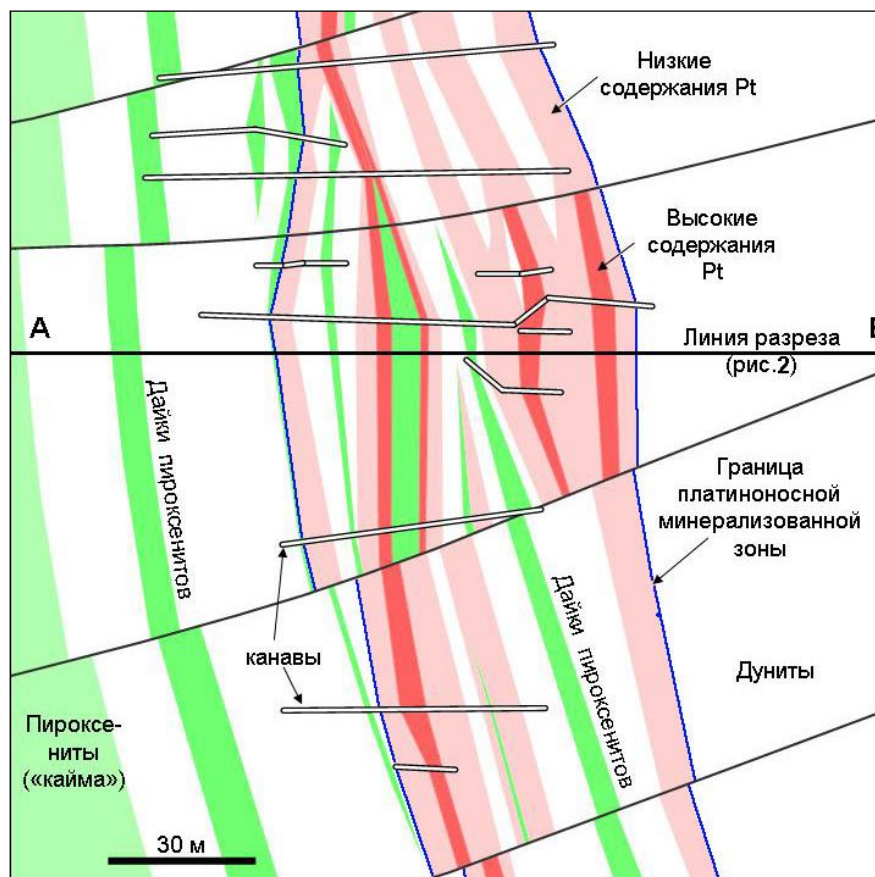


Рис.1. План фрагмента платиноносной зоны Высоцкого

Платиноносная зона Высоцкого расположена в юго-западной краевой части дунитового ядра массива, вблизи контакта. Близмеридиональная зона интенсивной трещиноватости контролирует полосу даек пироксенитов, горнблендитов и иситов. В её пределах локализуются интенсивные новообразования: жилы хлорита, флогопита, антигорита, выделения хромдиоксида. Фрагменты дунитов в пределах минерализованной зоны пронизаны густой сетью тончайших прожилков черного антигорита.

Данная полоса измененных пород в дунитах и представляет собой платиноносную зону, граница которой определяется по интенсивности развития новообразований. Зона прослежена по простиранию на 1200 м, по падению - до 200 м, ширина выхода на поверхность - до 170 метров. Падение восточное, 35-40° (рис.2). В отношении платиновой минерализации, «зона в целом» - это широкий первичный ореол с содержаниями платины более 0,1 г/т. В её пределах выделяются наиболее обогащенные полосы и линзы (рудные тела) мощностью 5-15 м, содержания платины от 0,5 до 2,5 г/т (максимальное - 22,5 г/т). Общее среднее содержание платины составляет около 1,5 г/т.

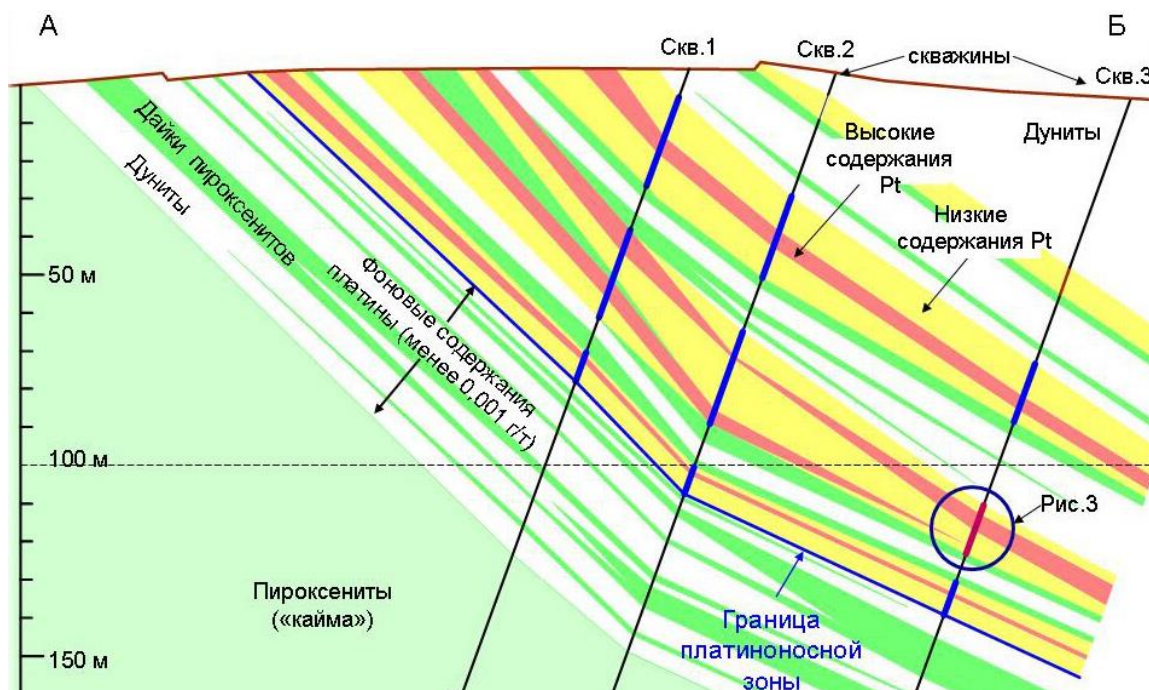


Рис.2.Разрез по линии А-Б. Зона Высоцкого

Особенности локализации повышенных концентраций платины в пределах зоны также определяются структурными факторами. Полосы с повышенными содержаниями платины приурочены к экзоконтактам наиболее мощных даек, или же эти полосы приурочены к пучку близкорасположенных параллельных маломощных даек (рис.3).

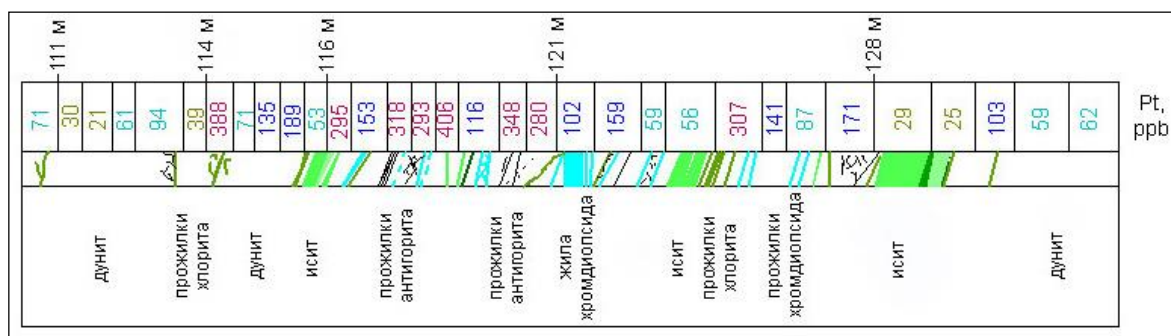


Рис 3. Строение фрагмента зоны Высоцкого (скв.3, интервал 114-128 м)

Наиболее характерным рудным минералом зоны Высоцкого является магнетит, присутствующий главным образом в виде обильной тонкой вкрапленности в поздних прожилках серпентинита. Наиболее характерными формами МПГ являются Pt-Fe сплавы (изоферроплатина) с размерами зерен 30-70 мкм, локализованные в оливин-серпентиновой матрице, часто- в ассоциации с магнетитом (Толстых и др., 2009).

Таким образом, потенциально промышленная платиноносная зона Высоцкого приурочена к полосе даек, прорывающих консолидированные дуниты. Зона представляет

собой линейный штокверк, выполненный гидротермально-метасоматическими образованиями. Полученные результаты подтверждают представления о возможном пневматолитово-гидротермальном происхождении платиновой минерализации Уральского платиноносного пояса. Такой вывод имеет решающее значение для дальнейшего изучения платиновой минерализации, выявления и развития коренных месторождений платины на Урале и в интрузивных комплексах урало-алаянского типа других регионов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высоцкий Н.К. Платина и районы ее добычи / Комиссия по изучению естественных производительных сил России РАН. – Петроград. Ч.2-3. 1923. – 234 с.
2. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. / О.К. Иванов – Екатеринбург: Уральский университет, 1997. – 488 с.
3. Лазаренков В.Г. Платинометалльная минерализация зональных ультраосновных и коматиитовых массивов. / В.Г. Лазаренков, К.Н. Малич, Л.О. Сахьянов – Л: Недра, 1992. – 217 с.
4. Телегин Ю.М. Геологические особенности рудопроявлений платины Светлоборского и Каменушинского массивов Платиноносного пояса Урала / Ю.М. Телегин, Т.В. Телегина, Н.Д. Толстых // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2009. – Т.2. – С. 212-216.
5. Толстых Н.Д. Коренная платиновая минерализация Светлоборского и Нижне-Тагильского массивов, Платиноносный пояс Урала / Н.Д. Толстых, А.П. Козлов, Ю.М. Телегин // Платина России / Д.А. Додин. – Красноярск: 2011, – Т.7. – С. 297-312.

**HOST ROCK RELATED UNUSUAL TRACE ELEMENT CONCENTRATIONS OF
THE BICONI-ASSOCIATION FROM THE SCHLEMA-ALBERODA POLYMETALLIC
URANIUM DEPOSIT**

T. Schlothauer, G. Heide

Institute of Mineralogy, TU Bergakademie Freiberg

ABSTRACT

During chemical investigations in few As-rich samples of the Schlema-Alberoda deposit elevated Au-contents and in one case small Pt-enrichment were found. It was shown, that these trace element values are in relation with leaching processes of the metamorphous mafic whole rocks in cretaceous time. This enrichment in the youngest phase of the BiCoNi-association has no reference with its also very young selenium association.

Keywords: Schlema-Alberoda; mafic whole rock; gold-platinum enrichment; selenium bearing ore

The Schlema-Alberoda polymetallic uranium-deposit, with an output of more than 80 000 metric tons of uranium metal, was one of the largest U-deposits of the vein-type worldwide [8]. It is characterised by a large number of different ore associations, hosted from carboniferous to tertiary time. This deposit and its geological setting were during mining under confidentiality. For this reason published data are rare and informations about uranium mining, uranium exploration and mineralization of the deposits in the eastern part of Germany were almost published after closing of the mining areas [8, 10–12]. This includes also the mineralization of the Schlema-Alberoda-deposit as shown in the descriptions of the complex selenium mineralisation especially by Förster (e.g. [4, 6] and others). In former times samples collected from the dumps of this deposit with its unique mineralization were used for mineralogical investigations to clear the chemical and structural reasons for the difficult oxidation behavior of its As-bearing ores [13, 14]. During these investigations of the oxidation behaviour an unusual high content of platinum (3.8 ppm per mass) with wet chemical analysis was detected in the Co-richest sample together with elevated Se-content (Table 1).

Table 1

Chemical analysis, ppm per mass

| | blank | As1 | MischAs2 | Ery1 | Vas1 | AsAg2-B | kubAs2B | MischAsBi |
|-----------|-------|--------|----------|------------|--------|---------|---------|-----------|
| Fe | nd | 1380 | 34200 | 6200 | 9950 | 18300 | 77100 | 147000 |
| Co | nd | 22.7 | 14100 | 115000 | 81.5 | 176 | 22900 | 40000 |
| Ni | nd | nd | 206000 | 107000 | 569 | 3490 | 56500 | 39700 |
| Cu | 267 | 51.1 | 1080 | 125 | 91.1 | 1290 | 4400 | 3870 |
| Zn | 31.9 | 131 | 79.7 | 97.1 | 82.9 | 150 | 63.4 | 69.0 |
| Ga | nd | 2.15 | 1.35 | 1.92 | 6.18 | 1.33 | 2.95 | 2.35 |
| As | nd | 717000 | 514000 | 328000 | 649000 | 859000 | 397000 | 462000 |
| Se | nd | 52.7 | 35.1 | 95.1 | 77.6 | 83.5 | 81.7 | nd |
| Pd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| Ag | 1.40 | 83.7 | 218 | 31.3 | 165 | 212 | 16.4 | 162 |
| Te | nd | 26.7 | nd | nd | nd | nd | nd | nd |
| Hg | nd | 5.08 | 3990 | 18.4 | 20.3 | 482 | 16.6 | 33.4 |
| Pb | 3.01 | 48.4 | 51.1 | 33.9 | 15.5 | 156 | 20.4 | 28.1 |
| Bi | 4.02 | 59.2 | 1530 | 8430 | 213 | 157 | 3860 | 4280 |
| Th | nd | nd | nd | 1.39 | 2.52 | nd | nd | 1.37 |
| U | nd | 1.14 | 699 | 566 | 1.21 | 4.31 | 134 | 137 |
| Pt | nd | nd | nd | 3,8 | nd | nd | nd | nd |

Notes. Results of the wet chemical analysis, sample names after Walther 2006 [14]) As1= native arsenic, MischAs2=sample with different Co-Ni-Fe-arsenides, Ery1=Co-rich ore (name after the oxidation product erythrite), Vas1=instable native arsenic with many oxidation products, AsAg2= native arsenic with silver, kubAs2-B=cubic arsenides of the skudderudite-group, MischAsBi=sample with different Co-Ni-arsenides and additionally with native bismuth.

Gold occurs frequently (7 of 12 random samples) in small fissures in various arsenides from the cretaceous BiCoNi-association. It was detected with LA-ICP-MS-line scans. Furthermore in this association a Se-bearing mineral association was found, dominated by Ag-Bi-Pb-selenides (naumannite, guanojuatite, nevskite and others) and rare tellurides like hessite and native tellurium [5]. LA-ICP-MS-linescans of this selenide rich ore samples show neither traces of palladium and gold. Because gold is highly soluble in As-rich minerals (up to a molar As/Au-ratio of 0.02 [9]) it was not visible with optical and SEM-methods. In the Schlemma-Alberoda-deposit the ores are concentrated in the “productive series” (fig. 1 A), formed by folded upper Ordovician (dark shists), Silurian (dark shists and carbon bearing black shists) and Devonian (less dark shists and mafic volcanic rocks) as shown in fig. 1 B. In the time of granite intrusion all types of rocks near its surface experience a contact metamorphosis with significant structural and chemical changes (e.g. diabasic flows into amphibolites).

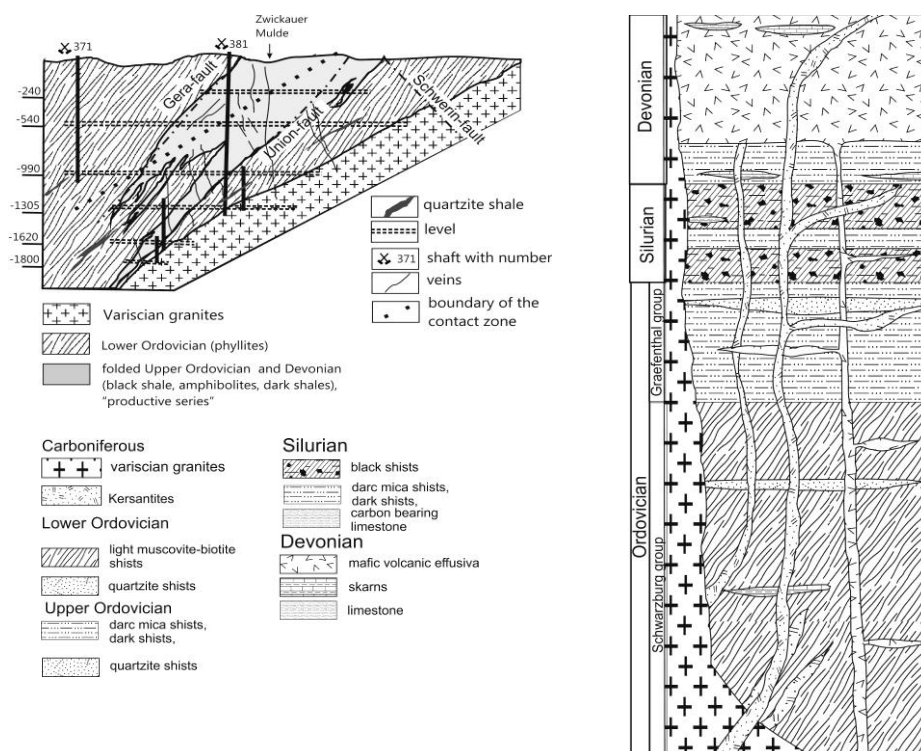


Fig. 1. Schematic profile through the Schlema-Alberoda-deposit (left) with the boundary of the contact metamorphous zone, simultaneously limiting the area of useful ore concentrations [Baumann 2000 #351] and schematic stratigraphy (right) of the Lower Ordovician and the "productive series" (Upper Ordovician, Silurian, Devonian) [Hiller 2008 #545]

The most important enrichment of uranium and other usable elements (Ag, Co, Ni, Bi, Pb, Zn, Se) was limited into the zone with this overprint by contact metamorphism (Fig. 1 A). In this case the granites of Schneeberg, Schlema and Aue were heat and chemical source for the uranium ore [2]. After the first formation of uranium bearing ore veins (274-278 Gy), substantial controlled by late Variscian granites [3, 7], different redistribution of the primary uranium mineralization took place in jurassic (155-158 Gy) and cretaceous time (112-120 Gy) [1, 15]. In the case of the BiCoNi-association the heat source were Crataceous events, characterized by a temperature increase in the area of the deposit, connected with an increase of hydrothermal activity and reactivation of the vein system. The mafic metavolcanites were also leached and its minor components like cobalt, nickel, iron and also its minor platinum- and Au-contents ([10] with mass calculations therein). In this case the platinum contents of the Co-As-ore are an additional indication for the intense leaching of the mafic metavolcanites in Cretaceous time.

REFERENCES

1. Baumann, L., Kuschka, E., Seifert, T.: Lagerstätten des Erzgebirges. 13 Tabellen. Enke im Thieme-Verl, Stuttgart [u. a.] (2000)
2. Cuney, M., Kyser K.: Chapter 7: Hydrothermal uranium deposits related to igneous rocks. In: Cuney, M., Kyser, K. (eds.) Recent and not so recent developments in Uranium Deposits and Implications for Exploration, Mineralogical Association of Canada, Short Course Series Vol. 39. Short Course Series, vol. 39, pp. 117–160. Mineralogical Association of Canada, Quebec (2008)
3. Förster, H.-J.: The chemical composition of uraninite in Variscan granites of the Erzgebirge, Germany. *Mineral Mag* 63(2), 239–252 (1999)
4. Förster, H.-J., Rhede, D., Tischendorf, G.: Continuous solid-solution between mercurian giraudite and hakite. *The Canadian Mineralogist* 40(4), 1161–1170 (2002). doi: 10.2113/gscanmin.40.4.1161
5. Förster, H.-J.: Mineralogy of the Niederschlema-Alberoda-U-Se-polymetallic deposit, Erzgebirge, Germany. II: Hessite, Ag₂Te and native Te (?), the first tellurium minerals. *N. Jb. Miner. Abh* 180(2) (2004)
6. Förster, H.-J.: Mineralogy of the U-Se-polymetallic deposit Niederschlema-Alberoda, Germany. IV. The continuous clausthalite-galena solid solution series. *N. Jb. Miner. Abh* 181(2) (2005)
7. Förster, H.-J.: The late-Variscan granites of the Aue-Schwarzenberg Zone: Composition of accessory minerals and mineralogical mass balance of the lanthanides and actinides. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften* 38(2-3), 125–144 (2010)
8. Hiller, A., Schuppan, W.: Geologie und Uranbergbau im Revier Schlema-Alberoda. *Bergbau in Sachsen*, vol. 14. LfUG, Öffentlichkeitsarbeit; Sächsisches Oberbergamt, Dresden, Freiberg (2008)
9. Houg, R.M., Butt, C.M., Fischer-Bühner, J.: The crystallography, metallography and composition of gold. *Elements* 5(5), 397 (2009)
10. Lipp, U.: Wismut-, Kobalt-, Nickel und Silbererze im Nordteil des Schneeberger Lagerstättenbezirkes. mit Ergänzungen durch Siegfried Flach. *Bergbau in Sachsen*, vol. 10. Sächsisches Druck- und Verlagshaus, Freiberg (2003)
11. Runge, W. (ed.): *Chronik der Wismut (CD-ROM)*, 2002nd edn., Chemnitz (1999)
12. Tonndorf, H.: *Zur Metallogenie des Urans im ostdeutschen Deckgebirge*, 1st edn. Freiburger Forschungshefte, C 527 Geowissenschaften. Technische Universität Bergakademie, Freiberg (2008)

13. Tulibaewa, N.I.: Mineralogy of the Schlema-Alberoda-Deposit (Saxony, Ore Mountains, Germany). Magisterskaja dissertazija, Saint Petersburg State University (2014)
14. Walther, A.: Mineralogisch- geochemische Untersuchungen zur As- Freisetzung aus lagerstättentypischen As- Mineralen im Zusammenhang mit der Flutung der Urangrube Schlema – Alberoda. Diploma Thesis, TU Bergakademie Freiberg (2006)
15. Wismut-GmbH: Das Alter der Vererzungen im Revier Niederschlema-Alberoda, Niederschlema (2012)

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ БЛАГОРОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ В МЕДНО-ПЛАТИНОВЫХ ЖИЛАХ УЧАСТКА ЗАПАДНЫЙ
НИТТИС МОНЧЕГОРСКОГО РАССЛОЕННОГО ПЛУТОНА (КОЛЬСКИЙ П-ОВ)**

О.В. Казанов¹, С.И. Корнеев², С.В. Петров², А.А. Фролова²

1 – ОАО «Центрально-Кольская экспедиция»;

2 – Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

АННОТАЦИЯ

Впервые приводятся результаты исследования особенностей распределения и состава ЭПГ минерализации в медно-платиновых жилах участка Западный Ниттис.

Ключевые слова: Мончегорский плутон; участок Западный Ниттис; МПГ-Cu сульфидные жилы; минералы элементов платиновой группы.

**THE DISTRIBUTION OF MINERALS OF NOBLE METALS IN THE COPPER-
PLATINUM VEINS OF THE WEST NITTIS AREA MONCHEGORSK LAYERED
PLUTON (KOLA PENINSULA)**

O. V. Kazanov¹, S. I. Korneev², S. V. Petrov², A. A. Frolova²

1 – Central Kola Expedition

2 – Institute of Earth Science, Saint-Petersburg State University

ABSTRACT

For the first time presents the results of studies of the distribution and composition of PGE mineralization in Cu-Pt sulphide veins in the West Nittis area of Monchegorsk Pluton.

Keywords: Monchegorsk Pluton; West Nittis area; PGM-Cu sulphide veins; minerals of platinum group elements.

Массив Ниттис-Кумужья-Травяная (НКТ) входит в состав нижнепротерозойского Мончегорского плутона и представляет собой его меридиональную ветвь. Массив вытянут в северном – северо-восточном направлении на 7 км при ширине выхода от 2,2 км до 800 м. Породы массива прорывают подстилающие гнейсы и диорито-гнейсы архейского фундамента. Массив принадлежит к перидотит-ортопироксенит-габброноритовой формации и обладает характерной для объектов данной группы магматической расслоенностью.

Традиционно в пределах НКТ выделяют два генетических типа минерализации [1].

1. «Сингенетическая сульфидная минерализация» представлена донной залежью магматических вкрапленных сульфидов, развитой вдоль подошвы массива на всем его протяжении. Эта минерализация бедная цветными и благородными металлами, в руде преобладает пирротин. 2. «Эпигенетическая сульфидная минерализация» представлена преимущественно поздне- и постмагматическими сульфидами. Эта группа включает в себя сульфидные жилы и прожилковые зоны, вкрапленную минерализацию и богатые сульфидами шлиры с благороднометальным оруденением, которые установлены в осевой зоне массива. Минерализация приурочена к системе крутопадающих (80-90°) трещин С-СЗ простирания.

В пределах участка Западный Ниттис (Мончегорский плутон) выделяются также два генетических типа платинометальной минерализации (ЭПГ): давно известная магматическая вкрапленная малосульфидная минерализация «донной залежи» и впервые установленная работами ОАО «Центрально-Кольская экспедиция» в 2012 г эпигенетическая, включающая в себя сульфидные жилы и прожилковые зоны, вкрапленную минерализацию и богатые сульфидами шлиры, значительная часть из них содержит высокие и ураганные концентрации ЭПГ (\pm Au).

Первая из них представлена сульфидной ассоциацией \pm пирит-пентландит-пирротин-халькопирит, с которой ассоциируют минералы платиновой группы (сульфиды, арсениды, теллуриды). Вторая образует две системы сульфидных жил, различной морфологии и структурной позиции. Система 1 (субвертикальная относительно расслоенности) выполнена сульфидными жилами толщиной до 1-2 см, окруженными ореолами вторичных изменений пород (т.н. «мокрые жилы»). Эти жилы имеют невыдержанную мощность, неровные границы, иногда переходят в сульфидные шлиры (видимая мощность до 5 см), сульфидный материал жил экстремально обогащен ЭПГ (до 1-10 кг/т в пересчете на 100% сульфидов, содержание минералов ЭПГ в прожилках может достигать 0,3-1%). Система 2 в основном перпендикулярна к первой, формирует многочисленные тонкие жилы и прожилки с резкими относительно ровными границами, без существенных вторичных изменений (т.н. «сухие жилы»). Иногда обе системы могут быть встречены в одном фрагменте керна. В этих случаях система 1 блокируется системой 2, а сульфидный материал системы 1 формирует ответвления по трещинному пространству системы 2. Таким образом, субвертикальная система 1 вероятно является основной зоной переноса рудного вещества, в то время как система 2 формирует второстепенную оперяющую группу «сухих» рудных прожилков. Система 2 не менее богата ЭПГ, однако имеет иной платинометальный парагенезис.

Минеральный состав этих жил представлен главным образом халькопиритом, второстепенные минералы – миллерит, пентландит, борнит. Кроме того, встречена богатая эпигенетическая платинометальная минерализация в фрагменте дайке долеритов, секущей «мокрую» и «сухие» сульфидные жилы. В этих МПГ-Cu жилах и дайке долеритов выявлено более 20 минералов ЭПГ и Au (табл. 1). Минералы платиновой группы образуют отдельные зерна и сростания в сульфидах (халькопирите), породообразующих силикатах или на их контактах. Размеры МПГ колеблются от субмикронных и наноразмерных до 10-80 мкм, в единичных случаях достигают 100-800 мкм.

Таблица 1

Количественный состав минералов благородных металлов в тяжелых фракциях проб «сухих», «мокрых» жил и дайки долеритов

| Проба 86024 | % | Проба 86049 | % | Проба 86050 | % |
|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|--|-------|
| Паларстанид* | 48.78 | Брэггит (Pt,Pd,Ni)S | 59.81 | Паларстанид | 36.59 |
| Pd ₅ (Sn,As) ₂ | | Изоферроплатина | 17.84 | Котульскит Pd(Te,Bi) | 26.21 |
| Атокит Pd ₃ Sn | 30.85 | Pt ₃ Fe | | Сплавы (Ag,Au) | |
| Котульскит | 9.38 | Сплавы (Ag, Au) | 15.79 | Изоферроплатина | 13.36 |
| Pd(Te,Bi) | | Куперит PtS | 4.87 | Pt ₃ Fe | 7.92 |
| Сплавы | 5.33 | Аргентит Ag ₂ S | 0.59 | Теларгпалит | |
| (Ag, Au) | | Звягенцевит | 0.47 | (Pd,Ag) _{3+x} Te | 4.35 |
| Мончеит | 1.86 | (Pd,Pt) ₃ Pb | | Сперрилит PtAs ₂ | |
| (Pt,Pd)(Te,Bi) ₂ | | <u>Прочие</u> | 0.65 | Арсенопалладинит | 3.07 |
| Сперрилит PtAs ₂ | 1.52 | Котульскит | 0.29 | Pd ₈ (As,Sb) ₃ | 2.32 |
| Палладоарсенид | 1.01 | Pd(Te,Bi) | | Палладоарсенид | |
| Pd ₂ As | | Паларстанид | 0.23 | Pd ₂ As | 2.24 |
| Брэггит | 0.93 | Pd ₅ (Sn,As) ₂ | | Гессит Ag ₂ Te | |
| (Pt,Pd,Ni)S | | Теларгпалит | 0.06 | Брэгит (Pt,Pd,Ni)S | 1.63 |
| <u>Прочие</u> | 0.34 | (Pd,Ag) _{3+x} Te | | Куперит PtS | 1.31 |
| Теларгпалит | 0.25 | Высоцкит | 0.06 | <u>Прочие</u> | 0.67 |
| (Pd,Ag) _{3+x} Te | | (Pd,Ni)S | | Эрлихманит OsS ₂ | 0.35 |
| Высоцкит (Pd,Ni)S | 0.08 | Эрлихманит | е. з. | Аргентит Ag ₂ S | 0.19 |
| Куперит PtS | е. з. | OsS ₂ | | Звягенцевит | 0.05 |
| | | Гессит Pd ₂ As | е. з. | (Pd,Pt) ₃ Pb | 0.05 |
| | | Палладоарсенид | е. з. | Высоцкит (Pd,Ni)S | |
| | | Pd ₂ As | | Ирарсит | 0.03 |
| | | Сперрилит PtAs ₂ | е. з. | (Ir,Ru,Rh,Pt)AsS | 0.03 |
| | | | | Атокит Pd ₃ Sn | |
| | | | | Мончеит | е. з. |
| | | | | (Pt,Pd)(Te,Bi) ₂ | е. з. |
| Сухие жилы Pd/Pt=6 | | Дайка долеритов Pd/Pt=3.2 | | Мокрая жила+сухие жилы с апофизами дайки долеритов Pd/Pt=22.6 | |

Примечание: * микроскоп FEI Quanta 600FEG с EDAX Apollo программное обеспечение MLA 3.1

По полученным данным помимо морфологических характеристик и структурных позиций каждая из рассматриваемых систем жил и дайка долеритов характеризуется

присущими только им особенностями (минерального) состава минералов благородных металлов, содержаниями ЭПГ и величинами отношения Pd/Pt (табл. 1). В «сухих» жилах преобладают станно-арсениды Pd, станниды Pd, теллуру-висмутиды Pd, сплавы Au и Ag; при отношении Pd/Pt=3-10. В «мокрых» жилах (связанных с апофизами дайки долеритов) – станно-арсениды Pd, теллуру-висмутиды Pd, теллуриды Pd и Ag, сплавы Au и Ag; Pd/Pt=22. В дайке долеритов – сульфиды Pt и Pd, изоферроплатина, сплавы Au и Ag; Pd/Pt=3.2.

Таким образом, установленное на данном этапе исследований различие в составах минеральных ассоциаций минералов благородных металлов, степени концентрирования МПГ, развитии вторичных изменений в рассматриваемых рудных проявлениях может свидетельствовать, по крайней мере, о формировании двух систем жил, несущих благороднометальную минерализацию в условиях различного режима флюидов.

Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Геомодель».

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dedeev A.V., Khashkovskaya T.N., Galkin A.S. PGE Mineralization of the Monchegorsk Intrusion of the Kola Peninsula / The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Special Volume 54, 2002. - p. 569-577.

**ОСОБЕННОСТИ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В
ОКИСЛЕННЫХ ЖИЛЬНЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУДАХ Г. НИТТИС
(МОНЧЕГОРСКИЙ РАЙОН)**

Е.Г.Еременко; С.В. Петров

Институт Наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

АННОТАЦИЯ

Под влиянием внешней среды происходит окисление сульфидных руд и их преобразование в оксидные и гидроксидные соединения. В том числе, происходит и изменение минеральных фаз благородных металлов. В данной работе приведены данные об особенностях минерализации элементов платиновой группы в окисленных жильных сульфидных рудах горы Ниттис (массив Ниттис-Кумужья-Травяная, Мончегорский плутон).

Ключевые слова: Ниттис-Кумужья-Травяная; Мончегорский плутон; расслоенные интрузии; зона окисления сульфидных руд; Pt-Pd минерализация.

**FEATURE OF NOBLE METALS MINERALIZATION IN THE OXIDIZED ZONE OF
ORE SULFIDE VEIN (Mt. NITTIS, MONCHEGORSK AREA)**

E.G. Eremenko, S.V. Petrov

Institute of Earth science, Saint-Petersburg State University

ABSTRACT

Influence of the environment promotes oxidation of sulphide ores and their conversion to the oxide and hydroxide compounds. In particular, there is a change if PGE mineral phases. This paper presents the data of the characteristics of PGE mineralization in oxidized zone of Nittis ores sulphide vein in Monchegorsk area.

Keywords Nittis-Kumuzhya-Travyanaya massifs; Monchegorsk intrusion; layered intrusions; oxidized sulfide ore; PGE mineralization

Введение: Мончегорский раннепротерозойский мафит-ультрамафитовый плутон расположен в северной части Балтийского щита в центре Кольского полуострова. В плане плутон представляет собой дугу, сложенную из двух ветвей: субширотной, представленной массивами г. Сопча, Нюд, Поаз и субмеридиональной, расположенной на г. Ниттис, Кумужья, Травяная, которые и дали название известному массиву с богатым

медно-никелевым оруденением. Минеральный состав плутона представлен непрерывным дифференцированным разрезом пород от перидотитов до габбро-норитов [1].

Руды горы Ниттис представлены двумя типами: это донная залежь сульфидных руд и жильные сульфидные руды. В донной залежи наблюдаются вкрапленные и гнездово-вкрапленные сульфидные руды в плагиоклазсодержащих породах массива Ниттис-Кумужья-Травяная. Минеральный состав руд довольно простой: пирротин, пентландит, пирит, халькопирит, магнетит и хромит. Помимо этого, по халькопириту развивается кубанит и макинавит, по пирротину – пирит, а пентландит замещается виоларитом. Минералы благородных металлов представлены аргентопентландитом, гесситом в сростках с котульскитом и меренскитом, мончеитом и самородным золотом [2]. Руды сульфидных жил сложены гексагональным пирротинном, пентландитом, халькопиритом, пиритом, виоларитом. В подчиненных количествах в рудах встречаются моноклинный пирротин, сфалерит, галенит, ильменит, хромит и ковеллин. Благороднометалльные минералы представлены: майчнеритом (67 об. %), меренскитом (21 об. %), мончеитом (4 об. %), котульскитом (2 об. %), а так же сперрилитом (2 об. %), гесситом (3 об. %), самородным золотом (1 об. %) холлингвортитом (0,04 об. %) и ирарситом (0,002 об. %), а также аргентопентландит [2].

Характеристика окисленных руд. Для изучения минерализации благородных металлов нами были отобраны окисленные образцы сульфидных жильных руд г. Ниттис из отвалов заброшенных штолен. Благородных металлов в окисленных рудах аналогично таковому в полуокисленных и сульфидных рудах (табл. 1). Отмечается рост отношения Pd/Pt от сульфидных руд к окисленным. Минеральный состав преимущественно проб железооксидный (гематит, гётит и др.), в аншлифах наблюдаются реликты сульфидов: халькопирита, пентландита, пирротина. Соединения благородных металлов представлены такими минералами, как: электрум, акантит, сперрилит (27 об. %), соединения Te-Bi с Pd-Pt делятся на два типа: висмутсодержащий кейтконнит (25 об. %) и продукты его окисления, а так же окидные/гидроксидные соединения Cu-Fe-Pd(\pm Pt) (25 об.%).

Таблица 1

Содержание благородных металлов жильных рудах, г/т

| Типы руд | Au | Pt | Pd | Pd/Pt |
|------------------|------|------|------|-------|
| - окисленные | 0,1 | 0,32 | 7,36 | 23,0 |
| - полуокисленные | 0,02 | 0,58 | 6,51 | 11,2 |
| - сульфидные | 0,08 | 1,21 | 5,13 | 4,2 |

1. Электрум (AuAg) распространен слабо и исчисляется в единичных зернах (табл. 2). Располагается, как правило на краях окисленных реликтов палладий-содержащих минералов. Вторичным изменениям не подвержен. (Рис 1, а).

2. Акантит (Ag_2S) широко развит в пределах всех отобранных проб окисленных руд. Представляет собой вторичные минеральные нарастания в полостях или на местах полного замещения сульфидов гидроокислами железа. (Рис 1, б).

3. Сперрилит (PtAs_2) представляет собой оскольчатые изометрические зерна и идиоморфные кристаллы. В составе минерала присутствуют примеси серы (до 2,5 at. %) и родия (до 1,1 at.%). Развит во всех отобранных пробах (Рис1, с).

4. Висмутотеллуриды палладия и платины представлены несколькими минеральными видами. Наиболее развит кейтконнит (Pd_{3-x}Te) с примесью Вi. Отношения Te/Vi в минерале от 1,2 и до 5,4. Данный минерал подвержен окислению и, зачастую, на краях минеральных образований развиты теллуриты и теллураты палладия (?) вплоть до полного замещения первичного теллурида (рис. 1, d). В химическом составе фиксируются атомные соотношения катионов и кислорода от 1,5 (как в теллуритах) до 2-2,5 (как в теллуратах). Кроме того, отмечены фазы, в которых отношение катионов и кислорода больше 2,5, что соответствует присутствию фаз с добавочными гидроксильными группами.

Второй тип минералов, имеющий в составе Cu-Fe-Pd-Pt, представлен тонкодисперсными смесями гидроксидов железа и оксидов/гидроксидов палладия (платины) (рис 1, е, f). В смеси, по видимому, присутствуют оксидные формы висмута и теллура. Вероятнее всего такой набор элементов свидетельствует о сочетании многих минеральных фаз, которые ввиду крайней дисперсности зерен (менее 1мкм) невозможно разделить (рис 1, d, е, f).

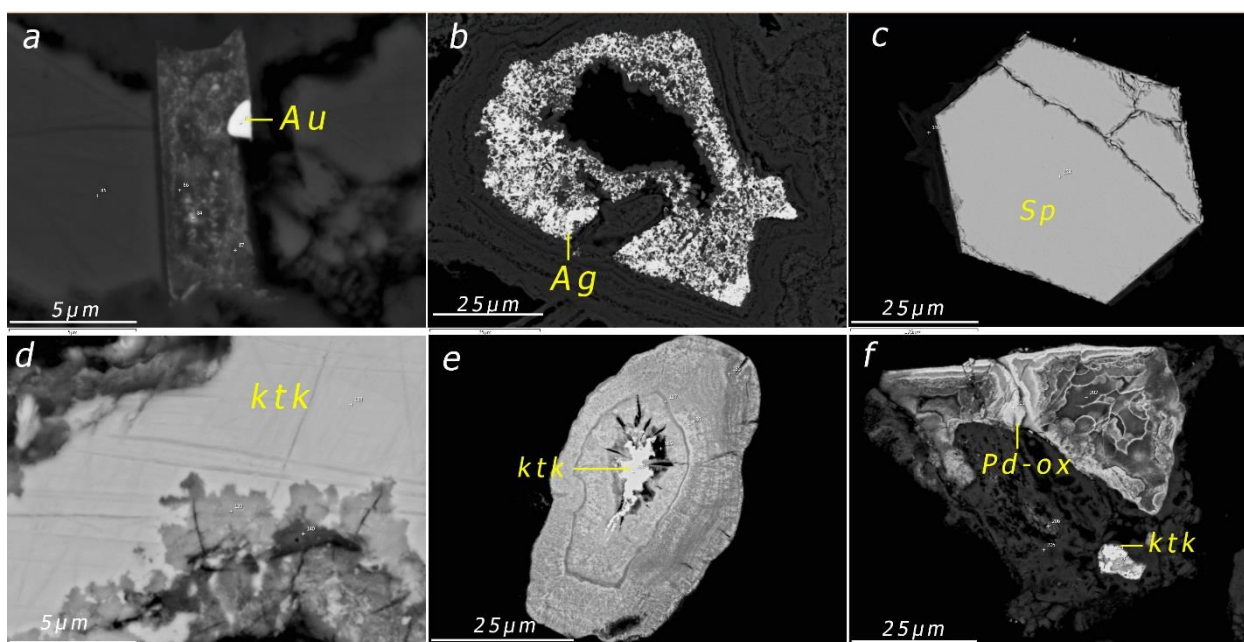
Выводы: как показывает исследование, окисленные жильные руды месторождения г. Ниттис нуждаются в более детальном изучении. По первым полученным результатам можно судить об окислении минерализации ЭПГ под влиянием внешних условий. В процессе окисления теллуридов и висмутидов палладия формируются сложные дисперсные минеральные смеси оксидных и солевых фаз платины и палладия.

Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Геомодель»

Химический состав минералов благородных металлов

| At% | Рис. 1, а Электрум | Рис. 1, а Pd-ox | Рис. 1, b Акантит | Рис. 1, с Сперрилит | Рис. 1, d Кейтконнит | Рис. 1, d Теллурагы Pd | Рис. 1, е Pd-ox | Рис. 1, е Кейтконнит | Рис. 1, f Pd-ox | Рис. 1, f Кейтконнит | Рис. 1, f Pd-ox |
|-------|-----------------------|--------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| O | 37,92 | 69,9 | 11,23 | | | 58,52 | 44,98 | | 32,98 | | 48,78 |
| Al | | | | | 1,79 | | | | 1,05 | | |
| Si | | 0,3 | | | | | | | | | |
| S | | 0,3 | 29,42 | | | | | | 1,65 | | 0,73 |
| Fe | 13,23 | 19,34 | 5,73 | | | | 4,33 | 2,48 | 6,12 | 3,98 | 19,12 |
| Cu | | 3,59 | | | | | | | | | |
| As | | | | 66,12 | | | | | | | |
| Pd | 0,42 | 6,22 | | | 72,11 | 9,68 | 34,18 | 72,41 | 49,47 | 71,53 | 23 |
| Ag | 22,99 | | 53,62 | | | | | | | | |
| Te | | | | | 13,24 | 16,77 | 9,48 | 13,98 | 6,39 | 20,66 | 6,08 |
| Pt | | | | 33,88 | | | | | 1,06 | | 1,28 |
| Au | 25,44 | | | | | | | | | | |
| Bi | | 0,36 | | | 12,85 | 15,03 | 7,03 | 11,13 | 1,27 | 3,82 | 1 |
| Сумма | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Рис. 1. Характерная минерализация благородных металлов в окисленных рудах Ниттис.



Химический состав руд указан в табл. 1. **a** – электрум (Au) и оксиды/гидроксиды Pd, развитые по висмутотеллуриду палладия; **b** – развитие акантита (Ag) в полости гётита; **c** – кристалл сперрилита (Sp); **d** – окисление кейтконнита (Ktk) с образованием теллурагов палладия (серые каемки вокруг белого кейтконнита); **e** – реликты кейтконнита (Ktk) и развитие по периметру натечного агрегата окисленных форм Te, Bi и Pd; **f** – Почковидные агрегаты оксидов палладия (белое) в сочетании со смесями теллуридов-теллурагов Pd (серое) и дисперсных смесей гидроксидов железа и палладия (\pm примеси Te и Bi), а также реликты кейтконнита (Ktk).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шарков Е. В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения, Москва, Научный мир, 2006.
2. Лялинов Д. В. Геология, особенности формирования и состав сульфидных руд и благороднометальной минерализации массива Ниттис-Кумужья-Травяная Мончегорского плутона (Кольский полуостров), Магистерская диссертация, СПбГУ, 2000.

СЕЛЕНИДЫ РУТЕНИЯ В ХРОМИТИТАХ ДУНЖУГУРСКОГО ОФИОЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА

О.Н. Киселева¹, Е.В. Айриянци¹, С.М. Жмодик^{1,2}, Д.К. Белянин^{1,2}

1 – Институт геологии и минералогии им.В.С. Соболева СО РАН

2 - Новосибирский Государственный Университет

АННОТАЦИЯ

В метасоматически измененных хромититах Дунжугурского офиолитового комплекса (Восточный Саян) впервые установлены селениды рутения, отвечающие по составу RuSe_2 . Селенид находится в тесной ассоциации с (Os-Ir-Ru) , RuS_2 , $(\text{Ir}(\text{Sb,As})\text{S})$.

Ключевые слова: хромититы; селенид рутения; лаурит.

RUTHENIUM SELENIDES IN CHROMITITES DUNZHUGUR OPHIOLITE COMPLEX

O. Kiseleva, E. Airiyants, S. Zhmodik, D. Belyanin

Institute of Geology and Mineralogy V.S.Soboleva SB RAS

ABSTRACT

Ruthenium selenides RuSe_2 first find out in metasomatic-altered chromitites of Dunghugur ophiolite complex (East Sayan). Ruthenium selenides have been revealed in close association with (Os-Ir-Ru) , RuS_2 , $(\text{Ir}(\text{Sb,As})\text{S})$.

Keywords: chromitites; ruthenium selenide; laurite

Селениды ЭПГ группы Os, Ir, Ru в природных объектах чрезвычайно редки. В настоящее время в минералогической базе данных зарегистрированы селениды платины и палладия: PdSe_2 , $\text{Pd}_{17}\text{Se}_{15}$, PtSe_2 , Pt_5Se_4 . Установлен ряд неназванных Se-содержащих платиноидов. Все эти немногочисленные находки обнаружены в относительно низкотемпературных ассоциациях [3, 5, 7]. Искусственно синтезированы и описаны соединения селена с Os, Ir, Ru: OsSe_2 (куб.синг.), IrSe_2 (орторомб.синг.), RuSe_2 (куб.синг.) [6].

Методом сканирующей электронной микроскопии в хромититах Дунжугурского офиолитового комплекса (Восточный Саян) нами впервые установлены селениды рутения, отвечающие по составу RuSe_2 . Дунжугурские офиолиты представлены реститовыми серпентинизированными гарцбургитами, перидотитами расслоенного

комплекса, дайками бонинитовой и известково-щелочной серии [2]. Хромитовое рудопроявление в Дунжугурских офиолитах установлено в районе истока р. Боксон и сопряжено с измененными апосерпентинитовыми тальк-магнезит-кварцевыми породами.

Хромититы имеют массивную структуру, содержание хромшпинелидов составляет 90-95 об.%. Межзерновое пространство и прожилки выполнены в основном магнезитом, реже тальком, хлоритом, сидеритом, доломитом и кварцем. Хромшпинелиды по составу отвечают алюмохромиту и хромиту. Среди акцессорных рудных минералов в хромититах установлены минералы, характерные для процессов серпентинизации и лиственитизации: сульфиды, арсениды и сульфоарсениды Ni, Fe, Cu и Co, CaWO_4 , $(\text{Mn,Fe})\text{WO}_4$. Кроме того установлено золото трех типов (в том числе медистое и ауокуприт). Селенидная минерализация в хромититах представлена также фишессеритом Ag_3AuSe_2 и науманнитом Ag_2Se .

Минералы ЭПГ представлены характерной для подиформных хромититов ассоциацией тугоплавких ЭПГ: (Os-Ir-Ru) , RuS_2 , Os^0 ($\text{Os} > 85$ мас.%), IrAsS , IrSbSi «экзотической» для хромититов фазой – селенидом рутения RuSe_2 . Селенид рутения установлен в минералах тяжелой фракции и одно зерно обнаружено в виде включения в хромшпинелиде из полированной пластинки (рис 1а). Он находится в тесной ассоциации с (Os-Ir-Ru) , RuS_2 , $(\text{Ir}(\text{Sb,As})\text{S})$. Селенид установлен в сростании с (Os-Ir-Ru) , в виде кайм обрастания и замещения вокруг RuS_2 (рис 1а, б). Он совместно с толовкитом и сульфоарсенидными фазами замещает лаурит, иногда полностью, образуя самостоятельные зерна (рис. 1 в-г). Основными минералообразующими элементами являются Ru и Se. В катионной части присутствует Os, Ir, Rh, в анионной – S, изредка Te (до 0,37 мас.%).

Обсуждение. Селениды рутения имеют, скорее всего, гидротермально-метасоматическое происхождение и образуются при специфических условиях – это низкие температуры (в отличие от лаурита) и очень низкая $f\text{S}_2$ в системе. В присутствии серы, селен не будет образовывать какие-либо минералы [4]. Источником Se могли выступать осадочные породы. Высокие его содержания присутствуют в глинистых и черносланцевых толщах, карбонатных породах, базитах [1]. При формировании Дунжугурских офиолитов [2] осадочные породы субдуцирующего слэба были вовлечены в процессы магмогенерации и затем гидротермальные процессы. Следует отметить, что в Восточном Саяне не установлено сколь-либо значительной селенидной минерализации в орогенных золоторудных месторождениях и рудопроявлениях. Это указывает на локальность процесса и особые условия формирования. Вопрос об источнике и условиях

образования уникальной селенидной ЭПГ минерализации в исследованных хромитах пока остается открытым.

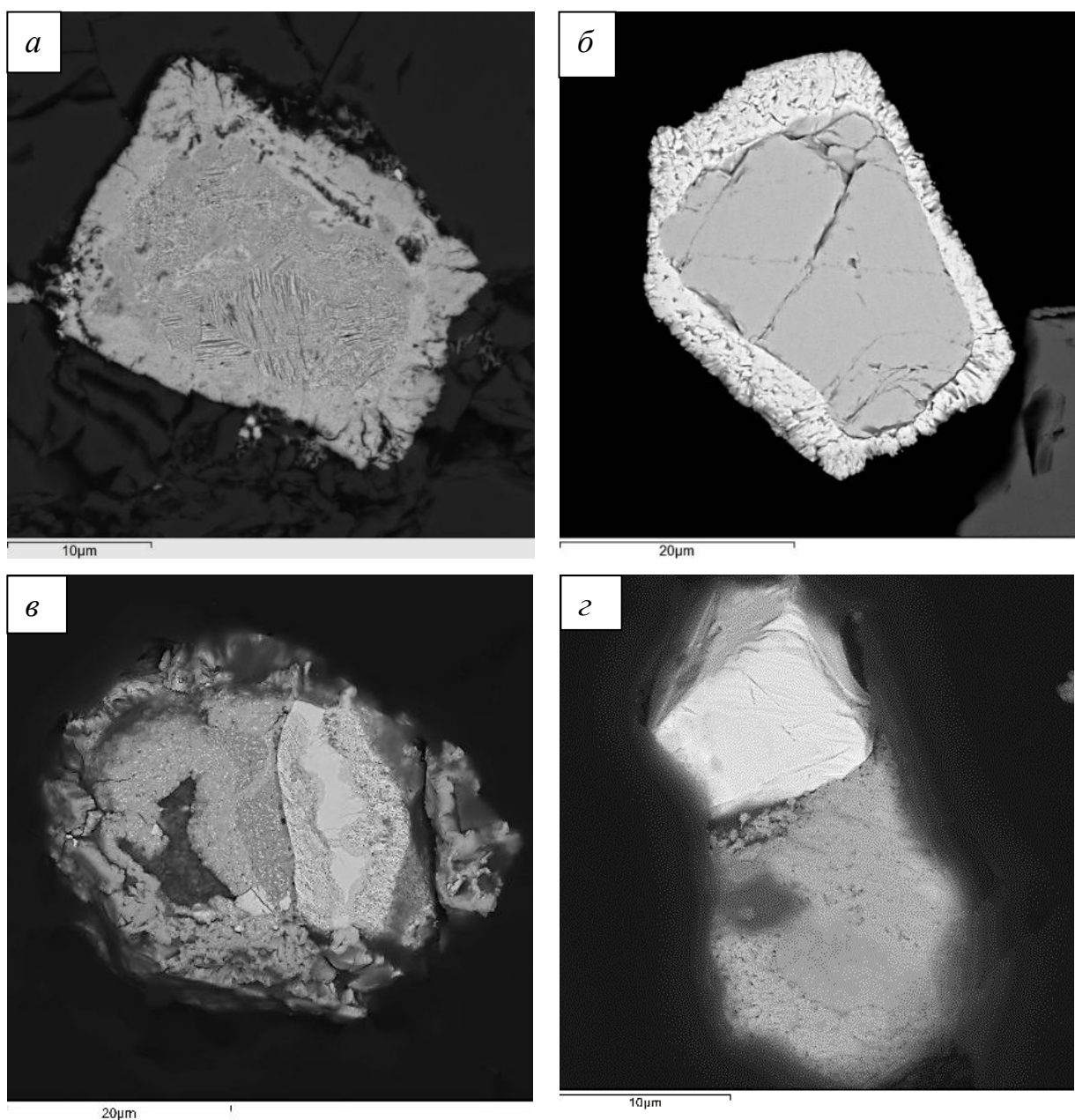


Рис. 1. Микрофотографии минералов ЭПГ в отраженных электронах: а) лаурит со структурой распада твердых растворов (отражается в колебании содержания примеси Ir и Os в составе) и каймой замещения $(\text{Ru}_{0,9}\text{Os}_{0,06}\text{Ir}_{0,04}\text{Fe}_{0,02})\text{Se}_{1,94}$. Более светлые ламелли обогащены Os при уменьшении доли Ir, черное - хромшпинелид; б) лаурит однородного состава $(\text{Ru}_{0,75}\text{Os}_{0,21}\text{Ir}_{0,04})\text{S}_2$ с каймой обрастания $(\text{Ru}_{0,76}\text{Os}_{0,21}\text{Ir}_{0,03})\text{Se}_{1,89}\text{S}_{0,1}$; в) зерно $\text{Ru}_{0,63}\text{Os}_{0,2}\text{Ir}_{0,16}$ (светло-серое) в сростании с лауритом $(\text{Ru}_{0,88}\text{Os}_{0,17}\text{Ir}_{0,09})\text{S}_{1,84}$ (темно-серое), который замещается Ru-Se фазой $(\text{Ru}_{0,93}\text{Os}_{0,12}\text{Ir}_{0,09})\text{Se}_{1,81}\text{S}_{0,06}$ и $\text{Ir}(\text{Sb,As})\text{S}$; г) зерно Os-Ir-Ru (белое) в сростании с селенидом рутения $(\text{Ru}_{0,98}\text{Ir}_{0,03}\text{Ni}_{0,03}\text{Os}_{0,02}\text{Fe}_{0,01})\text{Se}_{0,98}\text{S}_{0,06}$ (серое).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00737а

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев Н.А. Распределение селена в верхней части континентальной коры // Ежегодник-2011, Тр. ИГТ УрО РАН, вып.159, 2012, с.85-89.
2. Кузьмичёв А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М.: Пробел - 2000, 2004. 192с.
3. Полеховский Ю.С., Тарасова И.П., Нестеров А.Р., Пахомовский Я.А., Бахчисарайцев Ф.Ю. СудовиковитPtSe₂ – новый селенид платины из метасоматитов Южной Карелии // ДАН, 1997, Т. 354, №1, с. 82-86.
4. Синдеева Н.Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1959, 257 с.
5. Толстых Н.Д., Кривенко А.П., Поспелова Н.Л. Необычные соединения иридия, осмия, рутения с селеном, теллуrom и мышьяком из россыпей реки Золотой (Западный Саян) // ЗВМО, 1997, Ч. CXXVI, № 6, с. 23-34.
6. DeyBySandip, Jain Vimal K. Platinum group metal chalcogenides. Their syntheses and application in catalysis and materials science // Platinum Metals Rev., 2004, 48, (1), p. 16-29.
7. Jedwab J., Cervelle B., Gouet G., Hubaut X., Piret P. The new platinum selenide luberoite Pt₅Se₄ from the Lubero region (Kivu Provance, Zaire) // Eur. J. Miner. 1992. Vol. 4. P. 683-692.

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПАЛЛАДИЯ В РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ОРЕНБУРГСКОЙ ЧАСТИ
ЮЖНОГО УРАЛА**

Г.А. Пономарева

Оренбургский государственный университет

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены региональные особенности распределения благородных металлов в Оренбургской части Южного Урала. На основании проведённых исследований выявлена особая роль палладия как возможного индикатора смены геолого-тектонических эпох.

Ключевые слова: палладий; особая роль; распределение.

**GEOCHEMICAL FEATURES OF PALLADIUM DISTRIBUTION IN ORE DEPOSITS
IN THE ORENBURG PART OF SOUTH URAL**

Ponomareva G.A.

Orenburg State University

ABSTRACT

Regional features of distribution of precious metals in the Orenburg part of South Ural are considered. On the basis of the conducted researches the special role of Pd as possible indicator of change of geological and tectonic eras is revealed.

Keywords: palladium; special role; distribution.

Объектом исследования являлись ассоциации благородных металлов (БМ) в рудах разнообразного состава и генезиса Оренбургской части Южного Урала.

Одной из главных задач исследования являлось установление закономерностей распределения Pt и Pd с Au и Ag по обширной территории Оренбургского Урала.

С этой целью по единой методике было проанализировано около 200 геохимических проб из следующих промышленно-генетических типов месторождений: колчеданного типа (62 выборки, 248 элементопределений); месторождений, связанных с ультрамафитами (43 выборки, 172 элементопределения); золотосульфидных (29 выборки, 116 элементопределений); медистых песчаников (9 выборки, 36 элементопределений) [1].

Содержание БМ определялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермическим атомизатором на приборе МГА-915 (СПб) с использованием отраслевой методики КХА № 430-Х (ВСЕГЕИ). В нашем случае следует заметить, что обнаружение даже очень низких концентраций БМ в геохимических пробах стало возможным благодаря применению дополнительно особого способа разложения углеродистой части анализируемых образцов, которая, как известно, обладает особо высокими адсорбционными свойствами для металлов [2].

Закономерности пространственного распределения Pt и Pd, отражающие региональную широтную зональность, которая согласуется с геолого-структурными зонами Южного Урала, рассмотрены в авторской работе [1].

Исследования геохимии БМ в рудах, выполненные в рамках настоящей работы, показали не только ожидаемые отличия, но и некоторые общие характеристики статистического распределения платиноидов. Эта общность, казалось бы, совершенно различных вещественных образований, обнаруживается через сравнительный анализ комбинаторики стабильного ассоциативного квартета – Pt, Pd, Au, Ag в месторождениях разных формационных групп. Так для всех рудных месторождений проявления этой стабильности выражается в устойчивом обособлении Pd, подтверждённой многократным кластерным анализом случайно генерируемых выборок. Во всех случаях его итогом являлись дендрограммы (STATISTICA 10), на которых Pd, представлял совершенно отдельную группу, в то время как сочетания остальных трёх металлов менялись от выборки к выборке.

Следует заметить, что отмеченная выше стабильность межэлементных соотношений не означает стабильности концентраций БМ даже в пределах одного месторождения. Диапазон их разброса крайне велик. Даже на объектах золотосульфидной минерализации он часто начинается с докларковых значений, заканчиваясь вполне промышленными концентрациями. В таких условиях обычные операции поиска статистических закономерностей, даже косвенно связанные с осреднением исходных аналитических данных, ведут к существенным потерям точности диаграммных интерпретаций и неверным выводам. Однако, накопленный аналитический материал позволил составить представительную геохимическую выборку из проб с максимальными концентрациями БМ в рудах разнообразного состава и генезиса. Для краткости при дальнейшем изложении эта выборка упоминается как «аномальная».

Результаты анализа полученного информационного массива методом главных компонент с варимаксным вращением факторных осей представлены на рисунке 1. Из представленной на рисунке 1, а таблицы факторных нагрузок следует существование, по

крайней мере, трёх факторов, которые допустимо ассоциировать с некоторыми процессами, контролирующими распределение БМ в испытуемой аномальной выборке. На рисунке 1, б представлены факторные ассоциации из отсортированных по факторным нагрузкам четырёх элементов, иллюстрирующих главные компоненты (факторы) в соответствии с их вкладом в общую дисперсию аномальной выборки. Жирным шрифтом в таблице выделены статистически значимые факторные нагрузки.

Интерпретация приведённых на рисунке 1, б факторных структур позволяет достаточно уверенно говорить о существовании трёх процессов, условно названных *золотым*, *палладиевым* и *платиновым*. Эти названия, присвоенные по значимым факторным нагрузкам, позволяют представить понятные следствия гипотетических природных процессов, ответственных за миграцию БМ в недрах:

- 1 С уменьшением значений первого фактора возрастает роль Au и Ag;
- 2 С увеличением значений второго фактора возрастает роль Pd;
- 3 С увеличением значений третьего фактора возрастает роль Pt.

| Variable | Factor Loadings (Varimax normalized Extraction: Principal components (Marked loadings are >.700000)) | | |
|----------|--|-----------------|-----------------|
| | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 |
| Au | -0.887436 | -0.140820 | 0.042877 |
| Ag | -0.851273 | 0.114459 | -0.210332 |
| Pd | 0.020468 | 0.988116 | 0.083226 |
| Pt | 0.095911 | 0.085788 | 0.983163 |
| Expl.Var | 1.521827 | 1.016664 | 1.019615 |
| Prp.Totl | 0.380457 | 0.254166 | 0.254904 |

| Интерпретация фактора-процесса | Факторная структура |
|--------------------------------|---|
| Золотой | -0.89Au-0.85Ag+0.02Pd+0.1 Pt |
| Палладиевый | - 0.14Au+0.09Pt+0.11Ag+0.99Pd |
| Платиновый | -0.21Ag+0.04Au+0.08Pd+0.9Pt |

Рис. 1. Результаты анализа аномальной выборки МГК. Слева – матрица факторных нагрузок, справа – интерпретация фактора-процесса

Все расчёты выполнялись с помощью статистического пакета STATISTICA 10, позволяющего вычислить значения вышеперечисленных факторов в каждой геохимической пробе аномальной выборки. Эти значения были вынесены на тернарную диаграмму, построенную комплексом геологического моделирования RockWorks 15, которая представлена на рис. 2, из которой заметно, что все рудные месторождения, независимо от их формационной принадлежности и промышленных типов выстраиваются в несколько горизонтальных рядов. Двигаясь вдоль горизонтали справа - налево, мы сталкиваемся с уменьшением значений *золотого* и *платинового* фактора. При этом, как следует из анализа факторных структур (см. рисунок 1, б), уменьшение значений *золотого* фактора ведёт к возрастанию роли Au и Ag, поскольку их факторные нагрузки отрицательны. Таким образом, чем левее расположены пробы на диаграмме, тем большей

золотоносности от них следует ожидать, а платиноносность, напротив, возрастает слева - направо. Вертикальное направление диаграммы отвечает за роль Pd в анализируемой группе элементов. Чем выше находится геохимическая проба на треугольном поле диаграммы, тем более велика в ней доля Pd.



Рис. 2. Диаграмма распределения БМ в аномальной выборке в координатах факторных нагрузок

Интерпретация рисунка позволяет сделать два важных, по мнению автора, вывода:

1. Процессы золотоплатиновой минерализации (факторы 1 и 3) происходили в геологической истории непрерывно.
2. Процессы палладиевой минерализации носили периодический характер. Тому свидетельство - наличие нескольких горизонтальных Pd рядов, объединяющих рудные месторождения, независимо от их формационной принадлежности.

Первый вывод подтверждает авторитетное мнение о сквозном характере золотого оруденения на Урале [3]. Оно фиксируется в образованиях самой разной формационной принадлежности в широком диапазоне геодинамических обстановок.

Второе утверждение о периодичности эпох палладиевой минерализации позволяет рассматривать этот металл как индикатор смены геолого-тектонических режимов общего развития Урала. Другими словами в такие моменты земная кора обогащается строго дозированным для каждого из них количеством Pd. Так, К.К. Золоев с соавторами (2001) приурочили вброс Pd к окончаниям тектонических циклов. В пределах Главного Уральского Разлома в массивах ультраосновных и основных пород платиноносного пояса, с нижними дунитовыми разрезами связаны хромит-платиновые руды, а в верхних – ферроклинопироксенит-габброноритовых комплексов Fe-Cu-V руды волковского и Ti-

магнетитовые руды качконарского и баронского типа с Au-Pt-Pd специализацией. Ю.А. Волченко с соавторами (2009) также подтверждает, что «Pd является надежным ключевым элементом при формационном расчленении дунит-верлит-клинопироксенитовых серий подвижных поясов. Постоянно присутствуя в повышенных количествах с Pt в поздней... серии, практически отсутствует в ранней...».

Согласившись с этим выводом, следует ожидать того, что все синхронные месторождения любых геолого-промышленных типов будут содержать Pd в близких концентрационных пропорциях относительно триады Au, Ag, Pt, что и наблюдается на рис. 2. Выявленные закономерности свидетельствуют о том, что работы по изучению палладиеносности руд следует всемерно расширять и поддерживать. Несмотря на трудоемкость, систематические исследования в этом направлении могут быть полезны для решения ключевых проблем в области не только прикладной, но и фундаментальной геологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарева Г.А. Металлогеническая зональность платиноидной специализации Оренбургской части Южного Урала // Вестник Оренбургского государственного университета. – Оренбург: ОГУ, 2015. – № 6. – С. 197-201.
2. Патент № 2409810 РФ МПК⁵¹ G01N 31/00 Способ разложения проб при определении благородных металлов в углеродистых породах / Г.А.Пономарева, П.В.Панкратьев; 2011. - Бюл. № 2. – 7 с.
3. Сазонов В.Н. Проблема «молодого» эндогенного золота на Урале / В.Н. Сазонов [и др.] // Литосфера. – Екатеринбург, 2005. – № 1 – С. 128 - 134.

**СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ КОНТРОЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ
ПЛАТИНОМЕТАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ОНЕЖСКОЙ
ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОЙ СТРУКТУРЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ**

Гусев А.В.,

Санкт-Петербургский горный университет

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрены различные рудовмещающие формации и генетические типы платинометального оруденения развитого в пределах Онежской структуры; основные геодинамические режимы развития структуры и структурные факторы контроля оруденения на основании анализа доступных автору литературных данных и натурных наблюдений.

Ключевые слова: Онежская структура; разломные системы; платинометальное оруденение.

**THE STRUCTURAL FACTORS CONTROL OF PLACING PLATINUM ORES WITHIN
ONEGA PALEOPROTEROZOIC STRUCTURE AND ADJACENT AREAS**

Gusev A.V.

Saint-Petersburg mining university

ABSTRACT

In this article considered different ore-formation and genetic types platinum-metal ores in the Onega structure, major geodynamics periods development this structure and structure factors of the placement ore-formation on the basis of the analysis of the available literature.

Keywords: Onega structure; faults system; platinum ores

К территории Онежской структуры приурочена одноименная металлогеническая зона, располагающаяся в юго-восточной части Карельской металлогенической субпровинции. В геологическом отношении данная структура сложена вулканогенно-осадочными образованиями протерозоя, залегающих с угловым и структурным несогласием на архейском гранито-гнейсовом основании Водлозерского блока [4].

Площадь структуры и прилегающие к ней территории отличаются высоким минерагеническим потенциалом, что связано с локализацией в пределах прогиба россыпи месторождений различных рудно-формационных типов, приуроченных к нескольким

рудным узлам (наиболее значимые из них - Падминский, Пудожгорский, Повенецкий и Аганозерский). В ранге рудных полей, приуроченных к данным узлам, могут быть выделены Падминский, Космозёрский и Пудожгорский минерагенические таксоны (рис. 1). Многие месторождения данных узлов имеют комплексный характер, и обладают существенными ресурсами.

К наиболее перспективным платинометальным объектам площади стоит отнести следующие: комплексные платиноидно-полиметалльные (уран-благороднометалльно-ванадиевые) месторождения (Средняя Падма, Царёвское, Космозеро, Весеннее, Верхняя Падма), относимые к так называемому Падминскому подтипу месторождений; платино-палладиевые с Ir, Rh, Au образования Уницкого рудопроявления (Уницкий подтип); образования благороднометалльно-титаномагнетитового Пудожгорского месторождения локализованного в восточном борту структуры, приуроченного к раннепротерозойской слабо дифференцированной габбро-долеритовой дайке, выполняющей субгоризонтальную трещинную полость среди архейских гранитоидов Водлозерского блока [3]. По мимо данных объектов отдельно стоит отметить платиноносные формации, приуроченные к крупной Бураковской расслоенной интрузии. В её пределах локализуются проявления малосульфидной платинометальной формации и образования платиносодержащей хромитовой рудной формации, структурно приуроченной к главному хромитовому горизонту (ГХГ) интрузии [3].

Все описываемые рудные образования генетически связаны с различными этапами развития региона, проявлением дифференцированных стадий раннепротерозойского вулканизма, метасоматическим и другими процессами.

Прохождение данных процессов неразрывно связано с геодинамическими режимами, проявленными в архее-протерозое и сформированным в следствии данных процессов тектоническим “каркасом” структуры. Далее будут рассмотрены основные геодинамические режимы развития депрессии, разобщенные по различным периодам геологического времени, наиболее проявленные рудоконтролирующие разломные системы в контексте размещения платинометального орудинения.

В строении описываемой структуры и прилегающих территорий, может быть выявлены четыре структурных этажа: 1 – архейский фундамент, 2 – сумийско-сариолийский (Бураковский) рифтовый плутон, 3 – ятулийско-вепсийский протоплатформенный чехол с двумя подэтажами (ятулийско-калевийский и вепсийский), 4 – вендско-фанерозойский платформенный чехол [4].

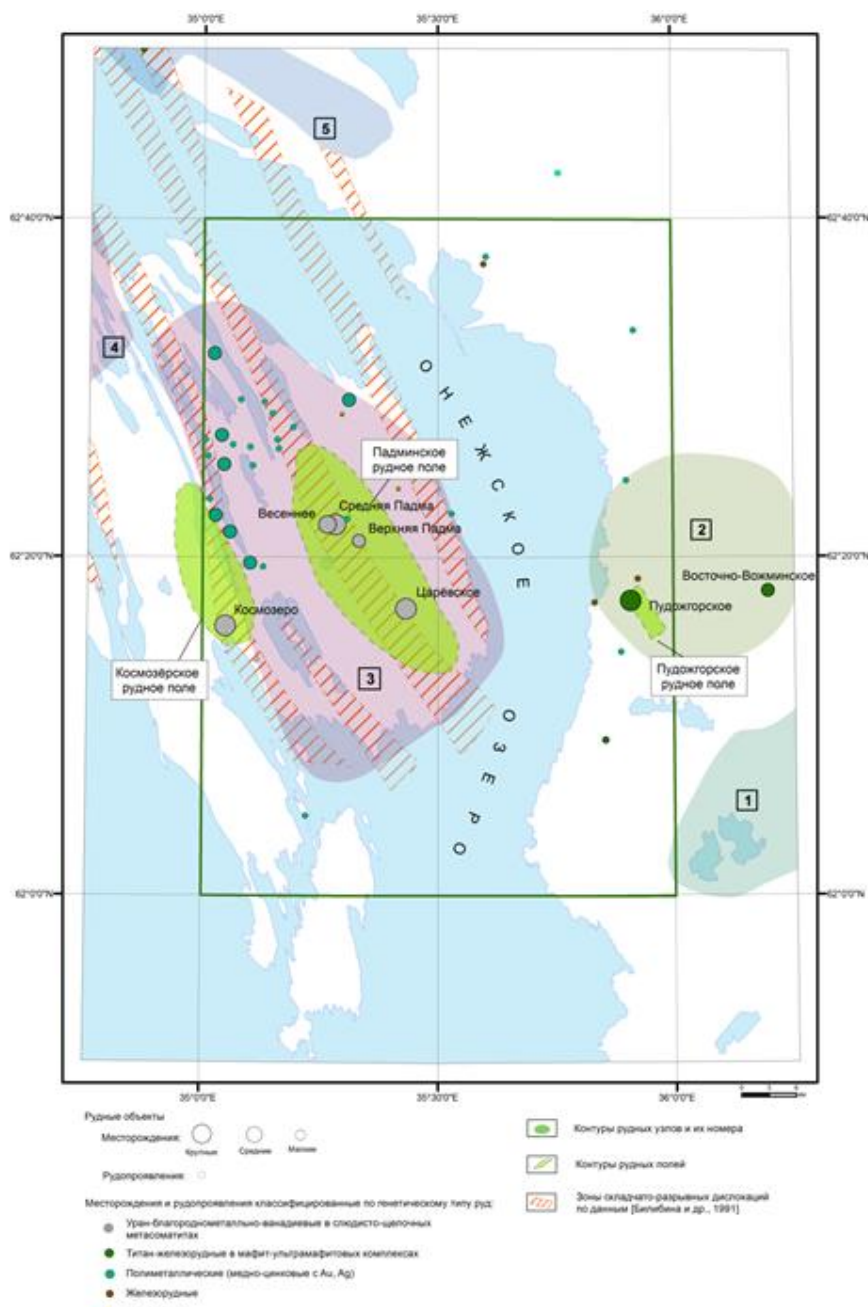


Рис. 1. Схема размещения известных месторождений и рудопроявлений в пределах восточной части Онежской структуры [1]. Цифрами на схеме обозначены рудные узлы: 1 – Аганозёрский; 2 – Пудожгорский; 3 – Космозёрско-Падминский; 4 – Повенецкий.

Сведения о металлогенических таксонах, месторождениях и рудопроявлениях получены из источников [2, 4].

К наиболее древним разломным системам, проявленным в архейском основании Водлозерского блока и являющихся структурообразующими для рифтогенных депрессий, в частности для Онежской структуры, являются разломные структуры сдвиго-сбросовой морфологии, с преимущественно северо-западным простиранием. Локально (положение данных разломов выявлялось на основании интерпретации карт регионального

гравитационного поля) размещение данных разломов, в пределах Онежской структуры, конформно положению более поздних антиклинальных складок СЗ простираения, во многом формирующих рисунок депрессии, положение данных складок соответствует сингенетичным складкообразованию (ятулий-людиковийское время) разломам. Также к дизъюнктивам данного периода можно отнести и трансформный (сдвиговый) разлом северо-восточного простираения к которому приурочена инъекция сумий-сариолийского расплава (Бураковский плутон (U-Pb $2449 \pm 1,5$ [3]) и соответственно связанное с ним платинометальное оруденение.

Постгенетичные складкообразованию (СВ-е) разломы несут преимущественно сдвиговую деформацию и на контакте со структурообразующими СЗ-ми дизъюнктивами, формируют наиболее перспективные рудные узлы для размещения платинометальных образований Пудожгорского (U-Pb 1984 ± 8 [3]) и Онежского типов (Падминский (U-Pb 1724 ± 42 [3]) и Уницкий подтип) (рис. 1).

В заключение необходимо отметить, что в пределах Онежской палеопротерозойской структуры локализуются ряд объектов, относящихся к ведущим (по запасам и потенциалу ресурсов МПГ) мировым рудно-формационным типам платинометального оруденения: малосульфидному в ритмично расслоенных интрузиях (Бураковский массив) и черносланцевому (Падминский тип), а также к перспективному - «пудожгорскому». По масштабности проявлений благороднометального рудогенеза Онежская структура с обрамлением, выходит на первостепенный план, как и в масштабах Республики Карелия так и всего Северо-Западного региона России в целом. Так потенциал ресурсов МПГ Онежского рудного района оценивается в 1800-4000 т, что составляет большую часть от общей оценки благороднометальных ресурсов Карелии [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов В.С. и др. Отчет о результатах работ по объекту «Специализированное космогеологическое сопровождение ГДП-200 листа Р-36-ХVIII (Заонежская площадь)». НИИКАМ – филиал ФГУП ЦНИИмаш. 2014.
2. Билибина Т.В., Мельников Е.К., Савицкий А.В. О новом типе комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33, - № 6. - С. 3-13.
3. Голубев А.И., Иващенко В.И. Карельская благороднометальная провинция – минерально-сырьевой потенциал XXI века Северо-Запада России / Геология Карелии от архея до наших дней. / Материалы докладов Всероссийской конференции, посвященной

50-летию Института геологии Карельского научного центра РАН. - Петрозаводск, 24–26 мая 2011 года. - Петрозаводск: Институт геологии КарНЦ РАН, 2011. - С. 135-148.

4. Онежская палеопротерозойская структура: (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / З.Л. Афанасьева, А.М. Ахмедов, Е.С. Богомолов, Л.В. Глушанин. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. – 431 с.

ИЗ ИСТОРИИ РОССИЙСКОЙ ПЛАТИНЫ

Стокрацкая Л.С.

Санкт-Петербургский государственный горный университет

АННОТАЦИЯ

Данная статья представляет краткий обзор истории открытия и разработки платиновых месторождений в России в первой половине XIX века. В статье даётся краткое описание исторических самородков платины, хранящихся в музеях России и Европы и путей попадания их в минералогические коллекции. Особое внимание уделяется вопросам формирования коллекции платины в минералогическом музее Горного института Санкт-Петербурга, а также русско-немецкому сотрудничеству в области использования платины в XIX веке.

Ключевые слова: самородок; Горный институт; музейные коллекции; Урал; россыпная и самородная платина; минералогическое общество г. Йены; Российское минералогическое общество.

ABSTRACT

The paper provides a brief review of the discovery and development history of Russian platinum deposits in the first half of the 19th Century. It offers a detailed description of historical platinum nuggets that are kept in Russian and European museums. A particular attention is focused on shaping of the platinum collection at the Mineralogical Museum of St. Petersburg Mining University as well as to Russian-German cooperation in Mineralogy and use of platinum in the 19th Century.

Key words: nugget; platinum; Mining Institute; museum collections; Mineralogy; Chemistry; the Urals; alluvial and native platinum; Jena Mineralogical Society; Russian Mineralogical Society; Urals Platinum Belt

Согласно легенде, первые самородки платины находили на Урале уже в XVIII веке. Те, что поменьше, использовались местными охотниками в качестве оружейной дроби, а те, что побольше — в качестве наконечников на молниеотводы и грозовые разрядники [1; 193]. С 1805 года появляются первые сведения о залежах «железосодержащего самородного никеля» в россыпях по верхнему течению реки Бобровка в Нижнем Тагиле [там же]. Лишь в 1822 году белый металл, найденный в золотых россыпях Верх-Исетских рудников был признан платиной, а его систематическая добыча началась два года спустя

на Царёво-Александровском прииске (Рис. 1). Вскоре были открыты месторождения россыпной платины Покровское на реке Известная и Царёво-Елизаветинское на реке Мельничная. Летом 1824 года маркшейдером Н. Волковым в Гороблагодатском округе Северного Урала на маленькой речке Орулихе была открыта первая крупная платиновая россыпь [8]. А пять лет спустя — Исовское месторождение в Нижнем Тагиле, долгие годы остававшееся основным поставщиком платины. В 1826-1827 гг. горные инженеры и металлурги В. В. Любарский и П. Г. Соболевский независимо друг от друга предложили оригинальный способ получения ковкой платины, что привело к появлению царского указа императора Николая I всем горным начальникам наряду с "золотистыми песками" всемерно "стараться в приобретении платины и извлечении оной из песков в казённую пользу" [там же].

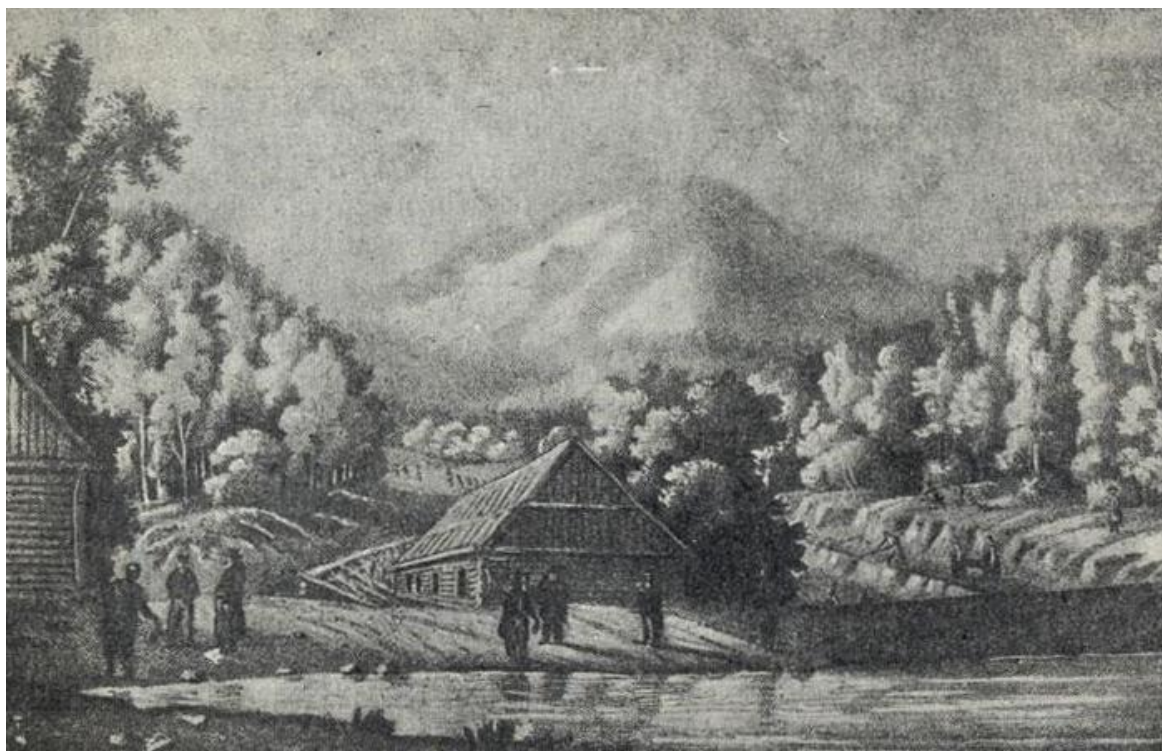


Рис. 1. Царёво-Александровская платино-золотая россыпь в начале работ

Источник: <http://www.forexaw.com>

Разведанные запасы платины были столь значительны, что Россия очень быстро заняла первое место в мире по добыче этого металла. Только в 1828 году в России было добыто 1,5 т платины — больше, чем за 100 лет в Южной Америке. К концу XIX века в России добывалось платины в 40 раз больше, чем во всех остальных странах мира. За неполные сто лет с момента открытия месторождений платины (с 1824 по 1922 г.) на Урале, по официальным данным, было добыто около 250 тонн металла, и еще 70-80 тонн незаконным образом [9]. На Нижнетагильских платиновых приисках в период с 1827 по

1830 гг. в казну было сдано более 3 тысяч самородков платины массой от 1 кг до 9 кг. По некоторым данным найденные в XIX веке на Урале самородки достигали веса 9 и 11,5 килограмм [1; 196]. Так в 1843 году на горе Соловьевой был найден дин из крупнейших, но, к сожалению, не сохранившихся до наших дней самородков весом 9,63 кг [8] (Рис. 2).

| Массив | Прииск | Год | Количество и вес самородков |
|-----------------|---------------|-----------------------|--|
| Нижнетагильский | Мартьяновский | 1827—1829 гг. | Всего добыто 3384 самородка. Из них: 3340 штук от 4 до 100 г., 24 штуки от 100 до 200 г., 14 штук от 200 до 400 г., 3 штуки соответственно по: 665.5 г.; 703.5 г. и 763.6 г. |
| | | После 1829 г. | 1539.9 г.; 1467.4 г.; 2371.2 г.; 3204.1 г.; 5562.6 г.; 8352.2 г. |
| | Сырков лог | 1843 г. | 9635 г.; 5408.9 г.; 2866.6 г. |
| | | 1859 г. | 6552.2 г.; 5110.4 г.; 4504.6 г. |
| | Авроринский | За весь период добычи | Около десятка самородков от 2500 до 6500 г. |
| Вересовый Бор | | 1904 г. | 8359 г.; 7860 г.; 3895 г. |

Рис. 2. Уральские платиновые самородки. Источник: <http://www.forexaw.com>

Одним из наиболее известных самородков платины стал так называемый Демидовский самородок из Нижнего Тагила, весом более шести килограмм, описанный еще в 1860 году Хайдингером. Он был подарен придворному минералогическому кабинету в Вене, входящему сегодня в состав Естественно-научного музея Вены. Сегодня исторические самородки уральской платины хранятся в крупнейших специализированных музеях России и Европы - Национальном музее Праги, Минералогическом музее Страсбурга, музее минералогии и петрологии университета Бонна, Горном институте в Петербурге, музее Ферсмана в Москве и в Московском алмазном фонде Кремля [1; 195]. Здесь же в Алмазном фонде выставлен и крупнейший платиновый самородок, хранящийся в России, — «Уральский великан» весом более семи килограммов. Он был найден в 1827 году в россыпях Нижнетагильских заводов и преподнесен Н. Н. Демидовым императору Николаю I, который пожаловал его Горному музею, откуда он, как и многие другие в 30-е годы XX века был передан в Москву. Вообще история формирования Минерального собрания Горного института отражает историю открытия и исследования российских месторождений платины. В XVIII-XIX вв. минеральные коллекции росли очень быстро, пополняясь за счет отдельных образцов, поступавших в дар императорскому двору, частных коллекций, а также за счет образцов, собранных во время академических

экспедиций на Урал, Алтай, в Сибирь или на Камчатку [3; 11] или обмененных на равнозначные по своей ценности коллекции. Один из соучредителей Императорского минералогического общества, профессор естественной истории и минералогии Медико-хирургической Академии и Главного педагогического института Андрей Теряев отмечал в своей книге по истории минералогии, что «в Санкт-Петербурге Минералогические кабинеты Императорской Академии Наук и Горного Корпуса как богатейшие не только российскими, но и иностранными ископаемыми заслуживают преимущественное перед прочими уважение» [2; 122]. Так и платиновые самородки попадали в Горный музей разными путями: несколько экземпляров с природной платиной получены из приобретенных государством в 1802 году коллекции английского минералога Форстера и коллекции министра внутренних дел графа Л. А. Перовского, приобретенной в 1847 году. Самые крупные и редкие образцы передавались по императорскому указу с Санкт-Петербургского Монетного двора. Богатый материал был передан полковником Нефедьевым после его экспедиций по Уралу в 1865 и 1867 годах. Несколько образцов преподнесли в дар известные заводчики и меценаты Демидовы, а еще один, в 1893 году, Российское минералогическое общество. Первые самородки поступили уже в 1823 году с прииска близ Кувшиновского завода на Урале. Еще один крупный самородок весом чуть более пяти килограммов, поступивший с Санкт-Петербургского Монетного двора в 1887 году, хранится в Горном университете и по сей день и выставлен в одном из залов Горного музея (Рис. 3).



Рис. 3. Самородок весом 5111 г, хранящийся в музее Горного института с 1887 года

Источник: www.spmi.ru

Горный инженер М. Мельников в путеводителе по Музеуму (1898 г.) писал: «Музеум хранит, вообще, 1 пуд 37 фунтов платины». По музейному каталогу 1911 года, составленному А. Э. Купффером, в коллекции числилось 57 образцов платины, среди них

довольно крупные самородки: от 9 фунтов и более – 5 образцов; от 1 фунта и более – 10 образцов. Сейчас в коллекции хранится 92 образца с природной платиной, медали из сплавов платины, изготовленных на Парижском монетном дворе. а также химическая посуда из этого металла. Большая часть коллекционного материала характеризует различные прииски и месторождения Урала. Помимо того, что особо крупные и ценные экземпляры платины отправлялись в музеи, платина также поставлялась на экспорт, использовалась для чеканки платиновых монет (Рис. 4) и уже в XIX веке активно использовалась для химических опытов, поэтому потребность в ней со временем лишь возрастала. А в связи с тем, что Россия постепенно выходила на первое место в мире по ее добыче, возрастал и интерес к русской платине в Европе.



Рис. 4. Платиновый рубль 1830 года. Источник: www.staraya-moneta.ru

Доступ к недавно открытым платиновым месторождениям Пермской губернии на Урале получило благодаря тесным связям с русским царским двором немецкое минералогическое общество в Йене. И уже в 1828 году профессор Юстус Кристиан Лодер, статский советник и лейб-медик в Петербурге, переслал в Йенское минералогическое общество платиновый самородок из Демидовских рудников и трехрублёвую платиновую монету [4; 18]. Образцы платины с этих месторождений способствовали, среди прочего, успеху исследований Иоганна Вольфганга Дёберейнера (1780-1849), занимавшего с 1789 года должность профессора химии в университете г. Йены [5; 314], который своими исследованиями платины заложил основы каталитической химии [6; 221]. К сожалению, упомянутые выше самородок и монета, переданные Лодером Минералогическому обществу в Йене с оказией 10 августа 1828 являются единственными, сохранившимися в Йенском минералогическом обществе платиновыми самородками того времени [4; 19].

Лишь спустя 65 лет после открытия уральской платины и начала разработки россыпей в Нижнетагильском массиве, в 1892 году, было обнаружено первое в России и в мире коренное проявление платины - Серебряковская жила в Крутом логу, но

политические и экономические потрясения первой четверти XX века привели к резкому сокращению объемов добычи платины в России.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kolesar P.; Tvrdy J. Zarenschätze: Mineralien und Fundstellen in Russland, Armenien, Aserbaidshan, Georgien, Kasachstan, Kirigstan, Tadschikistan, Turkmenistan, Usbekistan, Weißrussland und in der Ukraine. — Haltern, 2006. - 720 S.
2. Теряев А. История минералогии, или краткое изображение основания, приращения и усовершенствования оной науки, особливо в последнее двадцатилетие, с присовокуплением Главного основания новейших систем по всем частям всеобщей минералогии. — СПб, 1819. - 224 с.
3. Тихомиров В.В. Старейшие геологические музеи СССР / В.В. Тихомиров — М., 1989. - 238 с.
4. Heide K. Die «Societät für die gesamte Mineralogie zu Jena» und ihre Außenwirkung. In: Deutsche und ungarische Mineralogen in Jena. Wissenstransfer an der Wende des 18. - 19. Jahrhunderts im Rahmen der «Societät für die gesamte Mineralogie in Jena», hrsg. Von Dezso Gurka. — Budapest, 2015. - 179 S.
5. Linke D. Johann Wolfgang Döbereiner und sein Beitrag zur Chemie des XIX. Jahrhunderts. In: Zeitschrift für Chemie. 1981. - S. 309-319
6. Arnold H. Der Chemiker Döbereiner und sein Minister Goethe – Eine Rezeptionsstudie. In: Vitalprinzip Akademie, Festgabe zur 450-Jahrfeier der Universität Jena. — Erfurt, 2008 - S. 211–232.
7. Яблонский Г.С. Гёте, Деберейнер, катализ // Химия и жизнь. 1983. № 10. стр.76-79.
8. http://forexaw.com/TERMs/Raw_materials/Precious_metals
9. www.platinummetalsreview.com

**СЕКЦИЯ 2. ПЛАТИНОВЫЕ РОССЫПИ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОР
ВЫВЕТРИВАНИЯ: ГЕОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ
ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

УДК 553.491:553.068.3:550.42

**^{190}Pt - ^4He ВОЗРАСТ САМОРОДКОВ ПЛАТИНЫ
ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНОГО МАССИВА КОНДЁР
(ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)**

Мочалов А.Г., Якубович О.В.

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН

АННОТАЦИЯ

Впервые из щелочно-ультраосновного массива Кондёр Батомгского геоблока Алданского щита приводятся результаты датирования самородков минералов платиновой группы (агрегатов и кристаллических индивидов) (МПП) и их сростков с хромшпинелидами, оливином и клинопироксеном, на основании определения ^{190}Pt - ^4He возраста главного минерала – изоферроплатины. Возраста самородков - 129 ± 6 млн. лет ($\text{tg}\alpha = 0,00019115$). Если рассмотреть общую изохрону, построенную по всем исследованным образцам МПП минералого-геохимических типов руд щелочно-ультраосновного массива Кондёр (24 пробы) и самородков МПП (7 проб), то их ^{190}Pt и ^4He величины практически неотделимы, что однозначно свидетельствует об их общем возрасте и генезисе. Таким образом, можно считать, что самородки МПП были образованы при исключительных скоплениях элементов платиновой группы в ходе магматогенного, флюидно-метаморфогенного или метасоматического платинометального рудообразования между титонским и готеривским веками.

Ключевые слова: щелочно-ультраосновной массив, минералы платиновой группы, самородки, ^{190}Pt - ^4He возраст.

**^{190}Pt - ^4He AGE OF THE PLATINUM NUGGETS
FROM ALKALINE-ULTRAMAFIC MASSIF KONDYOR
(Khabarovsk District, Russia)**

Mochalov A.G., Yakubovich O.V.

Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS

ABSTRACT

Here we report the results of the ^{190}Pt - ^4He dating of the isoferroplatinum that is the main mineral for nuggets of platinum group minerals (aggregates and crystals) (PGM) and its intergrowth with chromeshpinelides, olivine and clinopyroxene from alkaline-ultramafic massif Kondyor located at Batomgskiy geoblock of Aldanian shield. Obtained age of the nuggets is 129 ± 6 mln.years. By constructing the joint isochron for all studied samples of PGM from mineral-geochemical types of ores of alkaline-ultramafic massif Kondyor (24 samples) and nuggets of PGM (7 samples) we show that their $^4\text{He}/^{190}\text{Pt}$ ratios are the same, which indicates that they were formed during the events of the same age. Thus, it is possible to conclude that nuggets of PGM were formed by anomalous enrichment by platinum group elements during magmatogenic, fluid-metamorphogenic or metasomatic platinum ore formation between tithonian and hauterivian stages.

Keywords: Alkaline-ultramafic massif, platinum group minerals, nuggets, ^{190}Pt - ^4He age.

Самородки минералов – это чудесные природные выделения минеральных индивидов или агрегатов, которые встречаются исключительно в единичных случаях или имеют весьма необыкновенные размеры относительно распространенных в природе. Самыми уникальными самородками минералов платиновой группы (МПП) были весом 9.6, 8.3 и 7.8 кг, поднятые в 19 веке из россыпей Урала, коренными источниками которых являлись кумулятивные габбро-пироксенит-дунитовые массивы Платиноносного пояса [1, 2]. Самородки МПП Урала главным образом являлись агрегатами самородной платины и интерметаллидов Pt и Fe, часто в сростаниях с хромшпинелидами (Spl) и реже с оливином (Ol) и клинопироксенами (Cpx). Подобные самородки были описаны в россыпях Северной и Южной Америки, а также в Корякском нагорье в районах распространения кумулятивных габбро-пироксенит-дунитовых массивов складчатых областей [1, 2, 3]. В 1979-1988 гг. было открыто уникальное россыпное месторождение платиновых металлов рек Кондёр-Уоргалан, коренным источником которого являлся щелочно-ультраосновной массив Кондёр в Аяно-Майском районе Хабаровского края. Из этого месторождения были подняты многочисленные самородки МПП, самые крупные из которых - 3,5 и 2,2 кг. Самородки МПП россыпей щелочно-ультраосновного массива Кондёр имеют много общего с уральскими, корякскими и американскими. Однако на Кондёре распространением пользуется уникальные кристаллические индивиды изоферроплатины (вес которых достигает 20 г). Эти кристаллические индивиды распространены среди МПП платино-палладиевого (Pt-Pd) минералого-геохимического типа магматогенно-флюидно-метасоматического генезиса среди метасоматитов по дунитам [4]. Представления о

последовательности рудообразования элементов платиновой группы и образование самородков были в основном ориентированы на онтогению агрегатов МПГ с силикатами, окислами и сульфидами. Онтогения свидетельствует в пользу позднемагматических и, главным образом, наложенных флюидно-метаморфических и метасоматических процессов при образовании МПГ в первично магматогенной ультраосновной матрице [4, 5, 6]. В то же время представления о генезисе МПГ габбро-пироксенит-дунитовых и щелочно-ультраосновных массивов являются неоднозначными, и тем более это относится к весьма слабо изученному образованию самородков. Нередко можно слышать высказывания, что самородки МПГ образованы в корях выветривания или даже в россыпях. Недавно, принципиальная возможность прямого определения возраста МПГ, была продемонстрирована Ю.А. Шуколюковым с коллегами в ИГГД РАН разработанным новым ^{190}Pt - ^4He методом [7]. В виду установленной, высокой сохранности радиогенного гелия в самородных минералах платины, появилась возможность подойти к решению фундаментальной проблемы, оценить момент начала рудообразования ЭПГ и его этапы в ходе петрогенезиса силикатной матрицы. В настоящей работе впервые приводятся результаты датирования самородков МПГ (агрегатов и кристаллических индивидов) и их сростков с Spl, Ol и Crx, на основании определения ^{190}Pt - ^4He возраста главного минерала – изоферроплатины. Представляется, что определение возраста самородка и его сопоставление с геохронологией минералого-геохимических типов платинометалльных руд и вмещающих их пород позволит однозначно ответить об их одновременном или разном генезисе.

Массив Кондёр расположен в пределах Батомгского геоблока Алданского щита [8]. В геологическом строении массива принимают участие магматические породы: дуниты, верлиты, пироксениты, косьвиты, горнблендиты, габбро, щелочные пегматиты, щелочные сиениты, субщелочные диориты, монцодиориты и субщелочные граниты (рис. 1). Все магматические породы прорывают кристаллические образования архея и терригенные породы протерозоя, с которыми формируют единую купольно-кольцевую тектоническую структуру с центральным «дунитовым ядром». Под влиянием ультраосновных, основных, щелочных и гранитоидных интрузий «дунитовое ядро» подверглось синмагматической рекристаллизации, перекристаллизации и метасоматическому преобразованию. Это выразилось в широком распространении фациальных разновидностей дунитов с хромититовыми и клинопироксенитовыми новообразованиями и многочисленных метасоматитов – апатит-титаномагнетит-биотит-клинопироксеновых, амфиболовых, цеолитовых и серпентинитовых. Исследования МПГ дунитов позволили выделить несколько минералого-геохимических и генетических типов: 1) платиновый тип (Pt)

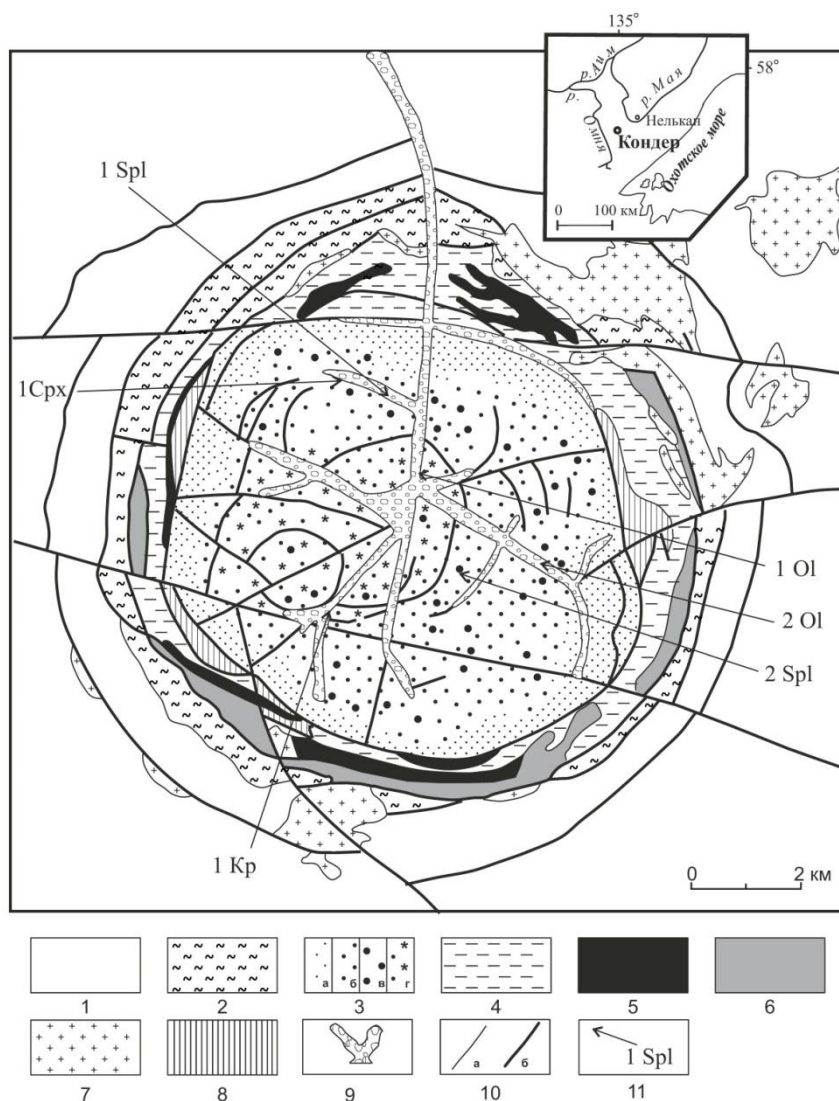


Рис. 1. Геологическая схема строения массива Кондёр Алданского щита (использованы геологические карты 1: 10 000 и 1:25 000 составленные ПГО «Дальгеология»[8]).

1 – осадочные породы среднего рифея: алевролиты и песчаники. 2 – граниты и метаморфические породы (гнейсы, кристаллические сланцы, мраморы и т.д.) архея. 3 – дуниты: а – мелкозернистые; б – мелко-, средне-; крупнозернистые; в – крупнозернистые, пегматоидные; г – метасоматически измененные под влиянием интрузий козьвитов, основных, щелочных и гранитоидных пород. 4 – пироксениты. 5 – козьвиты. 6 – габбро. 7 – субщелочные диориты, монцодиориты. 8 - оливин-диопсидовые метасоматиты. 9 — россыпи платиновых металлов. 10 – границы и разломы: а – геологические границы б — разломы. 11 – места отбора самородков и их номер (см. табл. 2).

магматогенный в мелкозернистых дунитах и магматогенно-флюидно-метасоматический в крупнозернистых дунитах с «чёрным оливином» (обусловленных микровключениями магнетита, Spl и Срх); 2) магматогенно-флюидно-метасоматический осмисто-платиновый в шлирах и линзовидных жилах клинопироксенитов в дунитах ($Pt > Os - Cpx$); 3) флюидно-

метаморфогенный иридисто-платиновый (Pt>Ir) в светлых средне-, крупнозернистых дунитах (Pt>Ir-Ol) и хромититах (Pt>Ir-Spl); 4) магматогенно-флюидно-метасоматический Pt–Pd в метасоматитах по дунитам: апатит-титаномагнетит-биотит-клинопироксеновых, амфиболитовых и цеолитовых с сульфидами и окислами меди. Эти метасоматиты по дунитам генерируют магматические жилы козьвитов, горнблендитов, щелочных пегматитов, щелочных сиенитов и субщелочных гранитов, в составе которых распространены Pt, Pd, Au, Ag, Cu, Pb, Sn, Bi, Zn, Te, Sb, As и S. [4, 5, 8]. Россыпное месторождение рек Кондёр-Уоргалан по балансовым запасам платиновых металлов - более 100 т является весьма крупным (уникальным) [9]. Месторождение приурочено к долине 4-5 порядка рек Кондёр - Уоргалан и имеет суммарную протяженность (включая его части в притоках 1, 2, 3 порядков верховья реки Кондёр) более 60 км, при средней ширине 360 м. «Пески» со шлиховыми МПГ россыпи приурочены к разновозрастным аллювиальным отложениям долин, террас и террасоувалов. Средние содержания платиновых металлов около 2-5 г/м³. 65% запасов платиновых металлов находится в долине р. Кондёр, 23% в - р. Уоргалан, 6% в - притоках 3 порядка (ручьи Бегун, Трезубец), 6% в - притоках 2 порядка (ручьи Трехглавый, Коротыш, Прямой, Аномальный, Южный, Левый Бегун, Правый Бегун, Малый, Аппендикс, Двуглавый) и менее 1% в 3-х притоках 1 порядка (руч. Распадок, Безымянный, Молокан). В составе россыпи выделяются пять разновозрастных комплексов аллювия: плиоцен-нижнеплейстоценовый, среднеплейстоценовый, начала и второй половины верхнего плейстоцена, голоценовый. Плиоцен-нижнеплейстоценовый комплекс выделяется своей наибольшей продуктивностью. Распределение самородков ограничено площадью россыпи внутренней части кольцевого хребта Кондер в пределах распространения магматических и архейских кристаллических пород массива (см. рис. 1). Русловая «щетка» р. Кондёр в пределах каньона из кольцевого хребта Кондёр явилась естественным барьером, препятствующим удалению крупных фракций шлиховой МПГ. Самородки МПГ (фракция более 1 см) в р. Кондёр (разведочные линии 216-160) составляют - 1.5 мас.% от шлиховых МПГ россыпи, в притоках (ручьях) 1-3 порядков - 5.2 мас.%, и в целом по водотокам внутренней части кольцевого хребта Кондер - 2.5 мас.% [9, табл. 2]. Распространенность самородков МПГ по весу приведена в таблице 1, при этом средний вес самородков до 100 г составил 14.5 г, а больше 100 г – 242.5 г.

В россыпном месторождении рек Кондёр-Уоргалан и его коренном источнике щелочно-ультраосновном массиве Кондёр установлено около 100 МПГ [4, 9]. В то же время, главным минералом, практически всех минералого-геохимических типов МПГ распространенных в дунитах и их метасоматитах, а также самородков, является

изоферроплатина - Pt_3Fe [10]. Из четырех выделенных минералого-геохимических типов в трех установлены самородки: 1) $Pt>Ir$, 2) $Pt>Os-Cpx$ и 3) $Pt-Pd$. Самое большое количество самородков МПГ установлено $Pt>Ir$ типе. При этом количество самородков из дунитов ($Pt>Ir-Ol$ подтип) и хромититов ($Pt>Ir-Spl$ подтип) примерно равное.

Таблица 1

Распространенность самородков МПГ россыпного месторождения Кондёр

| Масса, г | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-100 | 100-500 | >500 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|------|
| Отн. % | 55.96 | 20.62 | 9.16 | 6.95 | 2.95 | 0.94 | 2.56 | 0.80 | 0.06 |

Примечание. Составлена на основании изучения самородков МПГ, добытых в 1989 г.

Ранее был исследован новым $^{190}Pt-^4He$ методом возраст изоферроплатины $Pt>Ir-Ol$, $Pt>Ir-Spl$, $Pt>Os-Cpx$ и $Pt-Pd$ минералого-геохимических типов рудопроявлений массива Кондёр. $^{190}Pt-^4He$ возраст изоферроплатины полученный по тангенсу угла наклона изохроны 24 исследованным образцов минералого-геохимических типов МПГ массива Кондёр, составил 129 ± 6 млн. лет ($tg\alpha = 0,00019116$) (рис. 2). Это свидетельствовало: 1) рудообразование минералого-геохимических типов МПГ щелочно-ультраосновного массива Кондёр происходило в достаточно узком диапазоне геологического времени, между окончанием юрского периода до раннего мела ($J_3tt - K_1g$); 2) платинометальное рудообразование магматогенного, флюидно-метаморфогенного, метасоматического генезиса осуществлялось синхронно-последовательно эволюции, сначала пикритоидного, а затем субщелочного и щелочного расплавов мезозойской тектоно-магматической активизации Алданского щита [11].

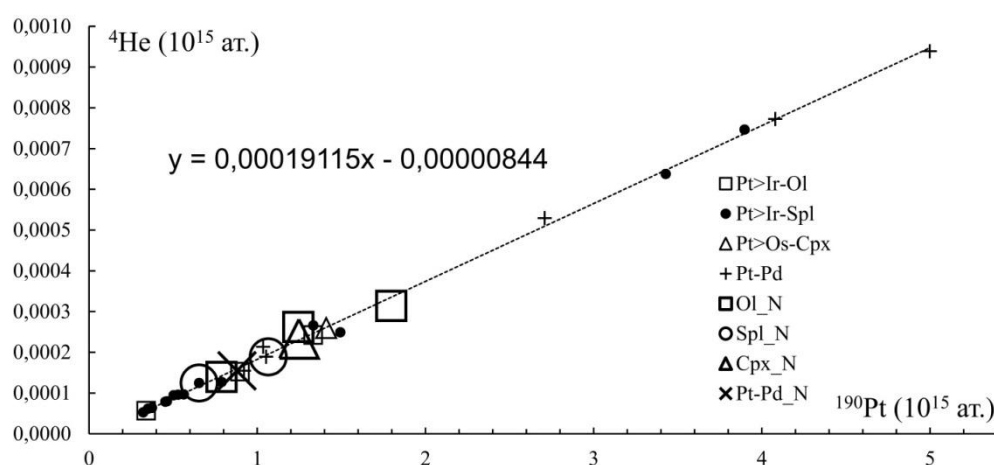


Рис. 1. $^{190}Pt-^4He$ «изохрона» образцов изоферроплатины из $Pt>Ir-Ol$, $Pt>Ir-Spl$, $Pt>Os-Cpx$ и $Pt-Pd$ минералого-геохимических типов и самородков МПГ Ol_N , Spl_N , Cpx_N и $Pt-Pd_N$ щелочно-ультраосновного массива Кондёр.

Таблица 2

Тип, вес и плотность самородков МПГ с изученным ^{190}Pt - ^4He возрастом

| № п.п. | № обр. | Тип | Масса, г | Плотность, г/см ³ |
|--------|--------|-----------|----------|------------------------------|
| 1 | 1 ОI_ | Pt>Ir-OI | 31.8 | 12.62 |
| 2 | 2 ОI | Pt>Ir-OI | 6,7 | 14.00 |
| 3 | 1 Spl | Pt>Ir-Spl | 36.3 | 9,46 |
| 4 | 2 Spl | Pt>Ir-Spl | 5.3 | 14.93 |
| 5 | 1 Срх | Pt>Os-Срх | 8.71 | 14.57 |
| 6 | 1 Кр | Pt–Pd | 2.6 | 17.32 |

Примечание. Местоположения поднятия самородков: р. Кондёр - № 1, руч. Бегун - № 2, руч. Малый - № 4, руч. Аномальный - № 6, руч. Коротыш - № 4 и №5.

Были выбраны представители самородков МПГ, которые по главным минералогическим параметрам соответствовали минералого-геохимическим типам (табл.2). От этих самородков МПГ были отделены части массой от 5-10 мг, которые были разделены на несколько частей 2-3 мг для измерения Pt и ^4He по отработанной методике [7, 11].

Полученные данные о содержании ^{190}Pt и ^4He в самородках (см. табл. 2) были нанесены на изохрону 24 исследованным образцов Pt>Ir-OI, Pt>Ir-Spl, Pt>Os-Срх и Pt–Pd минералого-геохимических типов (см. рис. 2). Возраст, полученный по тангенсу угла наклона изохроны, построенной по всем точкам включая 7 определений ^{190}Pt и ^4He в самородках Pt>Ir-OI, Pt>Ir-Spl, Pt>Os-Срх и Pt–Pd типов, составил - 129 ± 6 млн. лет ($t_{\text{га}} = 0,00019115$). Вариации возраста, рассчитанные по стандартному отклонению $^4\text{He}/^{190}\text{Pt} \times 10^4$ $S=0,12$, не выходят за пределы ошибки анализа - ± 6 млн. лет. Если рассмотреть общую изохрону построенной по всем исследованным образцам МПГ и самородков то ^{190}Pt и ^4He величины у них практически неотделимы, что однозначно свидетельствует об их общем возрасте и генезисе. Таким образом, можно считать, что самородки МПГ были образованы при исключительных скоплениях элементов платиновой группы в ходе магматогенного, флюидно-метаморфогенного или метасоматического платинометалльного рудообразования между титонским и готеривским веками.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ №14-05-00896-а.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высоцкий Н.К. Месторождения платины Исковского и Нижне-Тагильского районов на Урале // Труды Геологического комитета. – 1913. Вып.62. 694 с.
2. Орлов В.Н. Платиновые самородки Алмазного фонда РФ: свидетельства истории // Минералогический альманах. 2010. Т.15. Вып. 3. С. 4-27.

3. Мочалов А.Г. Россыпи платиновых металлов // Россыпные месторождения России и других стран СНГ. М.: Научный мир. 1997. С. 127–165.
4. Мочалов А.Г., Галанкина О.Л. Онтогения кристаллических индивидов изоферроплатины и звягинцевита месторождений Pt-Pd магматогенно-метасоматического типа массива Кондёр Алданского щита // Онтогения, филогения, система минералогии. Миасс: Институт минералогии УрО РАН. 2015. С. 136-140.
5. Мочалов А.Г. Россыпеобразующие формации минералов платиновой группы Дальнего Востока России // Рудные месторождения и процессы рудообразования. М.: ИГЕМ РАН. 2005. С. 367–386.
6. Мочалов А.Г. Модель развития минералов платиновой группы габбро-пироксенит-дунитовых кумулятивных комплексов Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. 2013. №3. С. 171-188.
7. Шуколюков Ю.А., Якубович О.В., Мочалов А.Г., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Яковлева С.З., Корнеев С.И., Гороховский Б.М. Новый изотопный геохронометр для прямого датирования самородных минералов платины (^{190}Pt - ^4He -метод) // Петрология. 2012. № 6. С. 545–559.
8. Геология, петрология и рудоносность Кондёрского массива. М.: Наука, 1994. 180 с.
9. Mochalov A.G., Khoroshilova T.S. The Konder alluvial placer of platinum metals // International platinum. Athens: Theophrastus publications, 1998. P. 206–220.
10. Мочалов А.Г., Жерновский И.В., Дмитренко Г.Г. Состав и распространенность самородных минералов платины и железа в ультрамафитах // Геология рудных месторождений. 1988. №5. С. 47–58.
11. Мочалов А.Г., Якубович О.В., Бортников Н.С. ^{190}Pt - ^4He возраст платинометалльных рудопроявлений щелочно-ультраосновного массива Кондёр (Хабаровский край, Россия) // ДАН. 2016.

**РУТЕНИРИДОСМИНОВАЯ АССОЦИАЦИЯ В РОССЫПИ РЕКИ ХАТЫРКА
(КОРЯКИЯ)**

Н.Д. Толстых¹, Е.Г. Сидоров²

¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

АННОТАЦИЯ

Исследована рутениридосминовая ассоциация минералов платиновой группы в шлиховом ореоле верховьев реки Хатырка, дренирующей офиолитовые гипербазиты Верхн-Хатырского меланжа. Выборка представлена Os-Ir-Ru (93%) и Pt-Fe сплавами с мономинеральными включениями лаурита, ирарсита, купроиридсита и неназванной фазы Ni₂IrFe. Минеральная ассоциация характеризуется всеми признаками, типичными для офиолитов. (преобладание Os-Ir-Ru сплавов, рутениевый тренд их составов, присутствие рутениридосмин-изоферроплатинового парагенезиса и др.). Особенность этой ассоциации заключается в повышенной роли платины в рудоформирующей системе, развитии позднего магматического парагенезиса при отсутствии раннего осмий-иридиевого, характерного для других офиолитовых комплексов и обогащении ее никелем, что характерно для более эволюционированной стадией фракционирования магматического источника.

Ключевые слова: Корякия; Хатырка; офиолиты; Os-Ir-Ru и Pt-Fe сплавы; рутениридосмин-изоферроплатиновый парагенезис

**OS-IR-RU MINERALS ASSEMBLAGE IN KHATYRKA RIVER PLACER
(KORYAK)**

N.D. Tolstykh¹, E.G. Sidorov²

1 – VS Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS

2 – Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS

ABSTRACT

Os-Ir-Ru minerals assemblage of platinum group minerals in placer of Khatyrka River that drainage the ophiolite ultramafic rocks (Hatyrsky melange) has been investigated. The sample represented by Os-Ir-Ru (93%) and Pt-Fe alloys with monomineral inclusions: laurite, irarsite, cuproiridsite and unnamed Ni₂IrFe phase. Mineral assemblage is characterized by all the features typical of the ophiolites (prevalence of Os-Ir-Ru alloys, ruthenium trend of their

compositions, the presence of rutheniridosmine-isoferroplatinum paragenesis etc.). The peculiarity of this association is the enhance role of platinum in ore-forming system, the development of late-magmatic paragenesis, the absence of early osmium-iridium one, typical for the other ophiolite complexes, and Ni-enrichment, which is typical for a more evolved stage of fractionation of magmatic source.

Keywords: Koryakia; Khatyrka; ophiolites; Os-Ir-Ru and Pt-Fe alloys; rutheniridosmin-isoferroplatinum paragenesis

Исследованы минералы платиновой группы (МПГ) россыпных проявлений верховьев реки Хатырка северо-восточной части Корякского нагорья, где она размывает серию небольших тел юрско-меловых серпентинизированных гипербазитов Верхне-Хатырского офиолитового пояса, локализованных в разновозрастных песчаниках и алевролитах. МПГ встречаются в аллювии водотоков, дренирующих серпентинитовый меланж, и несомненно, отражают минералогию гипербазитовых массивов офиолитового пояса. Преобладающими минералами платиновой группы из шлиховых ореолов являются минералы системы Os-Ir-Ru (97%), которые представлены серебристо-серыми толстыми кристаллами, пластинками неправильной формы до 2,5 мм и окатанными зернами 0,3-0,5 мм со слабо выраженным гексагональным габитусом (Рис. 1). Содержание Pt-Fe сплавов, часто кубической формы, не превышает первых процентов.

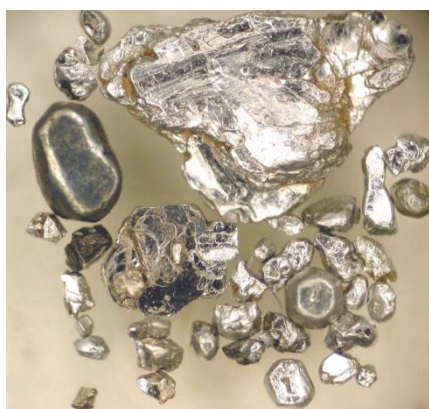


Рис. 1. Морфология Os-Ir-Ru сплавов из россыпных проявлений верховьев реки Хатырка

В проанализированной выборке Os-Ir-Ru сплавы по классификации [3] относятся к осмию, рутению и рутениридосмину (Рис. 2 А). Один анализ попадает в поле иридия, который находится в срастании с осмием и изоферроплатиной, образуя 3-х фазный парагенезис (Рис. 3 Г). Концентрация Ru в сплавах достигает 65 ат.% с образованием рутениевого тренда составов. Содержание Pt в гексагональных сплавах не превышает 5,7 мас.%, а в иридии составляет 13,7 мас.%. Коэффициент распределения Ru между

гексагональной и кубической фазами в 3-х фазном парагенезисе больше единицы, аналогично другим рутениридосминовым ассоциациям, связанным с офиолитами [4]. Os-Ir-Ru сплавы содержат примеси Pt, Fe, Rh и Ni.

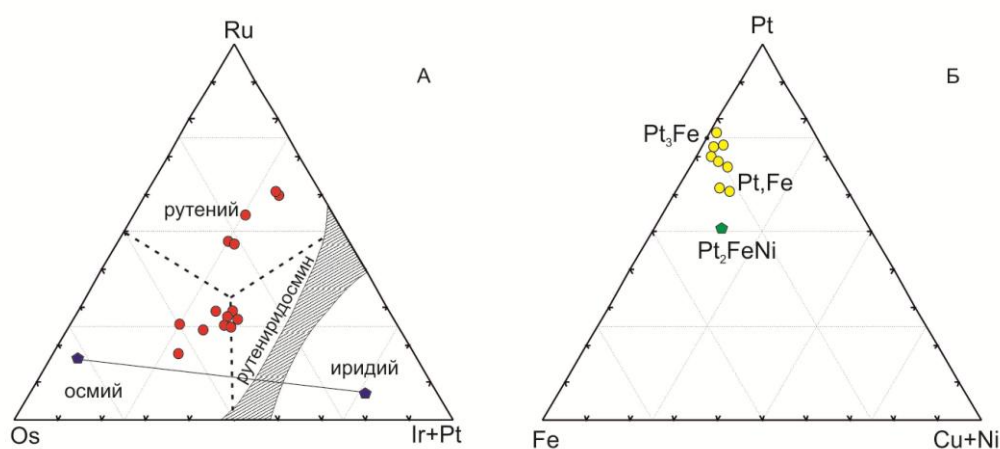


Рис. 2. Состав Os-Ir-Ru (А) и Pt-Fe сплавов по [1] из шлихового ореолов верховьев реки Хатырка. Поля минеральных видов показаны пунктиром. Линии соединяют составы равновесных Os-Ir-Ru и Pt-Fe фаз из трехфазного изоферроплатино-иридий-осмиевого парагенезиса.

Составы Pt-Fe сплавов образуют тренд от железистой платины к изоферроплатине, отражая развитие магматического процесса. Встречается ферроникельплатина (Рис. 2Б). Для Pt-Fe сплавов россыпных проявлений верховьев реки Хатырка отмечается повышенная концентрация примеси Ni, которая положительно коррелируется с Fe. Максимальные ее значения характерны для железистой платины (до 5,31 мас.%). Тренд Pt,Fe(Ni) → Pt₃Fe аналогичен магматическому тренду составов из россыпи реки Ольховая [5]. Среди примесей в Pt-Fe сплавах присутствуют Ir (до 5,36 мас.%) и Rh (до 3,5 мас.%) в сумме увеличиваясь от железистой платины к ферроникельплатине.

Россыпная минеральная ассоциация представлена как мономинеральными зёрнами (Рис. 3А), так и сростаниями Os-Ir-Ru и Pt-Fe сплавов друг с другом с различными вариациями взаимоотношений (Рис. 3Б-Г). Среди включений в Os-Ir-Ru сплавах установлены лаурит, ирарсит (Рис. 3Д), купроиридсит (Рис. 3Г) и неизвестная фаза состава Ni₂FeIr.

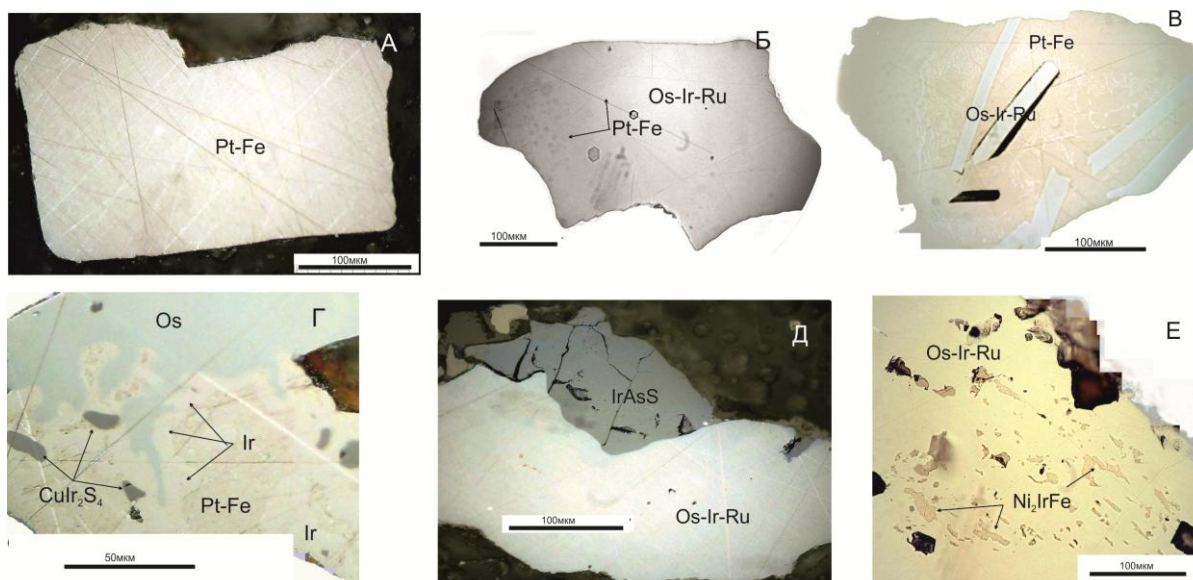


Рис. 3. Микропарагенезисы МПГ из россыпных проявлений верховьев реки Хатырка. А. Кубический кристалл изоферроплатины; Б. Негативные включения изоферроплатины в зерне Os-Ir-Ru сплава; В. Включения пластинок Os-Ir-Ru в железистой платине; Г. Тройной осмий-иридий-изоферроплатиновый парагенезис; Д. Включение ирарсита IrAsS в Os-Ir-Ru сплаве. Е. Многочисленные включения неназванной фазы Ni_2FeIr в Os-Ir-Ru сплаве.

Идиоморфные включения *лаурита* представлены, как крайними членами $(Ru_{1.01}Rh_{0.01})_{1.02}(S_{1.93}As_{0.04})_{1.97}$, так и твердым раствором с эрликманитом $(Ru_{0.69}Os_{0.25}Ir_{0.06})_{1.00}S_{1.99}$. Линзовидные включения *купруиридсита* обнаружены в зерне, представляющем трехфазное срастание сплавов. В его состав входят как маланитовый, так и купрородситовый миналы, а медь частично замещается никелем $(Ir_{1.39}Pt_{0.30}Rh_{0.20}Ru_{0.03})_{1.92}(Cu_{0.81}Ni_{0.10})_{0.91}S_{4.17}$, тогда как в других офиолитовых комплексах она замещается железом [6]. *Ирарсит* представлен крупными кристаллами (Рис. 2 Д) состава $(Ir_{0.76}Ru_{0.17}Rh_{0.05})_{0.98}As_{0.83}S_{1.19}$, который является твердым раствором лаурита в ирарсите. Обнаружена серовато-желтоватая и слабо анизотропная неназванная фаза *Ni₂FeIr*, которая представлена серией мелких червеобразных ориентированных включений в Os-Ir-Ru (Рис. 2Е), не имеющая синтетических аналогов: $Ni_{2.02}Fe_{1.00}(Ir_{0.68}Pt_{0.15}Ru_{0.07}Rh_{0.03}Cu_{0.04})_{0.98}$.

Ассоциация минералов платиновой группы из россыпных проявлений верховьев реки Хатырка обладает признаками, характерными для большинства ассоциаций из офиолитовых гипербазитов: преобладание Os-Ir-Ru сплавов среди минералов в шлиховых ореолах, рутениевый тренд их составов, коэффициент распределения между равновесными рутением и иридием >1 , мономинеральные включения сульфидов и сульфоарсенидов платиновых металлов, негативные кристаллы иридий-изоферроплатины в Os-Ir-Ru сплавах [4]. К специфическим особенностям можно отнести

то, что из двух возможных и характерных для офиолитовой ассоциации парагенезисов здесь весьма проявлен один более поздний, рутениридосмин-изоферроплатиновый парагенезис, тогда как предшествующий ему осмий-иридиевый, являющийся более высокотемпературным [7], не отмечается. Это свидетельствует об относительно низких температурах развития этой ассоциации по сравнению с офиолитовыми минеральными ассоциациями большинства исследованных нами ранее офиолитовых источников россыпей [4].

В исследуемой ассоциации развитие рудоформирующей системы начинается с трехфазного осмий-иридий-изоферроплатинового парагенезиса, который с понижением температуры и насыщением системы платиной переходит в изоферроплатино-рутениридосминовый. Платина играет существенную роль в развитии минеральных парагенезисов, вплоть до преобладания Pt-Fe сплавов в микропарагенезисах (пластинки осмия в изоферроплатине). Такие структуры аналогичны наблюдаемым в комплексах Урало-Аляскинского типа. Но отличительной особенностью офиолитовых ассоциаций является высоко-рутенистый состав этих пластинок.

Магматическая рудоформирующая система источника исследуемой ассоциации (Верхне-Хатырский офиолитовый меланж) обогащена Ni, что отражено в его активном участии в образовании большинства МПГ (обогащенная Ni железистая платина и ферроникельплатина, никелистый купроиридсит, фаза Ni₂IrFe).

Таким образом, минеральная ассоциация, обогащенная Pt с широким проявлением рутениридосмин-изоферроплатинового парагенезиса, характеризующая генетические особенности гипербазитовых массивов Верхне-Хатырского меланжа, свидетельствует об относительно меньшей истощенности мантийного источника по сравнению с другими офиолитовыми комплексами и его более эволюционированной стадией фракционирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ № 16-05-00945, проекта РНФ No 14-17-00250, гранта ДВО РАН №15-И-2-095 и программы ОНЗ-2.1.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитренко, Г.Г., Мочалов, А.Г. Новые данные о вещественном составе ультрамафитов Верхне-Хатырского серпентинитового меланжа (Корякское нагорье) // Доклады РАН. - 1994. - Т. 334. - № 2. - С. 204-207.
2. Чехов, А.Д., Александров, А.А., Паланджян, С.А., Петров, А.Н. Верхне-Хатырский серпентинитовый меланж (центральная часть Корякского нагорья) // Геология и геофизика. - 1980. - № 5. - С. 51-59.

3. Harris, D.C., Cabri, L.J. Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision // *Canad. Miner.* - 1991. – V. 29. – P. 231-237.
4. Tolstykh, N., Krivenko, A., Sidorov, E., Laajoki, K., Podlipsky, M. Ore mineralogy of PGM placers in Siberia and the Russian Far East // *Ore Geology Review.* – 2002. – V. 20. – P. 1-25.
5. Tolstykh, N., Sidorov, E., Kozlov, A. Platinum-group minerals from the Olkhovaya-1 placer related to the Karaginsky ophiolite complex, the Kamchatskiy Mys Peninsula, Russia // *Canad. Miner.* - 2009. - V. 47. - P. 793-811.
6. Corrivaux, L., Laflamme, J.H. Minéralogie des éléments du groupe de platine dans les chromitites de l'ophiolite de Thetford mines, Québec // *Canad. Miner.* – 1990. – V. 28. – P. 579-595.
7. Округин А.В. Тренды изменения составов железа-платиновых твердых растворов в платиноносных россыпях востока Сибирской платформы // *Записки ВМО.* – 2000. - № 5. – С. 32-37.

GOLD AND PLATINUM GROUP MINERALS IN CENOZOIC SEDIMENTS OF SAXONY (FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY)

Dr. Uwe Lehmann

*Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology,
Division of Economic Geology, Dresden, Germany*

ABSTRACT

A great variety of different types of ore deposits can be found in Saxony, but so far no accumulations of gold and platinum group minerals (PGM) of economic importance are known. Nevertheless, the latter are widely distributed. Recent studies focused on gravel and sand deposits, where gold and PGM occur as heavy minerals. This paper describes the results of the first systematic investigations. Some remarks are made concerning a possible economic extraction of even relatively low gold/PGM contents.

Keywords: Gold; platinum group minerals; Saxony; heavy minerals; extraction

Saxony is a part of the European Variscan belt and hosts a number of ore deposits, created during and after Variscan orogeny. Especially remarkable are the post-orogenic, metasomatic tin-tungsten deposits of the Saxon ore mountains as well as younger, post-Variscan multi-stage hydrothermal dykes amongst others with economic enrichments of Pb, Ag, Cu, Zn, U, Fluor, Baryte and much more.

Gold – with a few exceptions - and more than ever PGM have never been commercially relevant in the past. Despite missing systematic studies both seem to be hosted mainly in simple sulfides (especially pyrite, pyrrhotite, bornite, chalcopyrite, arsenopyrite). Elevated contents of gold in the range of some ppm have been found for instance in hydrothermal sulfide veins crossing older greisen bodies (deposit Gottesberg), in copper-enriched sulfides of probably black-smoker-like origin (deposit Kraslice-Klingenthal), connected with arsenopyrite (deposit Hohenstein-Ernstthal), in different sulfides crossing tin-tungsten skarn deposits (deposit region Pöhla-Hämmerlein-Tellerhäuser in the western ore mountains), in pyrrhotite-pentlandite ores of liquid-magmatic origin at the base of basic intrusions in the Lusatian area, and still some more.

Weathering of these ores releases their precious metal contents, and therefore fluvial sediments both in the immediate vicinity of primary mineralizations and in the northern foreland of the Saxon mountains should contain gold and PGM as constituents. Appropriate data is irregularly distributed, hardly comparable, lacks a systematic work and method description, and therefore is not qualified for a comprehensive study. This especially applies to the extensive sand and gravel deposits in the northern part of Saxony. Scientific and economic considerations

supposed the decision to perform a first systematic study of the distribution of gold (and minor PGM) in these sediments.

In cooperation between the State Geological Survey of Saxony (included as department of Geology in the Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology) and the Mining University of Freiberg 26 active deposits of gravel and sand were investigated. At every locality one sample was taken of unaltered gravel and sand (normally 5 buckets of each 10 liters) and a different number of further samples in different parts of the processing plants, where already a certain enrichment of heavy minerals could be expected. The heavy mineral fraction was enriched using a sluice covered with honeycomb rubber mats, followed by magnetic and heavy liquid (density 3,3 g/cm³) separation. In the last step the gold particles were picked up manually under a microscope. For details of the process see Gutzmer et al. (2013). Gold contents of low-grade samples have been estimated using the geometrical features (determined by the free software ImageJ) of the particles.

Gold was found in 25 of the 26 investigated deposits in very different concentrations, covering a range between <1 and ca. 10 mg/t (ppb). Samples from the northwestern part of Saxony show a little enrichment in gold (tab. 1).

Table 1

Investigated localities in northwestern Saxony with information about origin, number of gold particles found and calculated gold contents

| Locality | Genesis | Number of gold particles | Gold content (ppb) | | |
|----------|---|--------------------------|--------------------|----------|------|
| E4 | fluvial | 110 | 4,90 | | |
| E5 | fluvial | 15 | 1,13 | | |
| M1 | fluvial | 347 | 10,08 | | |
| M2 | fluvial | 5 | 1,08 | | |
| M3o | fluvial | 0 | 0,00 | | |
| M3u | fluvial | 16 | 6,65 | | |
| M6 | fluvial | 1 | 0,01 | | |
| M9 | fluvial | 5 | 0,30 | | |
| WE1 | fluvial | 1 | 0,14 | average: | 2,70 |
| GF7 | glaciofluvial | 5 | 0,34 | | |
| M8 | glaciofluvial | 0 | 0,00 | | |
| GF10/M7 | glaciofluvial/locally fluvial underlain | 7 | 0,53 | | |
| GF11 | glaciofluvial/locally fluvial underlain | 3 | 0,06 | average: | 0,23 |

This enrichment can be explained by the sediments of the Mulde river, which transported sediments from the western ore mountains and the Vogtland area, where few small gold mineralizations are known since the middle ages.

The size distribution of gold particles from this area is characterized by a maximum between 100 and 200 μm with a medium thickness of about 20 μm . It seems surprising that gold particles, which have been transported a long way by Scandinavian glaciers to Saxony, have nearly the same size distribution as particles in fluvial sediments, which have been transported mostly only a few tenths of kilometers from the mountains in the southern part of Saxony (the influence of gold particles from the Elbe river – which originate probably from more distant primary sources can be neglected).

Investigated gold particles show a typical distribution of the main element chemistry: relatively silver-rich cores (max. 15 % Ag) are surrounded by gold-rich rims as a consequence of dissolution of the original silver content. Other observed elements (Te, Fe, Hg, Cu) sometimes showed slightly elevated (up to about 1 %) contents but altogether no striking features.

The gold particles occasionally are intergrown with other minerals: mostly silicates, like for instance quartz and clay minerals. But also more exotic specimens, like U-Pb or Bi-Te minerals, can be found. Investigation of gold particles under SEM (Scattered electron microscopy) does not always indicate, whether the other minerals observed at the surface of the particles are a part of inclusions or only a result of mechanical aggregation. In cases where instable minerals, e.g. sulfides, have been identified within or at the surface of gold particles, an origin for these minerals from primary inclusions can be assumed, giving indicators about the genesis of these gold particles.

An old question is under which conditions gold is able to grow or to become dissolved in sedimentary environments. Few hints within the present study have been found regarding this problem. A very filigree grain from the Liebersee deposit (hosted by sediments of the Elbe river) was discovered, composed of numerous smaller individuals. It seems very unlikely, that such a grain could survive a fluvial transport without serious damage. Therefore, it is probably an example of natural in-situ growth of gold in a quaternary fluvial sediment. The opposite case was discovered in a small stream in the Vogtland area in southwestern Saxony where triangular pits in a rounded gold particle have been found, which can be explained by chemical dissolution of gold.

PGM mineralization in Saxony still seems to occur in magnitudes lower than of gold. Reliable reports derive especially from nickel-copper mineralizations in the Lusatian area, which are developed as liquid-magmatic segregations at the base of dyke-like basic intrusions. Sandmann & Gutzmer (2014) published a study with the results of a detailed search for PGMs in

these rocks. They found different PGM minerals, mostly with a diameter smaller than 10 micrometers. The whole-rock contents are in the magnitude of some tenths of ppb. Krestin (1986) compared these mineralizations with Siberian Norilsk-type deposits and described a lot of similarities.

Concluding it is not surprising that PGMs are also found in sediments originating at least partially from areas with primary mineralizations. PGMs form mostly partially magnetic silver spherules with clearly higher density than the much more common so-called “metallic globules”, which are mostly of anthropogenic origin. Semi-quantitative investigations of a few particles identified four different types of PGMs consisting of platinum, palladium, osmium and iridium (tab. 2).

Table 2

Element contents (ppm) of PGM-bearing minerals in sediments of northwestern Saxony, determined by SEM-EDS

| | M9 | E5_1 | E5_2 | E5_3 | E5_4 | GF10/M7_1 | GF10/M7_2 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| Fe | 8,1 | | | | | 4,8 | 4,5 |
| Pt | 91,9 | | | 54,9 | 62,6 | 10,6 | 11,4 |
| Pd | | | | | | 84,5 | 84,1 |
| Os | | 61,7 | 63,2 | | | | |
| Ir | | 32,1 | 36,8 | | | | |
| As | | | | 45,1 | 37,4 | | |
| Al | | 1,0 | | | | | |
| Mg | | 1,9 | | | | | |
| Ca | | 3,4 | | | | | |
| Σ | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

The particle sizes (between 50-100 µm) are clearly bigger than reported by Sandmann & Gutzmer (2014), which can be interpreted as a consequence of the preparation methods applied during the gravel-sand study.

Regarding economic aspects it is in principle possible to extract gold (and PGMs) from sediments even with such low element contents as found in this study. Modern methods include for example gravity separation, shaking tables, flotation cells and so on. The primary aspect for decision of the method are economic considerations of such technology chains: especially a gravity concentrator may become an expensive tool (both initial & operational costs), if processing greater amounts of sediment. Old methods like heavy mineral enrichment by using sluices with carpets or mats mostly have a high need of manual and therefore cost-expensive work. Necessary steps towards a financially lucrative method include 1.) the search for the best place within the process chain of a gravel plant and 2.) a mostly automatic technology.

A pilot facility in a southwestern German gravel plant with primary gold contents of about 3 ppb in the gravel- and sand sediments meets these requirements by the applying following steps (Schlecht et al., 2014):

- continued sieving
- steady capture of the dewatering fluid of the dried 0/2-fraction enriched with gold
- batch-wise (automatic regulated) redirection of this fluid to a primary sluice with gold-catching carpets
- batch-wise (automatic regulated) washing of this carpet and storage of the heavy mineral concentrate in a discharge hopper
- batch-wise (automatic regulated) discharge of the hopper and further concentration of gold in a second sluice covered with honeycomb mats
- batch-wise (automatic regulated) extraction of gold from this mat and storage of the heavy mineral concentrate in a bucket
- semi-automatic final concentration of the highly gold-enriched (x % Au) concentrate to a concentrate with about 20-30 wt.-% Au

To perform such a technology, investments in the range of about 50.000 € are necessary. The operational costs are comparable low, in the range of some hundred to a few thousand Euros per year.

Concluding, the low contents of gold and PGM in Germany are not only a thing of scientific, but also of economic interest. Both areas will benefit from further investigation.

REFERENCES

1. Gutzmer, J., Richter, L., Hennig, S., Petermann, T. & Lehmann, U. (2013): Gold in sächsischen Kies- und Sandlagerstätten.- Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Heft 12/2013, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13365>
2. Krestin, E.M. (1986): Classification of copper-nickel deposits and examples in Central Europe.- Freiburger Forschungshefte; Reihe C; Geologische, geochemische und mineralogische Probleme der Erkundung mineralischer Rohstoffe: Vorträge zum Berg- und Hüttenmännischen Tag 1986 in Freiberg - Kolloquium 2, p. 78-92
3. Lehmann, U. & Hagenguth, G. (2012): Einige Aspekte der Nebengewinnung von Seifengold in deutschen Kiessandlagerstätten.- Abstract zur Tagung Aufbereitung und Recycling 07.-08.11.2012, Veranstalter: Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e. V. Freiberg & Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, <http://www.uvr-fia.de/download/kurzfassungen/kurzfassung12.pdf>

4. Sandmann, D. & Gutzmer, J. (2015): Nature and distribution of PGE mineralisation in gabbroic rocks of the Lusatian Block, Saxony, Germany.- Z. Dt. Ges. Geowiss. (German J. Geol.), 166 (1), p. 35–53, 5 figs., 9 tables

5. Schlecht, H., Lehmann, C., Lehmann, U. & Hagenguth, G. (2014): Verfahren zur Nebengewinnung von Mineralen hoher Dichte ($>3\text{g/cm}^3$) - nachfolgend Schwerminerale genannt -, insbesondere von Seifengold aus im Rohkies enthaltenen Sanden und Schluffen und Anlage.- Patent DE102012021317 A1,
<http://www.google.com/patents/DE102012021317A1?cl=de>

**ПЛАТИНОИДЫ, ЗОЛОТО И СЕРЕБРО В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КОР
ВЫВЕТРИВАНИЯ НА ОФИОЛИТОВЫХ МАССИВАХ С ДУНИТ-
ГАРЦБУРГИТОВЫМ ТИПОМ СУБСТРАТА, УРАЛ**

Н.И. Воронцова, И.В. Таловина

Санкт-Петербургский Горный университет

АННОТАЦИЯ

Большая часть месторождений никеленосных кор выветривания образуется на офиолитовых массивах с дунит-гарцбургитовым типом субстрата. Изучены платиноносность горных пород и руд Буруктальского месторождения, месторождений Уфалейской и Серовской групп. В их химическом составе палладий и платина являются доминирующими. Минеральные фазы металлов платиновой группы, золота и серебра присутствуют в виде микрофаз и представлены, главным образом, самородными, химически чистыми соединениями ряда Pt-Pd, т.е. по-видимому, новообразованиями. Золото присутствует в виде высокопробных фаз обычно с примесью серебра, реже с Ni, Co, Fe. Серебро установлено на Буруктальском месторождении в форме соединения йодистого серебра Ag_3I .

Ключевые слова: платиноиды; платина; палладий; золото; серебро; благородные металлы; коры выветривания; месторождения никеля; Уральская никелевая провинция; офиолитовые массивы.

**PLATINUM GROUP METALS, GOLD AND SILVER IN THE DEPOSIT OF
WEATHERING CRUSTS ON OPHIOLITE ARRAYS DUNITE-HARZBURGITE TYPE
SUBSTRATE, URAL**

N.I. Vorontsova, I.V. Talovina

St-Petersburg Mining university

ABSTRACT

Most of the deposits of nickel weathering crusts was formed on ophiolite massifs with a dunite-harzburgite type of substrate. Was Studied platinum potential of rocks and ores Buruktal deposits, deposits Ufaley and Serov groups. In The chemical composition of these rocks the palladium and the platinum are dominant. The mineral phases of platinum group metals, gold and silver are present in the form of microphases and performance, mainly native forms,

chemically pure compounds a number of Pt-Pd, apparently neoplasms. Gold is present in the form of high-grade phase usually with silver, seldom with Ni, Co, Fe.

Keywords: platinum group metals, platinum, palladium, gold, silver, precious metals, weathering crust, nickel deposit, Ural nickel province, ophiolite massifs.

Первая информация об обогащенности руд никелевых месторождений платиновыми металлами, по-видимому, была получена советскими геологами и металлургами (Тихомиров И.Н., Жидков А.Я., Доброхотов Г.Н.) при исследовании содержания этих элементов в продуктах переработки никелевых руд Кубы на заводах Моа и Никаро. В дальнейшем В.Г. Лазаренковым и его учениками на предмет платиноносности были изучены практически все месторождения никеленосных кор выветривания Урала.

Подавляющее большинство гипергеных никелевых месторождений мира образуются на офиолитовых массивах с дунит-гарцбургитовым типом субстрата, которые представлены на Урале Буруктальским месторождением, месторождениями Уфалейской и Серовской групп.

Общая картина содержания и распределения ЭПГ, золота и серебра в разных типах руд Буруктальского месторождения представлена в таблице 1.

Таблица 1

Содержание элементов платиновой группы, золота и серебра в никелевых рудах Буруктальского месторождения, г/т

| Природный тип руды | Ru | Rh | Pd | Os | Ir | Pt | Σ ЭПГ | $\frac{Os + Ir + Ru}{Pt + Pd}$ | Pt/Pd | Au | Ag |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------------------------|-------|-------|-------------|
| Кварц-гётитовая | 0,033 | 0,005 | 0,033 | 0,014 | 0,014 | 0,031 | 0,130 | 0,88 | 0,93 | 0,064 | 0,060-0,071 |
| Оксидно-марганцевая | 0,060 | 0,005 | 0,037 | 0,014 | 0,018 | 0,037 | 0,170 | 1,16 | 1,00 | 0,088 | 0,100 |
| Нонтронитовая | 0,002 | 0,003 | 0,029 | 0,010 | 0,020 | 0,031 | 0,095 | 0,51 | 1,07 | 0,020 | 0,060 |
| Лизардитовая | 0,026 | 0,004 | 0,023 | 0,013 | - | 0,016 | 0,082 | 0,91 | 0,69 | 0,036 | - |

Примечание: АО «Механобр-Аналит» пробирно(Рb)-химико-спектральным методом, аналитик Л.А. Ушинская

Геохимическая специализация платинометального оруденения определяется здесь палладием и платиной и соответствует схеме (Ru > Pd > Pt > Ir > Os > Rh). Все ЭПГ в оксидно-железных рудах содержатся в больших количествах, чем в серпентинитовых.

Более всего эта разница отмечается, по-видимому, для золота и платины, в меньшей степени – для палладия и рутения, в наименьшей – для родия и осмия.

Платинометальность никелевых руд Уфалейского месторождения изучалась Н.И. Воронцовой (1999), картина содержания и распределения элементов платиновой группы и золота в никелевых рудах Уфалейского месторождения представлена в табл. 2.

Таблица 2

Содержание элементов платиновой группы в никелевых рудах Уфалейского месторождения, г/т

| № | Типы руд | Pt | Pd | Rh | Os | Ir | Ru | Au | Σ ЭПГ |
|---|-----------------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 1 | Оксидно-железные | 0,030 | <0,020 | - | - | - | | <0,020 | >0,030 |
| 2 | Пекораит-кварцевые | <0,020 | <0,020 | - | - | - | | <0,020 | <0,020 |
| 3 | Охристо-нонтронитовые | 0,050 | <0,020 | - | - | - | | <0,020 | >0,050 |
| 4 | Серпентинитовые | 0,014 | 0,016 | <0,020 | 0,006 | <0,010 | 0,004 | 0,170 | >0,040 |

Примечание: Анализы 1, 2, 3 выполнены в лаборатории АО «Механобр-Аналит», аналитик Л.А. Ушинская, анализ 4 – в лаборатории ИГГ УрО РАН, аналитик И.И. Неустроева, пробирно-химико-спектральным методом, «-» - элемент не определялся.

Как видно из таблицы 2, содержание ЭПГ и золота в рудах Уфалейского месторождения колеблется в пределах 0,020-0,050 г/т, с преобладанием суммы Pt+Pd над суммой редких платиноидов. Наименьшее количество ЭПГ и Au наблюдается в пекораит-кварцевых рудах Уфалейского месторождения. Серпентинитовые руды, слагающие основную часть товарной руды Уфалейского месторождения, содержат около 0,016 г/т палладия и 0,014 г/т платины при низких концентрациях других ЭПГ, но при относительно высоком содержании золота (сумма ЭПГ и золота составляет 0,2 г/т). Оксидно-железные руды незначительно богаче палладием (0,02 г/т) и платиной (около 0,03 г/т), чем серпентинитовые руды. Кроме того, для ЭПГ в уфалейских рудах характерна некоторая полярность распределения – накопление палладия и платины и рассеяние редких платиноидов, что отличает уфалейские руды от буруктальских, где редкие платиноиды, особенно рутений, осмий и иридий, накапливаются наряду с платиной и палладием.

Данные о содержании платиновых металлов в рудах Еловского месторождения Серовской группы были опубликованы Ю.А. Волченко и др. (1997) (таблица 3).

Таблица 3

Содержание ЭПГ и Au в никелевых рудах Еловского месторождения, г/т

| № | Название руды | Ru | Rh | Pd | Os | Ir | Pt | Σ ЭПГ | Au | Ag |
|---|-----------------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|------|
| 1 | Железистые глины | - | 0,000 | 0,35 | - | - | 0,025 | 0,375 | 0,98 | - |
| 2 | Железистые охры | - | 0,000 | 0,11 | - | - | , | 0,150 | 0,92 | - |
| 3 | Железные охры | 0,004 | <0,002 | 0,019 | 0,007 | <0,01 | 0,015 | 0,045 | 0,06 | - |
| 4 | Непуитовые руды | - | 0,000 | 0,110 | - | - | 0,078 | 0,188 | 0,83 | - |
| 5 | Серпентинит нонтро-нитизированный | - | 0,02 | 0,110 | - | - | 0,09 | 0,220 | 0,045 | - |
| 6 | Серпентинит выщелоченный | - | 0,02 | 0,25 | - | - | 0,08 | 0,350 | 0,095 | - |
| 7 | Шамозитовая руда | - | <0,010 | <0,020 | - | - | <0,050 | <0,100 | <0,020 | - |
| 8 | Шамозитовая руда | - | <0,010 | 0,020 | - | - | <0,050 | <0,100 | 0,03 | - |
| 9 | Шамозитовая руда | - | - | 0,055 | - | - | 0,040 | 0,095 | 0,025 | 0,25 |

Примечание: 1, 2, 4, 5, 6 - Петрова, Лазаренков, 1999; 3 - Волченко, 1997; 7, 8 - данные «Механобр-Аналит» (аналитик Л.А.Ушинская); 9 - данные института «Гипроникель»

Из таблицы 3 следует, что содержание суммы Pd+Pt+Au в шамозитовых рудах Еловского месторождения, составляет около 0,1 г/т с некоторым преобладанием палладия над платиной. Заслуживает внимание повышенное количество серебра, которое составляет 0,25 г/т. Преобладающим платиноидом в серпентинитах и железных охрах Еловского месторождения является палладий. Сумма редких платиноидов в железных охрах Еловского месторождения, по-видимому, заметно уступает сумме Pt+Pd с величиной $Pt+Pd/Ru+Os+Ir$ равной 3, что характерно, и для Буруктальского месторождения. Содержание суммы ЭПГ в непуитовых рудах Еловского месторождения составляет около 0,2 г/т, соответствуя нижнему уровню концентрации ЭПГ в нонтро-нитизированных серпентинитах.

Образец железистых осадочных пород Еловского месторождения, представленный железистыми глинами, обнаруживает максимальные концентрации ЭПГ (около 0,4 г/т), за счет повышенного количества Pd (0,35 г/т).

Приведенные нами данные о содержании ЭПГ в рудах Еловского месторождения, являются фрагментарными. Вместе с тем из них следует, что сумма элементов платиновой группы, золота и серебра в рудах Еловского месторождения колеблется от 0,1 до 0,4 г/т, что примерно соответствует концентрации этих элементов и рудах Буруктальского месторождения. При этом сумма Pt+Pd в железных охрах Еловского месторождения

значительно преобладает над суммой Ru+Os+Ir, а в сумме Pt+Pd доминирующим платиноидом является палладий.

Минералы благородных металлов, представленные самородной платиной, палладием, золотом и серебром впервые были обнаружены нами в рудах Буруктальского, Уфалейского и Еловского месторождений в виде новообразований микронных размеров (микро- и нанофаз) – от долей до 120 мкм.

В тяжелых концентратах руд хризотилowych серпентинитов и обохренных карстовых брекчий хризотилового состава Уфалейского месторождения нами были впервые обнаружены зерна платиновых металлов, имеющие размеры до 100-150 мкм. Из них 10 зерен были изучены в АО «Механобр-Аналит» на установке электронно-зондового микроанализа «CameScan-4». Кроме платиноидов были также обнаружены 30 зерен золота (размером от 20 до 170 мкм), 20 зерен меди (размером до 1 мм).

Таблица 4

Состав минералов платиновой группы в никелевых рудах
Уфалейского месторождения, масс.%

| № | Размер, мкм | Pt | Pd | Cu | Сумма |
|---|-------------|-------|-------|------|-------|
| 1 | 120 | 100 | - | - | 100 |
| 2 | 50 | 63,01 | 33,69 | 0,17 | 96,88 |
| 3 | 50 | - | 98,64 | 1,17 | 100 |

Примечание: 1 - анализ выполнен на электронном микроанализаторе JXA 8600S, лаборатория СПГУ, аналитик Гайдамако И.М. 2, 3 – анализ выполнен в АО «Механобр-Аналит» на установке электронно-зондового микроанализа «CameScan-4», аналитик Ю.Л. Крецер

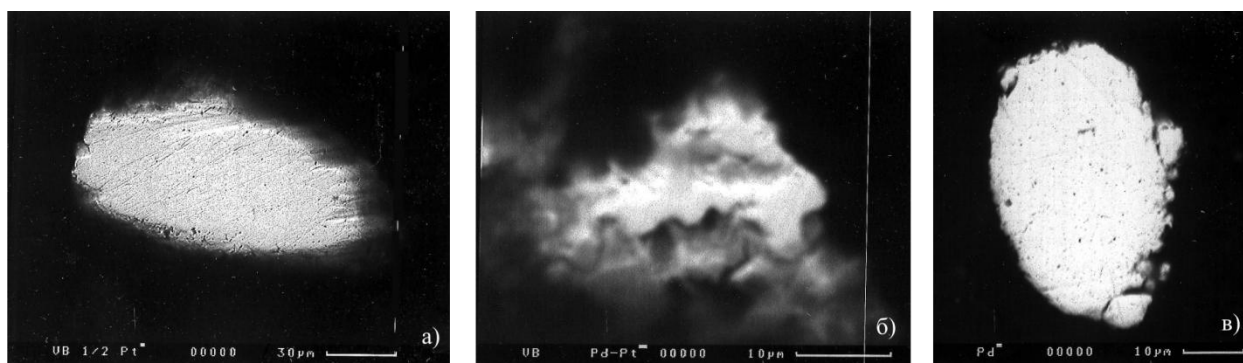


Рис. 1. Зерна минералов платиновых металлов Уфалейского месторождения. а - самородная платина Pt₁₀₀; б - палладистая платина Pt_{63.012}Pd_{33.695}Cu_{0.174}; в - медистый палладий Pd_{98.635}Cu_{1.168}. РЭМ CAMSCAN-4DV, лаборатория ЗАО «Механобр-аналит», аналитик Ю.Л. Крецер.

Под биноклем зерна платиноидов размером в доли миллиметра имеют стально-серый цвет, металлический блеск и изометричные округлые очертания с вогнуто-выгнутой гладкой полированной поверхностью. В таблице 4 приведены результаты

микронзондовых определений состава и размеров зерен платиноидов, представленных самородной платиной, платино-палладиевым соединением с незначительной примесью меди и медистым палладием (рис. 1).

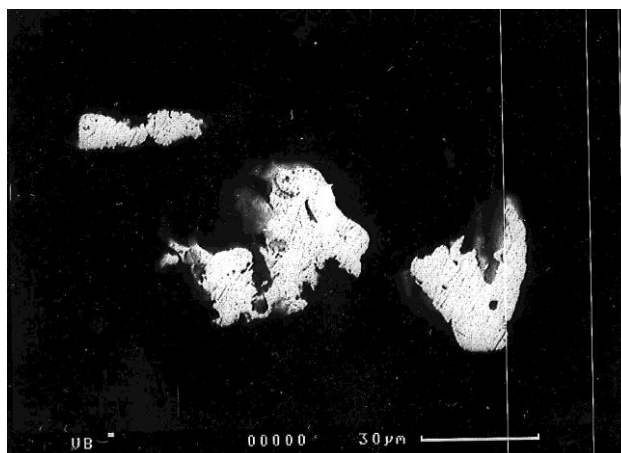


Рис. 2. Зерна самородного золота Уфалейского месторождения. РЭМ CAMSCAN-4DV, лаборатория ЗАО «Механобр-аналит», аналитик Ю.Л. Крецер.

Зерно самородной платины Pt_{100} обладает изометрической немного удлиненной формой, поверхность неровная, состав однородный, из примесей установлена лишь медь. Зерно палладистой платины $Pt_{63.01}Pd_{33.69}Cu_{0.17}$ с небольшой примесью меди имеет пористое и однородное внутреннее строение. Зерно медистого палладия $Pd_{98.64}Cu_{1.17}$ размером 50 мкм имеет изометричную, слегка удлиненную форму. Самородная платина обычно содержит примеси палладия, а самородный палладий – примеси платины.

Из окисдно-железных, нонтронитовых и серпентинитовых руд Буруктальского месторождения нами был получен концентрат тяжелых металлов в котором были обнаружены частицы золота и серебра, а вот платиноиды обнаружены не были. Очевидно, тонкодисперсная форма присутствия платиноидов в офиолитовых гарцбургитах Буруктальского массива, не позволяет выделить их в концентрат, они теряются при промывке проб или в процессе ручной доводки концентрата до супертяжелой фракции.

В непуит-лизардитовых породах Еловского месторождения в лаборатории Фрайбергской горной академии методом сканирующей электронной микроскопии нами было обнаружено лишь одно мельчайшее зерно платины, размером около 5 мкм.

Кроме металлов платиновой группы в рудах изученных месторождений были обнаружены также и самородное золото и серебро.

Самородное золото в полученном нами концентрате из руд Уфалейского месторождения заметно преобладает над другими самородными фазами. Морфология золота чрезвычайно разнообразна, тем не менее, наиболее распространенными являются

неправильные, крючковатые, слегка уплощенные в одной плоскости или удлиненные частицы (рис. 2). Размеры зерен колеблются от 0,01 до 0,17 мм, а наибольшим распространением обладают зерна размером от 20 до 40 мкм. Пробность золота - в среднем 948, с примесью серебра, в единичных случаях небольшого количества меди, никеля, кобальта. Содержание серебра в золотинах колеблется от 2,94 до 9,4 %. Внутреннее строение золота практически однородное, существенного изменения состава золота от центра к краю зерна не наблюдается. В одном из золотых зерен было обнаружено каплевидное включение законсервированного зерна пентландита состава $Ni_{50.24}Co_{1.83}S_{36.96}$.

Самородное золото Буруктальского месторождения представлено зернами медно-желтого цвета размером до 100-150 мк. Наиболее распространенными являются неправильные, крючковатые, слегка уплощенные в одной плоскости или проволочковидные формы. Золото Буруктальского месторождения представлено серебряной, иногда железо-серебряной разновидностью. Сrostки золота с хромшпинелидом и магнетитом можно принять за первичное для ультрамафитов золото. В нем содержится несколько больше серебра (12-26 вес.%), чем в других частицах (2-6 вес.%) и присутствует примесь железа. Частицы высокопробного золота с небольшим содержанием серебра, возможно, принадлежат вторичному золоту, очистившемуся от серебра и железа. Их размер – до 50 мкм – несколько превышает размер частиц первичного золота (1,5 – 20,0 мкм). Помимо самородного золота в хромшпинелидовом концентрате было обнаружено несколько зерен самородного серебра. **Серебро** Буруктальского месторождения, помимо самородной формы, представлено йодистым серебром с примесью серы, железа, кремния и алюминия.

Данных о коренной благороднометальной минерализации в ультрамафитах Буруктальского, Уфалейского и Серовского массивов в настоящее время не имеется, но некоторое представление о ней мы можем составить на основании работ по родственным Кемпирсайскому, Халиловскому и Нуралинскому массивам, причем среди них Кемпирсайский и Нуралинский массивы являются близкими соседями Уфалейского массива. В целом, сопоставление списков парагенетических ассоциаций минералов платиновой группы в гипергенных никелевых рудах и первичных ультрамафитах Урала показывает их полное несоответствие. Если в коренных породах преобладающими являются минералы редких платиноидов (Os, Ir, Ru), в частности сульфиды, то в никелевых рудах – это самородные соединения палладия и платины. Очевидно, что в рудах Буруктальского, Уфалейского и Еловского месторождений мы имеем дело, главным образом, с новообразованными минералами платиновых металлов, золота и серебра.

Видимо происходит как бы нивелирование первичного минерального разнообразия МПГ и Au с появлением в никелевых рудах нового гипергенного минерального парагенезиса.

Итак,

- впервые в рудах Уральской никелевой провинции были обнаружены минеральные фазы металлов платиновой группы, золота и серебра. Они представлены самородной платиной Pt₁₀₀, палладистой платиной, самородным палладием с примесью Cu, Bi, Sb и Sn, т.е. самородными, относительно химически чистыми соединениями ряда Pt-Pd. Золото присутствует в виде высокопробной фазы обычно с примесью серебра (около 5%), иногда – Ni, Co, Fe. Серебро установлено на Буруктаальском месторождении в форме соединения йодистого серебра Ag₃I.

- платиноиды, золото и серебро в уральских никелевых месторождениях присутствуют в виде микро- и криптофаз размером от долей мкм до сотен.

- минералы платиновой группы и золото в коре выветривания на ультрамафитах офиолитовых массивов представлены, главным образом, самородными соединениями, т.е. новообразованиями.

- в химическом составе гипергенных месторождений палладий и платина являются доминирующими платиноидами. Pt/Pd отношения варьируют около единицы для разных месторождений и в разных типах никелевых руд Уральской провинции и, по-видимому, сказываются преобладании и количественных соотношениях минеральных фаз самородных платины и палладия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платиноиды и золото в никеленосных корах выветривания Урала./ Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Неустроева И.Н., Любимцева Ю.П. Екатеринбург. 1997. УрОРАН, 1998, с. 187-190.
2. Воронцова Н.И. Петрология, геохимия и платиноносность никелевых руд Уфалейского месторождения, Урал. Автореферат дисс. кан-да геолого-минералогических наук. СПб: Изд-во СПГГИ (ТУ), 1999. 19 с.
3. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. / Золоев К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А., Малахов И.А., Мардиросян А.Н., Хрыпов В.Н. Екатеринбург, 2001, 199 с.
4. Петрова И.В. Содержание элементов платиновой группы и золота в кобальт-никелевых рудах Серовского месторождения, Северный Урал. / Петрова И.В., Лазаренков В.Г. //Мат. Урал. летней минер. школы. 1999, Екатеринбург, Изд. УГГГА, с. 192-193.

5. Таловина И.В. Платиноиды и золото в оксидно-силикатных никелевых рудах Буруктальского и Уфалейского месторождений, Урал./Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Воронцова Н.И.// Литология и полез. ископаемые. 2003, № 5. с. 474-487.

6. Platinum-Group Metals and Gold in Supergene Nickel Ores of The Moa and Nikaro (Cuba) / Lazarenkov V.G., Tikhomirov I.N., Zhidkov A.Ya., Talovina I.V. // Lithology and Mineral Resources, 2005, N 6, p. 521-527.

**ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ЗОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ
ВЫВЕТРИВАНИЯ СВЕТЛОБОРСКОГО И НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО МАССИВОВ,
СРЕДНИЙ УРАЛ**

А.М. Дурягина, И.В. Таловина

Санкт-Петербургский горный университет

АННОТАЦИЯ

В статье приводится анализ геохимических данных, полученных в результате исследования кор выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов Платиноносного пояса Урала на содержание элементов платиновой группы, золота и серебра в разных зонах профиля, определенных методом ICP-MS. Выявлено, что иридий-платиновая специализация коренных пород массивов сменяется на палладий-платиновую в развитых по ним покровных элювиальных отложениях с тенденцией к накоплению платины к верхним частям разреза, что свидетельствует о перераспределении благородных металлов в профиле выветривания.

Ключевые слова: Светлоборский массив; Нижнетагильский массив; кора выветривания; элементы платиновой группы (ЭПГ).

**PLATINUM SPECIALIZATION IN ZONAL WEATHERING PROFILE OF THE
SVETLOBORSKY AND NIZHNETAGILSKY MASSIFS, MIDDLE URALS**

A.M. Duryagina, I.V. Talovina

Saint-Petersburg Mining University

ABSTRACT

The article presents new geochemical data on weathering crusts of the Svetloborsky and the Nizhnetagilsky massifs of the Platinum belt of the Urals and analyzes distribution of platinum group elements, gold and silver in different zones of weathering profile, determined by the ICP-MS. It was revealed that iridium-platinum geochemical specialization of initial rocks of the massifs changes to palladium-platinum in covering eluvial soils with a tendency to accumulation of platinum in the upper parts of the cross-section that indicates redistribution of precious metals through the weathering profile.

Keywords: The Svetloborsky massif; the Nizhnetagilsky massif; weathering crust; platinum group elements.

В последнее время интерес геологов нацелен на поиски альтернативных источников платиновых металлов в пределах Платиноносного пояса Урала, освоенного промышленного региона, на фоне которого выделяются одни из крупнейших в мире россыпеобразующих Светлоборский и Нижнетагильский зональные массивы. Коры выветривания, развитые по ним, до сих пор подробному исследованию не подвергались, хотя на сегодняшний день в мировой практике известно множество примеров выявления промышленных концентраций элементов платиновой группы (ЭПГ) в гипергенных покровах на ультраосновных массивах. Обогащенными благородными металлами являются никелевые месторождения кор выветривания Кубы (Моа и Никаро), Новой Каледонии, Польши (Шкляры), России (Урал) [7,9].

Геологическое строение Светлоборского и Нижнетагильского массивов подробно описано во многих работах, включая классические труды Н.К. Высоцкого, А.Н. Заварицкого, А.Г. Бетехтина, И.А. Малахова, К.К. Золоева [1, 6] и другие. Коры выветривания в пределах массивов характеризуются сокращенным профилем. Их мощность в обнажениях не превышает 10 м. Преобладает серпентинитовая зона, сложенная плотными, лизардит-хризотилловыми серпентинитами с многочисленными серпентин-сапонит-магнезитовыми прожилками и лизардитовыми серпентинитами. Помимо серпентинитовой зоны, на Светлоборском массиве наблюдаются нонтронитовые глины. Оксидно-железная зона в профиле выветривания отсутствует и выражена только в ожелезнении верхних частей разреза и некотором обогащении их гидроокислами Fe и Mn [3].

Таблица 1

Содержание ЭПГ в корях выветривания Светлоборского и
Нижнетагильского массивов, мг/т

| Массив | № | n | Х.э. | Ru | Rh | Pd | Ir | Pt | ΣЭПГ | Pt/Pd | Au | Ag |
|------------------|---|----|------|-----|-----|------|-----|-------|--------|-------|------|------|
| Светлоборский | 1 | 3 | x | <2 | 2,7 | <2 | <2 | 64,8 | 74,7 | 4,10 | 3,0 | 11,7 |
| | | | s | | 1,5 | | | 52,2 | - | - | 2,5 | 11,5 |
| | 2 | 6 | x | 1,4 | 3,9 | 26,7 | 7,6 | 103,3 | 142,9 | 18,9 | 5,0 | 10,0 |
| | | | s | 0,7 | 3,1 | 32,9 | 6,1 | 120,4 | - | - | 3,3 | 8,7 |
| | 3 | 9 | x | <2 | 4,3 | 12,1 | 4,0 | 110,9 | 132,4 | 26,8 | 3,8 | 13,0 |
| | | | s | | 1,3 | 25,2 | 4,3 | 91,4 | - | - | 2,2 | 13,4 |
| Нижне-тагильский | 4 | 11 | x | <2 | 2,3 | 22,6 | 4,3 | 20,4 | 50,7 | 4,9 | 3,8 | 10,8 |
| | | | s | | 1,5 | 20,7 | 4,7 | 23,3 | - | - | 1,8 | 6,7 |
| | 5 | 6 | x | <2 | 2,4 | 26,9 | 4,3 | 16,2 | 50,9 | 0,7 | 2,8 | 14,3 |
| | | | s | | 1,9 | 32,0 | 4,4 | 24,1 | - | - | 1,2 | 8,0 |
| | 6 | 5 | x | 4,4 | <5 | 3,4 | <10 | 24,17 | >39,47 | 7,11 | н.о. | н.о. |

Примечание: 1, 4 – зона лизардит-хризотилловых серпентинитов; 2, 5 – зона лизардитовых серпентинитов; 3 – нонтронитовая зона; 6 – неизменные дуниты Нижнетагильского массива с глубины 403-453 м [1]. Лаборатория ВСЕГЕИ, ICP-MS, аналитик В.Л. Кудряшов. Порог

чувствительности 2 мг/т, для серебра 10 мг/т. n – число проб, \bar{x} – среднее, s – стандартное отклонение. «-» – элемент не определялся.

Основная платинометаллическая специализация дунит-клинопироксенитового субстрата массивов следующая: $Pt > (Ru > Os > Pd > Ir > Rh > Au)$, в хромититах Нижнетагильского массива платинометаллическая специфика меняется на Ir-Pt [1, 4, 5]. В коре выветривания Светлоборского массива она сохраняется преимущественно платиновой, а Нижнетагильского – меняется на палладий-платиновую (табл.1).

Содержания платины в общем профиле выветривания Светлоборского массива максимальны относительно остальных ЭПГ и варьируют от 3,9 мг/т в первичных дунитах до 69,0 мг/т в хризотиловых серпентинитах и 110,9 мг/т в нонтронититах, при этом максимальные содержания палладия фиксируются в хризотил-лизардитовых серпентинитах (26,7 мг/т). Наиболее отчетливо выявленные закономерности проявлены в профиле выветривания рудопроявления им. Н.К. Высоцкого Светлоборского массива, где по результатам опробования керн скважин содержания платины к верхним частям профиля выветривания увеличиваются уже до 167 мг/т при незначительных изменениях содержания палладия и золота. На Нижнетагильском массиве палладий увеличивает свои содержания от 3,4 мг/т в первичных дунитах до 26,9 мг/т в хризотил-лизардитовых разновидностях верхней зоны профиля выветривания. При общем увеличении содержания ЭПГ к верхним горизонтам профиля выветривания роль палладия в сумме ЭПГ возрастает, что закономерно выражается в уменьшении Pt/Pd отношения снизу вверх по профилю, преимущественно эта величина выше 1.

Аналогичные тенденции отмечались нами и другими исследователями в профиле выветривания более развитых кор. Так, в серпентинитовых рудах мощных мезозойских кор выветривания, развитых по ультрамафитам Урала (Уфалейский, Буруктальский, Еловский офиолитовые комплексы, Сахаринский зональный массив и т.д.), соотношение Pt/Pd обычно ниже 1, т.е. в них, за некоторым исключением, преобладает палладий. В окисно-железных рудах Уфалейского, Рокгемптонского (Австралия), Гринвейлского (Австралия) массивов величина Pt/Pd > 1, в рудах Буруктальского и Еловского массивов она меньше 1 [7-9]. Другими словами, по сравнению с мощными корами выветривания, развитыми по ультрамафитам Урала, Австралии, Кубы, процессы геохимической миграции элементов в профиле выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов, с их сокращенной мощностью, неполным профилем, проходили не в полной мере.

Минеральные фазы платиновых металлов в корях выветривания представлены тетраферроплатиной, железистой платиной, туламинитом, которые развиваются по изоферроплатине. В подчиненном количестве отмечаются сульфиды (лаурит, куперит и др.) и самородное золото. Максимальные содержания палладия в хризотил-лизардитовых серпентинитах изученных кор выветривания минералогически подтверждаются присутствием платино-палладиевых и палладиевых минеральных фаз.

В заключение еще раз отметим основные характеристики платинометалльной специфики кор выветривания Светлоборского и Нижнетагильского массивов. Во-первых, они характеризуются увеличением содержаний ЭПГ, Au и Ag вверх по профилю от серпентинитовой зоны к нонtronитовой. Во-вторых, их геохимическая специализация определяется Pd и Pt, тогда как в дунит-клинопироксенитовом субстрате первичных зональных массивов главными платиноидами является, в основном, Pt. Полученные данные свидетельствуют о перераспределении благородных металлов в корях выветривания массивов, что может быть использовано в поисково-геохимических целях. При обнаружении повышенных концентраций ЭПГ и золота в них, они могут, наряду с коренными породами, подвергшимися выветриванию, становиться дополнительным источником платиновых металлов при отработке первичных платиноносных дунитов этих массивов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волченко Ю.А., Иванов К.С., Коротеев В.А., Т. Оже. Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений уральского типа. Часть 1 // Литосфера. 2007. № 4. С. 73-101.
3. Дурягина А.М. Минералого-геохимические особенности платиноносных элювиальных образований Светлоборского и Нижнетагильского массивов, Средний Урал / автореф. дис ... канд.г. м.н.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – 20 с.
4. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 1997. 488 с.
5. Ланда Э.А. Лазаренков В.Г. Геохимические особенности Нижне-Тагильского зонального массива и вопросы его генезиса / Записки ВМО. Ч СХХVII, №4. 1990. С.38-50.
6. Платинометалльное оруденение в геологических комплексах Урала / К.К. Золоев, Ю.А. Волченко, В.А. Коротеев, И.А. Малахов и др. Екатеринбург: 2001. 199 с.

7. Таловина И.В. Геохимия Уральских оксидно-силикатных никелевых месторождений. – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2012, 270 с.

8. Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Воронцова Н.И. Платиноиды и золото в оксидно-силикатных никелевых рудах Буруктальского и Уфалейского месторождений, Урал. // Литология и полезные ископаемые. 2003, № 5. с. 474-487.

9. Augé T., Legendre O. Platinum-Group Elements Oxides from the Pirogues Ophiolitic Mineralization, New Caledonia: Origin and Significance. Econ.Geol .1994, v. 89. p.1454-1468.

**ПЕРВАЯ НАХОДКА САМОРОДНОЙ ПЛАТИНЫ НА ЕЛОВСКОМ
ГИПЕРГЕННОМ СИЛИКАТНО-НИКЕЛЕВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ
СЕРОВСКОГО РАЙОНА (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)**

Р.К. Сагдиева, И.В. Таловина

Санкт-Петербургский Горный университет

АННОТАЦИЯ

Впервые выявлена самородная платина в составе хлорит-серпентинизированных инфильтрационных прожилков в пределах рудной шамозитовой зоны Еловского гипергенного силикатно-никелевого месторождения в Серовском районе. Показано комплексное исследование представительного образца Сер-10-8-А, отобранного из рудной шамозитовой зоны изучаемого месторождения, методами рентгенофазового, термического и микрорентгеноспектрального анализов. Сделаны выводы о, вероятно, новообразованном, а не остаточном происхождении платины из коры выветривания.

Ключевые слова: самородная платина; никелевый хлорит; Еловское гипергенное силикатно-никелевое месторождение; Северный Урал.

**THE FIRST FINDING OF NATIVE PLATINUM IN THE ELOVSKOYE SUPERGENE
SILICATE-NICKEL DEPOSIT OF SEROV AREA
(THE NORTH URALS)**

R.K. Sagdieva, I.V. Talovina

St-Petersburg Mining University

ABSTRACT

It is revealed that platinum which as native form is in structure chlorite-serpentinized infiltration veins within ore chamosite zone of the Elovskoye supergene silicate-nickel deposit of the Serovsky area. The sample Ser-10-8-A from ore chamosite zone of the Elovskoye deposit was studied by the X-ray phase, thermal, and SEM analyses. Conclusions have been drawn about neogenic formation of platinum from weathering crust but not her residual formation.

Keywords: native platinum; nickel chlorite; the Elovskoye supergene silicate-nickel deposit; the North Urals.

Подавляющее большинство гипергенных никелевых месторождений Урала сформировались на крупных гарцбургитовых массивах Офиолитовых поясов Урала

(Серовское, Уфалейское, Кемпирсайское, Буруктальское и ряд других). В данной статье рассматривается Еловское месторождение, образовавшееся в результате преобразования ультрамафитов Кольского (Серовского) дунит-гарцбургитового массива. Изучаемое месторождение относится к числу осадочно-инфильтрационных образований [1].

Отличительной особенностью строения коры выветривания Еловского месторождения является то, что наряду с первичной остаточной на месторождении широко развита шамозитовая преобразованная кора (рис.1). Остаточная кора размыта и, как правило, залегает под преобразованной и имеет хорошо выраженную вертикальную зональность [2].

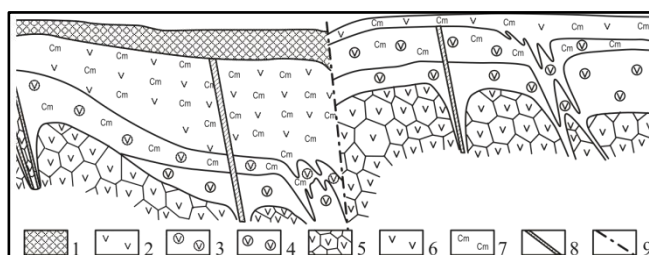


Рис. 1. Разрез коры выветривания Еловского месторождения [5]

1-осадочная бобово-конгломератовая железная руда (K_1), 2-охры, 3-нонтронитизированные и обохренные серпентиниты, 4-выщелоченные серпентиниты, 5-дезинтегрированные серпентиниты, 6-неизменённые серпентиниты, 7-шамозитизация, 8-жильная хлоритовая порода, 9-разрывные нарушения

Целью данной работы было нахождение минеральной формы элементов платиновой группы (ЭПГ) в хлорит-серпентинизированных прожилках в пределах рудной шамозитовой зоны. Ранее данные о нахождении платины в геохимической форме в рудах Еловского месторождения были опубликованы Ю.А. Волченко (1997), В.Г. Лазаренковым (1999), И.В. Таловиной [3]. Проведенное исследование представляет практический интерес в связи с большими запасами кобальт-никелевых руд и значительной перспективностью отработки группы Серовских месторождений (20-40 лет).

Для изучения образца Сер-10-8-А нами был проведен широкий комплекс лабораторных исследований. Химические анализы выполнялись в лаборатории Фрайбергской Горной Академии (Германия), аналитик д-р У. Кемпе (U. Kempe); термические – на установках фирмы NETZSCH: STA 429C в термической лаборатории СПГТИ (ТУ) и STA 429CD+QMS в ИХ РАН, аналитик В.Л. Уголков; рентгенофазовые – на рентгеновском порошковом дифрактометре Geiderflex-D/max (Rigaku) в лаборатории АО «Механобр-Аналит», аналитик М.А. Яговкина, микрорентгеноспектральные – на

растровом электронном микроскопе JEOL JSM 6400 в лаборатории прикладной физики Фрайбергской Горной Академии (Германия), аналитик д-р У. Кемпе (U. Kempe).

В ходе научных исследований было проанализировано несколько образцов из рудной шамозитовой зоны Еловского месторождения. В статье приводятся результаты анализов наиболее представительного образца Сер-10-8-А. В процессе работы определено, что главными породообразующими минералами являются никеленосный хлорит (предположительно клинохлор) и серпентин, принадлежащий изоморфному ряду лизардит-непуит или хризотил-пекораит [4,5].

В таблице 1 приведен химический состав серпентин-хлоритовых образований из рудной шамозитовой зоны Еловского месторождения по данным микрорентгеноспектрального анализа (масс.%). Химический состав хлорита: $\text{SiO}_2=35,185-36,06$; $\text{Al}_2\text{O}_3=18,859-19,062$; $\text{FeO}=13,819-14,913$; $\text{MgO}=29,896-31,058$; $\text{NiO}=1,147$. Данный хлорит, вероятно, является клинохлором (по данным IMA – International Mineralogical Association состав клинохлора: $\text{SiO}_2=30,28$; $\text{Al}_2\text{O}_3=17,13$; $\text{FeO}=15,09$; $\text{MgO}=25,39$; $\text{H}_2\text{O}=12,11$). И, соответственно, химический состав серпентина $\text{SiO}_2=46,187-46,520$; $\text{Al}_2\text{O}_3=0,874-1,239$; $\text{FeO}=1,778$; $\text{MgO}=38,506-41,466$; $\text{NiO}=8,998-14,466$. По данным IMA данный серпентин принадлежит изоморфному ряду лизардит-непуит или хризотил-пекораит.

Таблица 1

Химический состав серпентин-хлоритовых образований из рудной шамозитовой зоны Еловского месторождения по данным микрорентгеноспектрального анализа (масс.%)

| Оксиды | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------------|
| SiO_2 | 35,19 | 36,06 | 35,62 | 30,28 | 46,19 | 46,52 | 47,38 | 46,70 | 43,36 (31,6) |
| Al_2O_3 | 18,86 | 19,06 | 18,96 | 17,13 | 0,87 | 1,24 | 3,25 | 1,79 | - |
| MgO | 29,90 | 31,06 | 30,48 | 25,39 | 38,51 | 41,47 | 44,57 | 41,52 | 43,63 (-) |
| NiO | 1,15 | - | - | - | 14,43 | 9,00 | - | - | (58,92) |
| FeO | 14,91 | 13,82 | 14,37 | 15,09 | - | 1,78 | 4,80 | - | |
| Сумма | 100,00 | 100,00 | | | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | |

Примечание. 1-2 -хлорит в образце Сер-10-8-А; 3 -сред. зн. в хлорите; 4 -по данным IMA для клинохлора; 5-7 -серпентин в образце Сер-10-8-А; 8 -сред. зн. в серпентине; 9 -по данным IMA для хризотила, лизардита (для пекораита, непуита). Фрайбергская горная академия, аналитик У.Кемпе.

Далее приводятся результаты термического и рентгенофазового анализов клинохлора.

На рис.2 изображена термограмма никеленосного клинохлора. Из данного рисунка видно, что термогравитационная кривая ДТГ в интервале 0-1100 °С постепенно

понижается в связи с потерей веса – удалением сорбированной и гидроксильной воды. На кривой ДТГ в местах перегиба фиксируются четыре минимума, соответствующие потерям воды 155°C, 400°C, 782°C, 847°C. Первые два из них связаны с удалением влажности, третий – наиболее существенный - 782°C, скорее всего, связан с потерей гидроксильной конституционной воды, т.е. с разложением клинохлора. Дифференциально-термическая кривая ДСК клинохлора сопровождается эндо- и экзотермическими пиками. В эндотермических пиках: 69°C, 400°C (удаление влажности), 629°C (потеря гидроксильной конституционной воды), 688°C, 782°C, 847°C; в экзотермических: 155°C, 247°C, 816°C. Последний экзотермический пик является явным реликтом характерного хлоритового пика.

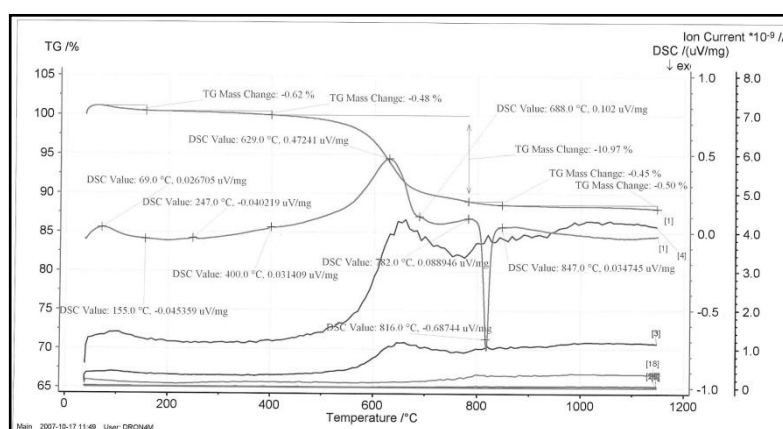


Рис.2. Результат комплексного термического анализа никеленосного клинохлора Еловского месторождения. Лаборатория СПГГИ, аналитик В.Л.Уголков.

Дифрактометрическая кривая никелевого клинохлора Еловского месторождения приведена на рис. 3. На дифрактограмме этот минерал хорошо фиксируется по двум характерным пикам: 7.10 Å, 14.2 Å. Видно, что данные рентгеноновского анализа никелевого клинохлора отвечают эталонным для клинохлора: 14.2 (90), 7.10 (100), 3.535 (90), 2.592 (50), 2.550 (60), 2.445 (50), 2.387 (40), 1.543 (60).

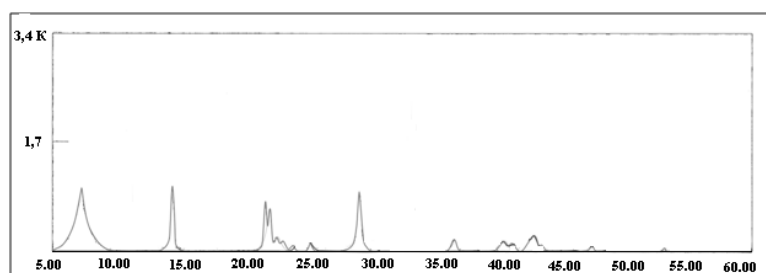


Рис.3. Дифрактограмма никеленосного клинохлора Еловского месторождения. Лаборатория «Механобр-Аналит», аналитик М.А.Яговкина

Элементы платиновой группы в хлорит-серпентинитовом образовании представлены главным образом самородной платиной. Они обнаружены в рудах этого месторождения в виде новообразований округлой неправильной формы микронных размеров (микрофаз и нанофаз). На рис. 4 представлены зерна самородной платины размером 2-3 мкм.

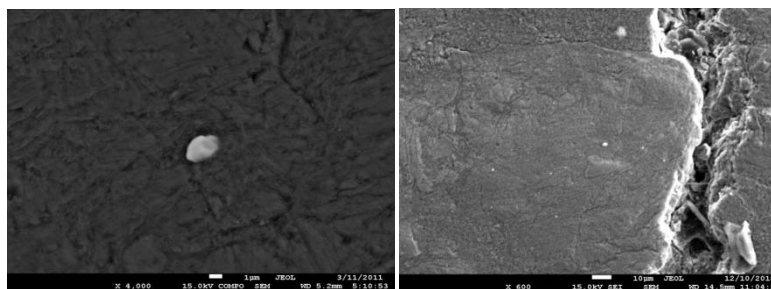


Рис.4. Слева: зерно самородной платины в никеленосном клинохлоре (увеличение 4 000), справа: зерна самородной платины (увеличение 600).

В ходе исследований точный химический состав зерна определить не удалось, но на рис. 5 по спектру микрорентгенспектрального анализа видно, что основным элементом новообразования является платина.

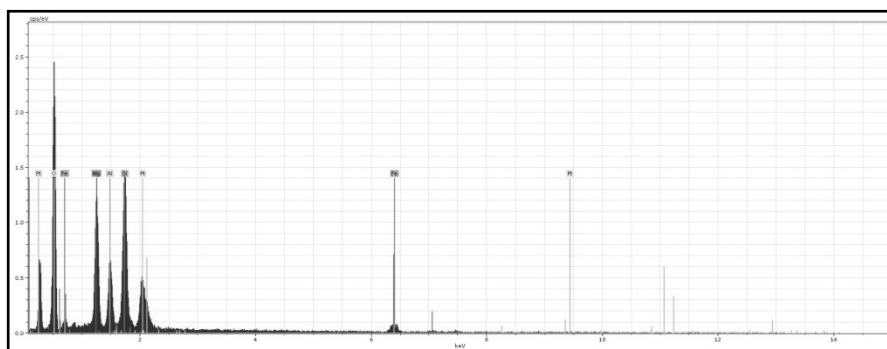


Рис.5. Химический состав зерна по данным микрорентгенспектрального анализа

В результате выполнения ряда анализов и интерпретации полученных данных были сделаны следующие выводы:

1. одной из форм присутствия платины в рудах Еловского месторождения является самородная форма;
2. платина содержится в хлорит-серпентинизированных инфильтрационных прожилках в виде редких отдельных зерен размером 2-3 мкм;
3. в определенных рудных горизонтах профиля коры выветривания Еловского месторождения возможно содержание значительного количества платины.

Очевидно, что на Еловском гипергенном силикатно-никелевом месторождении имеем дело с новообразованными зернами самородной платины, похожими на новообразования меди, описанные в работах А.Г. Бетехтина (1951) и М.И. Новгородовой (1995).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таловина И.В. Геохимия уральских оксидно-силикатных никелевых месторождений: моногр. СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2012. 270 с.
2. Лазаренков В.Г. Платиновые металлы в гипергенных месторождениях и перспективы их промышленного извлечения / В.Г. Лазаренков, И.В. Таловина, И.Н. Белоглазов, В.И. Володин. СПб.: Недра, 2006. – 188 с.
3. Бородина К.Г. Вторичная минерализация никеленосных кор выветривания и ее роль в локализации промышленных залежей никелевых руд // Минерагениязоны гипергенеза. М.: Наука, 1980. С. 101–118.
4. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 3. М.: Мир, 1966. 316 с.
5. Никеленосные коры выветривания Урала. М.: Наука, 1970. 285 с.

ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ РУЧЬЯ ПРИЖИМНЫЙ, КАМЧАТКА

А.В. Кутырев¹, Е.Г. Сидоров², А.В. Антонов³,

1 – Санкт-Петербургский горный университет,

2 – Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,

3 – Всероссийский геологический институт

АННОТАЦИЯ

Установлено, что самородные металлы платиновой группы россыпи ручья Прижимный представлены самородной платиной, содержащей примесь железа (не более 13%), меди (до 12%) и родия (до 2%). Включения в платине представлены самородным осмием (примесь иридия достигает 12%, средние значения – 0,2-4%), хромистым магнетитом и, реже, хромитом. Указанные параметры позволяют предположить, что коренным источником для платины ручья Прижимный могло послужить тело клинопироксенитов, входящее в состав массива Урало-Аляскинского типа.

Ключевые слова: платина; Камчатка; Корякия; Мачевна; Таманваям; клинопироксенит; дунит; осмий; россыпь; благородные металлы.

THE ASSOCIATION OF PLATINUM GROUP MINERALS IN PRIZHIMNY CREEK PLACER (KAMACHATKA, RUSSIA)

A.V. Kutyrev¹, E.G. Sidorov², A.V. Antonov³

1 – National University of Mineral Resources,

2 – Institute of Volcanology and Seismology,

3 – All the Russian state Geological Institute

ABSTRACT

Platinum group minerals of Prizhimny Creek placer are represented by native platinum with impurities of Fe (up to 13 at. %), Cu (up to 12 at. %) and rhodium. Inclusions in native platinum are represented by native osmium, (Ir impurity from 0,2 up to 12 at. %), Cr-rich magnetite (much more rare – by chromite). These features can be interpreted as an evidence of origin of current PGM association from the clinopyroxenite body that forms a part of massif of Ural-Alaskan type.

Keywords: platinum; Kamchatka; Koryakia; Machevna; Tamanvayam; clinopyroxenite; dunite; osmium; placer; noble metals.

Введение. За последние десятилетия рядом исследователей была проделана большая работа по изучению платиноносных интрузий дунит-клинопироксенит-габбровой формации Корякско-Камчатского региона. Были сделаны описания россыпной и коренной платинометалльной минерализации целого ряда концентрически-зональных массивов. Мачевнинский массив, с которым связана рассматриваемая в этой работе россыпь ручья Прижимный, является одним из наименее изученных потенциально платиноносных объектов региона. Малый интерес к этому массиву был вызван, в том числе тем, что дуниты, благодаря разрушению которых возможно формирование россыпной ассоциации МПГ, на территории массива обнаружены не были [1, 2]. Тем не менее, в золотой россыпи ручья Прижимный, расположенной в 10 км к западу от Мачевнинского массива, попутно с 850 кг золота было извлечено около 50 кг металлов платиновой группы. Изучение этой ассоциации МПГ позволит уточнить принадлежность Мачевнинского массива к тому или иному типу базит-гипербазитовых интрузивных массивов, а также сопоставить с наиболее полно изученными объектами Корякско-Камчатского региона и Урала.

Геологическое положение россыпи ручья Прижимный. Район, в котором расположена рассматриваемая россыпь, сложен толщами лав и пирокластических пород основного, среднего и, в меньшей степени, кислого состава ачайваямской свиты верхнего мела. Встречаются единичные штоки пикритов, один из которых расположен в непосредственной близости (менее 1 км) от места обнаружения платиновой минерализации. Эти образования прорываются несколькими массивами вывенского комплекса верхнего мела, самым крупным из которых является Мачевнинский массив габбро-пироксенитового состава. Ручей Прижимный протекает по выходам пород небольшого сателлита этого массива.

Отбор материала велся из надплотиковой части россыпи. Размер зёрен шлиховой платины ручья Прижимный составляет от 0,1 до 3 мм с преобладанием зёрен наиболее мелкой фракции. Зёрна обладают либо изометричной, либо несколько удлинённой формой. Они характеризуется высокой, так и низкой степенью окатанности, что не противоречит предположению об их связи с указанным выше сателлитом Мачевнинского массива.

Состав минералов платиновой группы. Все без исключения зёрна металлов платиновой группы, встреченные в россыпи ручья Прижимный представлены Pt-Fe-Cu сплавами, подробное описание которых приведено ниже. Другие минералы элементов платиновой группы встречены только в виде включений в этих сплавах. Помимо платины, в россыпи присутствует пирит, магнетит, клинопироксен (диопсид и авгит), хромшпинелид (редко) и золото (в промышленной концентрации).

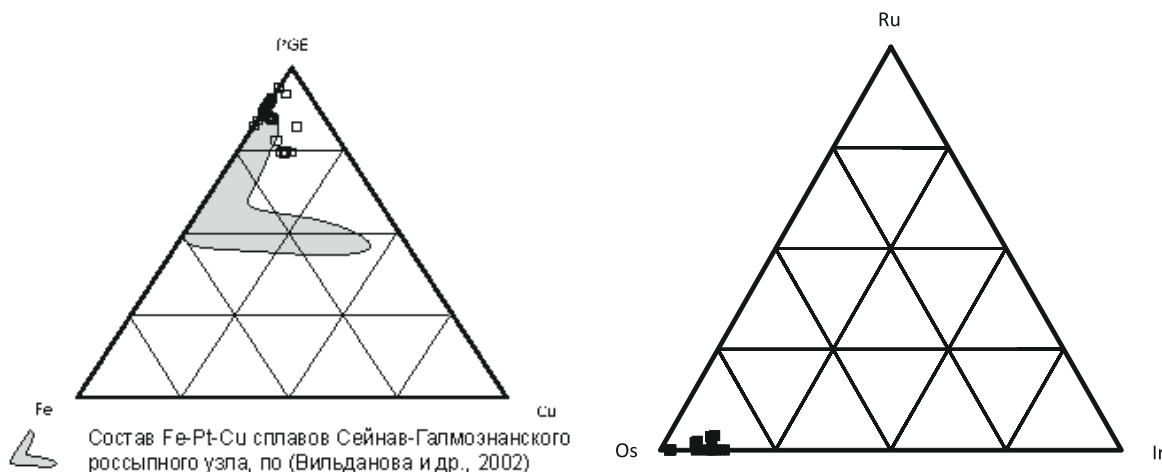


Рис. 3. Слева – тройная диаграмма составов Pt-Fe-Cu соединений россыпи ручья Прижимный; справа – тройная диаграмма составов Os-Ir-Ru включений в самородной платине

Минералы состава Pt-Fe-Cu. По результатам рентгеноспектрального микроанализа было установлено, что Pt-Fe-Cu сплавы представлены самородной платиной с содержанием железа 0,05 – 0,18%. Cu содержится во многих, но не во всех зёрнах, её содержание колеблется в интервале от 0 до 13%. Интересно, что медь не показывает отрицательную корреляцию с железом (речь может даже идти о слабой положительной корреляции). Содержание Os в платине не превышает 3%. Одной из ярких особенностей самородной платины является отсутствие примеси Ir, что нехарактерно для оруденения, связанного с дунитами массивов урало-алаянского типа.

Минералы состава Os-Ir-Ru. Как уже было сказано, все минералы платиновой группы, кроме самородной платины, встречены исключительно в виде включений в последней. Все Os-Ir-Ru минералы представлены самородным осмием, содержащим примесь Ir (от десятых долей до 13,9 ат. %). Содержание Ru и Pt в нём очень невелико.

Сульфиды, арсениды и другие соединения ЭПГ. В том или ином виде сульфиды присутствуют практически в каждом изученном зерне платины.

Куперит PtS. Этот минерал присутствует в виде каёмок толщиной до 100 мкм, замещающих самородную платину. Кроме Pt, в своём составе он может содержать примесь Pd (до 3-х ат. %); другие примеси в пределах точности микронного анализа обнаружены не были.

Неназванные соединения – (Ir, Ru) S_2 и (Ir, Pt) S_2 . Образуют идиоморфные кристаллы короткостолбчатого облика, центральные части которых сложены (Ir, Ru) S_2 , а краевые – (Ir, Ru) S_2 .

Состав шпинелидов, сростающихся с платиной. Шпинелиды, встреченные в виде сростаний с самородной платиной и включений в ней можно отнести к двум

группам: хромистый магнетит и хромшпинелид. В пределах одного зерна встречается шпинелид только одного из этих двух типов.

Заключение. Ряд обнаруженных особенностей указывает на клинопироксениты как на возможный источник россыпной ассоциации МПП. К числу этих особенностей относятся: отсутствие примеси Ir в самородной платине, отсутствие изоферроплатины и самородного иридия в числе минералов россыпи, присутствие включений магнетита в платине [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильданова Е.Ю. и др. Корякско-Камчатский регион – новая платиноносная провинция России / Е.Ю. Вильданова и др. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2002. – 383 с.
2. Kepezhinskas P.K., Taylor R.N., Tanaka H. Geochemistry of plutonic spinels from the North Kamchatka Arc: comparisons with spinels from other tectonic settings // *Mineralogical Magazine*. 1993. V. 57. P. 575-589.
3. Tolstykh N. D., Sidorov E.G. et al. The association of platinum-group minerals of the Pustaya River, Kamchatka, Russia // *Can. Mineral*. 2000. V. 38. P. 1251-1264.

СЕКЦИЯ 3. ПРОЦЕССЫ РУДОПОДГОТОВКИ И КОМПЛЕКСНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩЕГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЗОНАЛЬНЫХ БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТОВЫХ МАССИВОВ

А.П. Козлов¹, Н.Д. Толстых²

¹ *Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН*

² *Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН*

АННОТАЦИЯ

Для объективного сравнения основных технологических свойств платиносодержащей минерализации различных зональных базит-ультрабазитовых массивов использована система автоматизированного минералогического анализа (MLA). Установлено, что платина присутствует исключительно в собственных минеральных формах, доминирующими среди которых являются платино-железистые сплавы (изоферроплатина и тетраферроплатина). Установленный гранулярный состав продуктивной платиносодержащей минерализации позволяет утверждать, что из руд Алдана и Камчатки гравитационными методами может эффективно извлекаться до 90% платины. Тогда как для зональных массивов Урала извлечение платины в гравитационные концентраты не превышает 50 %. Установленные тесные сростания парамагнитных и магнитных платиносодержащих минералов, а также наличие в сростках с платиной вторичного магнетита, дают возможность применения магнитной сепарации, которая может позволить дополнительно извлечь до 20% платины.

Ключевые слова: платиносодержащая минерализация; зональные базит-ультрабазитовые массивы; автоматизированный минералогический анализ; гравитационные методы; магнитная сепарация.

THE MAIN TECHNOLOGICAL PROPERTIES PLATINUM MINERALIZATION IN ZONED MAFIC-ULTRAMAFIC MASSIFS

A. P. Kozlov, N.D. Tolstykh²

¹ *Vernadsky State Geological Museum RAS*

² *Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS*

ABSTRACT

To objective comparison of the basic technological properties of platinum mineralization of various zoned mafic-ultramafic massifs a system of automatic mineralogical analysis (MLA) used. It was found that platinum is present exclusively in their own mineral forms, dominant among which are platinum-ferrous alloys (isoferroplatinum and tetraferroplatinum). On the basis of the granular composition of the productive platinum mineralization it was found that gravity methods can effectively extract up to 90% of platinum from the ores of Aldana and Kamchatka. Whereas for zonal massifs of Urals the extraction of platinum in the gravity concentrate does not exceed 50%. A intergrowths of magnetic and paramagnetic platinum-bearing minerals we have identified, as well as the presence of secondary magnetite with them, allow the use of magnetic separation, which may allow an additional up to 20% of platinum to extract.

Keywords: platinum mineralization; zoned mafic-ultramafic massifs; automated mineralogical analysis; gravitational methods; magnetic separation.

Для увеличения добычи платины в России весьма актуальным представляется вовлечение в эксплуатацию новых геолого-промышленных типов месторождений МПГ, среди которых наиболее значительным потенциалом обладают дунитовые руды зональных базит-ультрабазитовых массивов, как коренные источники уникальных россыпных платиновых месторождений Урала, Алдана и Камчатки [1]. Несмотря на типоморфный генезис, технологические свойства продуктивной платиносодержащей минерализации в различных массивах имеют свои особенности, которые определяют возможность использования и эффективность применения тех или иных технологических методов при переработке дунитовых руд.

Для проведения количественной оценки и объективного сравнения основных технологических свойств платиносодержащей минерализации в различных зональных массивах была использована система автоматизированного минералогического анализа (MLA), которая позволяет получать изображения и экспрессную информацию о составе большого количества зерен и частиц в пробе. В исследованиях были использованы зерна платиносодержащих минералов (МПГ) из массивов платинового пояса Урала (Нижнетагильский, Светлоборский, Вересовоборский, Каменушинский), Алданского нагорья (Кондерский, Инагли) и Корякско-Камчатского платиноносного пояса (Гальмознанский). LMA проведен в аналитической лаборатории Центра "Ресурсосберегающие технологии переработки минерального сырья" НИТУ «МИСиС» (оператор А.В. Панькин). Суммарно в десяти выборках из семи зональных массивов изучено около 25000 зерен МПГ.

В составе платиносодержащей минерализации всех выборок доминируют Pt-Fe сплавы: изоферроплатина (Pt_3Fe) 34,8-91,0 мас.% и тетраферроплатина ($PtFe$) до 29,3 мас.%. В дунитовых рудах Урала и Камчатки распространен туламинит (Pt_2FeCu) 39,3 мас.%, а в Нижнетагильского массиве – ферроникельплатина (Pt_2NiFe) 20,5 мас.% и Pt-Cu сплавы переменного состава (15,2 мас.%). Присутствие Pt-Cu сплавов также установлено в дунитовых рудах Вересовоборского и Гальмознанского массивов (6,5 и 5,7 мас.%, соответственно). В дунитовых рудах Каменушинского и Гальмознанского массивов, содержащих хромитовые шпирь и прожилки, встречаются сперрилит ($PtAs_2$) (12,3 и 11,9 мас.%, соответственно), сульфиды и сульфоарсениды платиноидов (до 7,4 мас.%) и Os-Ir сплавы (до 3,9 мас.%). Аномально высокие содержания сульфидов и Os-Ir сплавов установлены в россыпях, приуроченных к Инаглинскому массиву (23,4 и 10,6 мас.%, соответственно).

В дунитовых рудах Урала около половины зерен МПГ находится в мелких и тонких классах крупности (-80 мкм). Они характеризуются различной морфологией. Наиболее крупные индивиды имеют неправильную форму и часто находятся в сростании с оливином или хромшпинелидами, а значительная часть мелких зерен имеет кристаллическую форму с преобладанием кубической огранки. Максимальная крупность зерен не превышает 400 мкм, а средний размер зерен в выборках варьирует от 60 до 98 мкм. Исключение представляет оруденение Вересовоборского массива, в котором 70 мас.% платиносодержащей минерализации находится в классах крупности +80 мкм и средний размер зерен составляет 129 мкм.

Для дунитовых руд Гальмознанского массива также характерным является преобладание мелких и тонких классов крупности (-83 мкм). В присутствии хромитовых шпиров более 80 мас.% платиносодержащей минерализации находится в классах (+120 мкм) при средней крупности зерен 210 мкм. Дунитовые руды с хромитом Кондерского массива средняя крупность зерен платины составляет 189 мкм. Выборки по россыпям Инагинского и Гальмознанского массива характеризуются максимальной средней крупностью зерен (277 и 325 мкм, соответственно) с резким преобладанием в гранулярном составе платиносодержащей минерализации в классах (+200 мкм).

Значительная часть изоферроплатины (42,1-82,2 мас.%) в дунитовых рудах зональных массивов Урала и Алдана находится в виде свободных зерен. Третья часть зерен изоферроплатины находится в сростаниях с тетраферроплатиной или туламинитом (до 47,6 мас.%), реже Os-Ir сплавами или сульфидами. Полиминеральные сростки изоферроплатины с другими МПГ характерны в Светлоборском массиве составляют 20,9-22,5 мас.%.

Тетраферроплатина почти всегда ассоциирует с изоферроплатиной (до 71,5 мас.%). В свободных зернах она встречается только на Урале с максимальным содержанием их в выборках Нижнетагильского (60 мас.%) и Каменушинского (49 мас.%) массивов. В полиминеральных сростках находится до 44,5 мас.% и 68,7 мас.% тетраферроплатины в выборках Светлоборского и Гальмоэнанского массивов.

Распространенным рудным минералом в выборках Гальмоэнанского, Вересовоборского и Светлоборского массивов является магнетит (до 17,7 мас.%), но только для руд последнего весьма характерным является наличие тесных сростаний магнетита с платиносодержащими минералами.

В процессе исследования платиносодержащей минерализации в различных массивах Урала, Алдана и Камчатки методом MLA установлено присутствие платины исключительно в собственных минеральных формах, доминирующими среди которых являются платино-железистые сплавы (изоферроплатина и тетраферроплатина). Технологическая возможность извлечения платины из дунитовых руд может рассматриваться исключительно как извлечение установленной платиносодержащей минерализации. Высокая плотность платиносодержащих минералов определяет возможность эффективного применения гравитационных методов. В соответствии с результатами изучения гранулярного состава платиносодержащей минерализации можно утверждать, что из дунитовых руд Алдана и Камчатки, содержащих хромитовые включения, гравитационными методами может эффективно извлекаться до 90% платины, тогда как в выборках из зональных массивов Урала при установленном гранулярном составе извлечение платины в гравитационные концентраты не будет превышать 50 %.

Тесные сростания парамагнитных минералов МПГ (изоферроплатина, сперрилит, Os-Ir сплавы) с магнитными платиносодержащими минералами (тетраферроплатина, туламинит) и магнетитом создают предпосылки для применения при обогащении дунитовых руд магнитной сепарации, что позволит выделить дополнительно из хвостов гравитационного обогащения до 20% платины.

Полученные результаты подтверждают результаты ранее проведенных минералоготехнологических исследований [2, 3] и позволяют рекомендовать использование MLA для экспрессной оценки технологических свойств платиносодержащих дунитовых руд зональных базит-ультрабазитовых массивов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Соглашение № 14.604.21.0128).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазаренков, В.Г., Петров, С.В., Таловина, И.В. Месторождения платиновых металлов. С-Пб.: Недра. - 2002. - 297 с.
2. Козлов, А.П., Чантурия, В.А. Платиносодержащие дунитовые руды и их обогатимость. Москва: УРАН ИПКОН РАН. - 2009. - 148 с.
3. Tolstykh, Nadezhda, Kozlov, Andrey, Telegin, Yuriy. Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt // Ore Geology Reviews. - 2015. – V. 67. - No.5. – P. 234-243.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ХРОМИТОВЫХ РУД ДУНИТОВЫХ МАССИВОВ

Г.В. Петров¹, Ю.В. Андреев², М.С. Сидорова¹

¹*Санкт-Петербургский Горный Университет*

²*Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого*

АННОТАЦИЯ

В рамках разработки химико-металлургического способа рафинирования платиносодержащего продукта обогащения хромитовых руд дунитовых массивов от железа изучены кинетические закономерности сернокислотного восстановительного разложения магнетита. Установлены оптимальные технологические параметры процесса выщелачивания железа из продуктов обогащения дунитов. Предложена аппаратурно-технологическая схема извлечения платиновых металлов и хрома из хромитов дунитовых массивов урало-аляскинского типа Среднего Урала и Камчатки, рассматриваемых в настоящее время в качестве перспективного минерально-сырьевого источника металлов платиновой группы.

Ключевые слова: металлы платиновой группы; дунитовые массивы; хромитовые руды; выщелачивание.

EXTRACTION OF PLATINUM METALS DURING PROCESSING OF CHROMITE ORE OF DUNITE MASSIFS

G.V. Petrov¹, Ju.V. Andreev², M.S. Sidorova¹

¹*Saint-Peterburg Mining University,*

²*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University*

ABSTRACT

Kinetic regularities of recovery decomposition of magnetite in sulfate solutions within development of a chemical-metallurgical way of refinement of platiniferous product of enrichment of chromite ores of dunite masses from iron are studied. Optimum technological parameters of leaching iron from products of enrichment of dunit are established. The hardware-technological scheme of extraction of platinum metals and chromium from chromium-containing dunite masses of the Ural-Alaskan type at the Middle Urals and Kamchatka is proposed, which are currently considered as promising mineral source of platinum group metals.

Keywords: platinum group metals; dunite masses; chromite ores; leaching.

Производство металлов платиновой группы (МПГ) в РФ, практически полностью базирующееся на рудах сульфидных медно-никелевых месторождений Таймырского региона, обладает определенной уязвимостью ввиду значительных потерь платиновых металлов при металлургической переработке исходных руд и вследствие неизбежных изменений со временем качества рудного сырья (снижение доли богатых руд в общем объеме добычи), а также ввиду уменьшении доли добычи платины из россыпей [1,2]. Освоение и вовлечение в переработку новых нетрадиционных сырьевых источников металлов платиновой группы обеспечит увеличение производства платиновых металлов и укрепление позиций РФ на мировом рынке металлов платиновой группы [3-5].

Исследованиями российских ученых показана перспективность на МПГ российских дунитовых руд зональных массивов Среднего Урала (Нижнетагильский и Светлоборский), Алданского щита (Кондерское и Инаглинское месторождения) и Гальмознанского массива Камчатки, характеризующихся преимущественно платиновой специализацией: использование гравитационно-магнитной схемы обогащения хромитовых руд дунитовых массивов позволяет выделить подлежащий в дальнейшем доводке магнитный платиносодержащий концентрат с содержанием суммы МПГ в нем 500-1000 г/т [6]. При этом за рамками детальных технологических исследований осталось поведение коренных руд Среднего Урала, отличающихся более низким содержанием МПГ и представленных значительными запасами [3].

В настоящей работе изучено селективное извлечение МПГ из бедных по платиноидам хромитовых руд дунитовых массивов. Исследования осуществлялись на укрупненной технологической пробе коренной руды Нижнетагильского массива (карьер «Дунитовый») следующего состава, %: 1,64 Cr; 6,24 Fe; 22,52 Mg; 17,1 SiO₂; 0,21 г/т Pt; 0,08 г/т Rh. Результаты минералогических исследований свидетельствуют, что рудные минералы представлены хромитом 3-х разновидностей (содержание хрома варьируется от 37 до 56% мас.), тонкими включениями сульфидов (миллерита, пентландита, халькозина), а также магнетита. Магнитная фракция в руде составляет не более 1-2% об. Платина представлена преимущественно Pt-Fe (до 65%) и Pt-Cu сплавами, обладающими ферромагнитными свойствами.

Выявлено, что гравитационно-магнитное концентрирование коренной руды Нижнетагильского массива обеспечивает получение компактного железистого продукта (выход 0,35%), содержащего более 20 г/т Pt при стократном обогащении относительно исходной хромитовой руды. Коронно-электростатическая сепарация немагнитной

фракции гравитационного концентрата обеспечивает выделение кондиционного хромитового концентрата (выход 3%), содержащего 43,5% Cr_2O_3 .

В рамках разработки химико-металлургического способа рафинирования платиносодержащего концентрата от железа выполнена термодинамическая оценка вероятности протекания реакций восстановления магнетита восстановителями (железный порошок, гидразин, сульфит натрия) в сернокислой среде, результаты которой свидетельствует, что изменение энергии Гиббса реакции имеет наиболее отрицательные значения при использовании железного порошка.

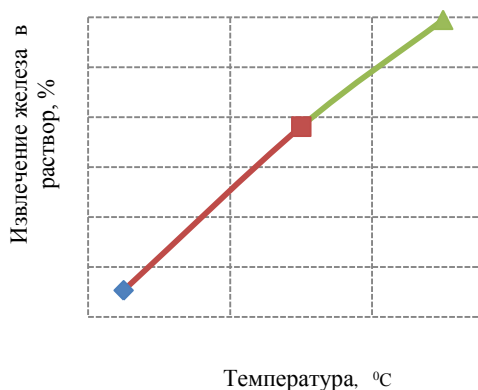


Рис. 1. Влияние изменения температуры на извлечение железа в раствор. Условия: масса навески 20 г, Ж:Т = 10:1

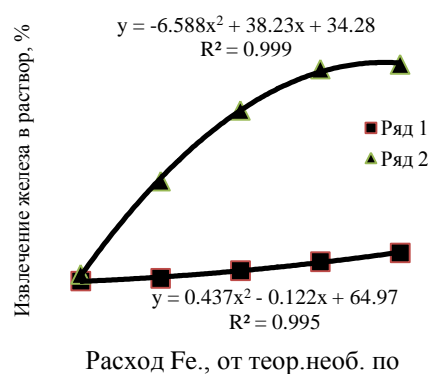


Рис. 2. Влияние расхода восстановителя и концентрации серной кислоты на поведение железа (ряды 1 и 2 – 150 и 250 г/л H_2SO_4 соответственно). Условия: масса навески 20 г, Ж:Т = 10:1, T = 70 °C

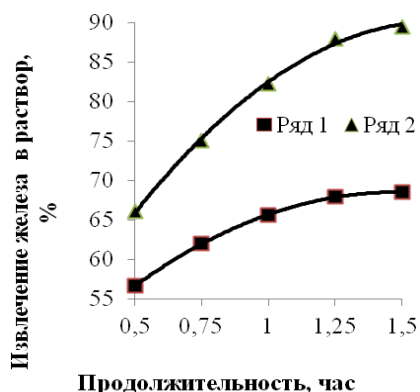


Рис. 3. Влияние продолжительности выщелачивания и концентрации серной кислоты на вскрытие магнетитового концентрата (ряды 1 и 2 – 150 и 250 г/л H_2SO_4 соответственно). Условия: масса навески 20 г, Ж:Т = 10:1, T = 70 °C, 3-х кр. расход восстановителя

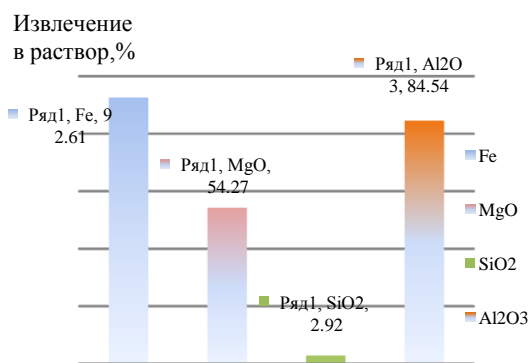


Рис. 4. Поведение железа и породообразующих компонентов при сернокислотном восстановительном выщелачивании модельного магнетитового концентрата

Исследование физико-химических закономерностей сернокислотного восстановительного разложения проводилось на модельном магнетитовом концентрате

следующего состава, %: 52,1 Fe; 1,2 MgO; 15,1 SiO₂; 24,9 Al₂O₃. Контрольные эксперименты выполнялись на платинометальной сильномагнитной фракции, выделенной при обогащении хромитовой руды Нижнетагильского дунитового массива следующего состава, %: 5,8 Cr; 54,6 Fe; 3,32 MgO; 2,6 SiO₂; 2,7 Al₂O₃; 1050,0 г/т Pt.

Эксперименты по сернокислотному восстановительному разложению платинометальной сильномагнитной фракции осуществлялись при следующих варьируемых параметрах процесса: расход восстановителя до 3-х кратного от теоретически необходимого количества, продолжительность 0,5-1,5 ч, концентрация серной кислоты 50-250 г/л, температура 20-75 °С.

Установлено, при химическом кондиционировании сильномагнитной фракции, выделенной при обогащении аллювиальной хромитовой руды, при оптимальных параметрах (концентрация серной кислоты - 200 г/л, 2 кратный избыток металлического железа от теор. необх., температура 70°С, продолжительность 1,5 часа, ж:т=10:1) выход нерастворимого остатка составляет 12,9% при практически полном извлечении железа и хрома в сернокислый раствор (по данным анализа раствора на уровне 95,1 и 98,9% соответственно). Содержание платины в кеке составило 0,59 %, родия – 130 г/т.

На основании результатов исследований разработана аппаратурно-технологическая схема (рис. 5) комплексной переработки коренной хромитовой руды Нижнетагильского дунитового массива.

Внедрение разработанной аппаратурно-технологической схемы с годовым объемом переработки 200 тыс. т бедной коренной руды (1,64 % Cr и 0,21 г/т Pt) на предприятиях по производству хромомagneзитовых огнеупоров дополнительно обеспечит получение 15 кг платины в виде товарного концентрата и 6 тыс. т хромитового концентрата. Использование технологии для переработки богатой руды, содержащей 43,4 % Cr₂O₃ и 1,76 г/т Pt, позволит получить 23 тыс. т хромового концентрата и 160 кг платины в виде богатого платинового концентрата (0,6% Pt), близкого к требованиям аффинажного производства.

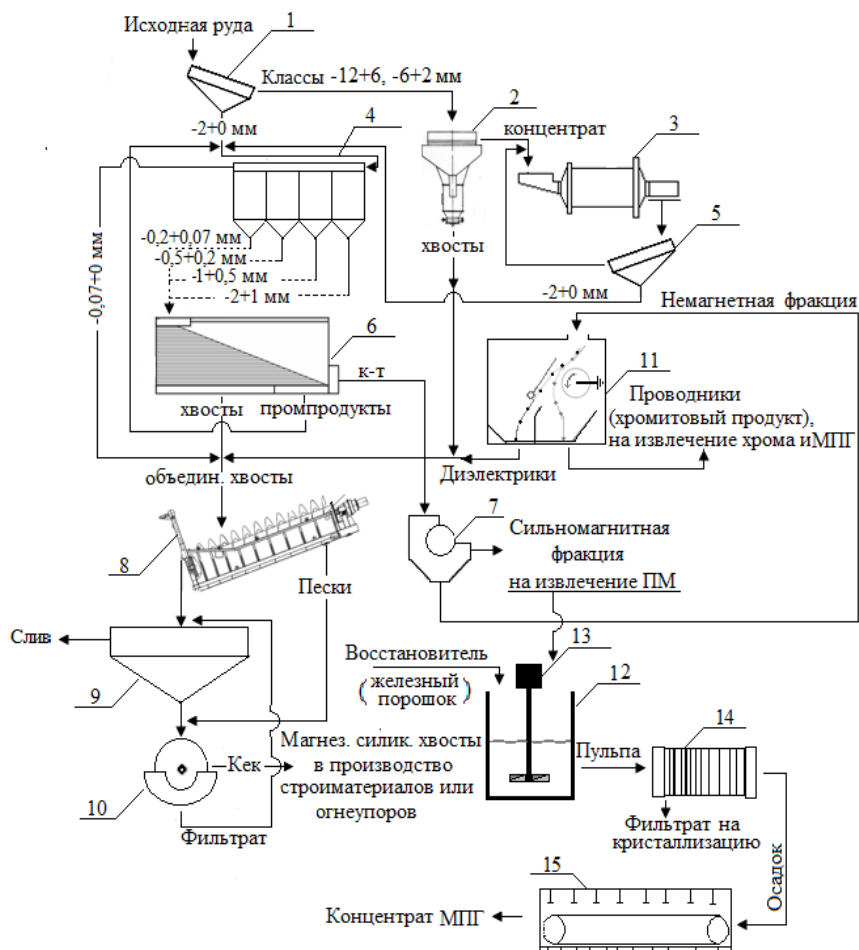


Рис. 5. Аппаратурно-технологическая схема извлечения МПГ и хрома из коренной хромитовой руды Нижнетагильского дунитового массива. Оборудование: 1,5 - грохот, 2 - осадочная машина, 3 - шаровая мельница, 4 - гидравлический классификатор, 6 - концентрационный стол, 7 - магнитный сепаратор, 8 - спиральный классификатор, 9 - сгуститель, 10 - вакуум-фильтр, 11 - коронно-электростатический сепаратор, 12 - реактор, 13 - перемешивающее устройство, 14 - фильтр-пресс, 15 - туннельная сушилка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазаренков В. Г. Месторождения платиновых металлов / В. Г. Лазаренков, С.В. Петров, И.В. Таловина - СПб.: Недра, 2002. - 297 с.
2. Додин Д.А. Платина России: состояние и перспективы / Д.А. Додин Т.С. Додина, К.К. Золоев, В.А. Коротеев, Н.М. Чернышов // Литосфера. - 2010. - № 1. - С.3-36.
3. Петров Г.В. Концентрирование платиновых металлов при переработке традиционного и нетрадиционного платинометалльного сырья. - СПб: Санкт-Петербургский горный ин-т, 2001. - 106 с.

4. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2011 году». Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Москва, 2012. 333 с.

5. Чантурия В.А. Дунитовые руды новый вид платиносодержащего сырья Текст. / В.А. Чантурия, Козлов А.П., Толстых Н.Д. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - Отдел, вып. № 1. - С. 553-566.

6. Чантурия В.А. Платиносодержащие дунитовые руды и их обогатимость / В.А. Чантурия, А.П. Козлов - М.: УРАН ИПКОН РАН, 2009. - 148 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕЛКИХ ЧАСТИЦ МПГ ИЗ ОТВАЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОНДЁР

С.А. Корчевенков, Т.Н. Александрова
Санкт-Петербургский Горный университет

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены некоторые особенности состава техногенных отвалов месторождения «Кондёр». Приведено распределение частиц шлиховой платины по фракциям. Описана классификация техногенных отвалов на месторождении «Кондёр». Приведены содержания шлиховой платины в пробах отвалов. Показаны результаты минералогического и рентгеноспектрального анализа частицы шлиховой платины.

Ключевые слова: МПГ; месторождение «Кондёр»; техногенные отвалы.

PERSPECTIVES RECOVERY FINE PARTICALS OF PGM FROM TAILINGS OF KONDER DEPOSIT

S.A. Korchevenkov, T.N. Alexandrova
Saint-Petersburg Mining University

ABSTRACT

The properties of Konder's tailings composition were considerate in the article. The particle size distribution of PGM were presentive. The classification of of Konder's tailings were described. The content of PGM were shown in tailings. The results of mineralogical and x-ray analyses of PGM particle were shown.

Key words: PGM; Konder deposit; tailings.

Проблема извлечения мелкой платины из песков возникла с началом промышленного освоения россыпей. Под мелкой понимают платину такой крупности, при которой она не улавливается на существующем уровне техники и технологии обогащения. Различные классификации россыпного золота и платины по крупности (Гинзолото, Гипрозолото, ВНИИ-1 и др.) относят к мелким частички разного размера в весьма широком диапазоне — от 1-2 до 0,1-0,25 мм. [1]

Полезными компонентами россыпей элементов платиновой группы являются Pt, Ir, Os, Rh, Rd. Они в составе шлиховой платины создают около 100 минеральных видов и

разновидностей (кристаллы, осколки, агрегаты). Мелкая платина в россыпных объектах, изученных в основном традиционными методами, составляет значительную долю.

Уникальное иридино-платиновое месторождение Кондер на Алданском щите имеет запасы более 50 т. В целом в россыпях р. Кондер на долю тонкой платины ($-0,25\text{ мм}$) приходится 11,2%, мелкой (0,5-0,25 мм) - 34,3% (сумма 45,5). Здесь же с данными по притокам платина крупнее (мелкой - 29,%, тонкой - 3,9%). В россыпи Уоргалан выход тонкой (16,8%) и мелкой (60,5%) платины составляет 77,3%.

Техногенные образования формируются и характеризуются в зависимости от способа переработки исходных песков, для техногенных образований месторождения «Кондёр» характерно присутствие 5 типов техногенных отвалов: галечные отвалы, эфельные отвалы шлюзов глубокого и мелкого наполнения, хвосты отсадочных машин, хвосты концентрационных столов, хвосты шлихообогатительных фабрик. Промышленный интерес представляют эфельные отвалы, накопленные за 28 лет отработки месторождения.[2]

Материал эфельных отвалов представляет собой песчано-галечный материал, основная масса которого представлена галей разной крупности – около 50% от общей массы песков. Песчаная часть эфельных отвалов – класс -2 мм представляет собой продуктивную её часть. Извлечение платины из продуктивного класса эфельных отвалов производилось путём получения первичного гравикоцентра на винтовом сепараторе и дальнейшей глубокой доводке гравикоцентра комбинированными методами. После обработки 10 проб эфельных отвалов общей массой около 8 т получены значения содержания платины в 1 м^3 (таблица 1).

Таблица 1

Содержание платины в пробах эфельных отвалов

| № пробы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
| Содержание, г/м ³ | 0,15 | 0,19 | 0,16 | 0,13 | 0,16 | 0,38 | 0,7 | 0,6 | 0,03 | 0,86 |

Таким образом, установлено, что по массовой доле платины в пробах, эфельные отвалы могут быть потенциальным источником для извлечения платины из отвалов основной технологии переработки песков месторождения «Кондёр».

Минералогические особенности ценных минералов изучались на 2 пробах, отобранных в процессе переработки эфельных отвалов: проба №1 массой 893 г отобрана от первичного гравикоцентра (концентраата винтового сепаратора), проба №2 массой 1050 г отобрана от хвостов концентрационного стола.

Минералогический анализ выполнен оптическим (микроскоп Stemi 2000C) и электронно-микроскопическим методами с энергодисперсионным рентгеноспектральным микроанализом (микроскоп EVO 40HV фирмы Карл Цейсс, Германия, спектрометр INCA Energy 350 фирмы Оксфорд, Великобритания) на материале 206,14 г (проба №1) и 150 г (проба №2) классифицированном путем гравитационно-магнитного фракционирования каждого класса крупности.

Характерный знак платины извлечен из сростка оливина, хромита, магнетита и платины. Имеет сложную неправильную форму, представляет собой сросток из пластинок иногда изогнутых и изометричных зерен. Эта «конструкция» выполняла интерстиции между рудообразующими минералами в хромит- и магнетитсодержащем дуните (рис.1 спектры 1-5). Элементный состав спектров 1-5 сведен в таблицу 2. [3]

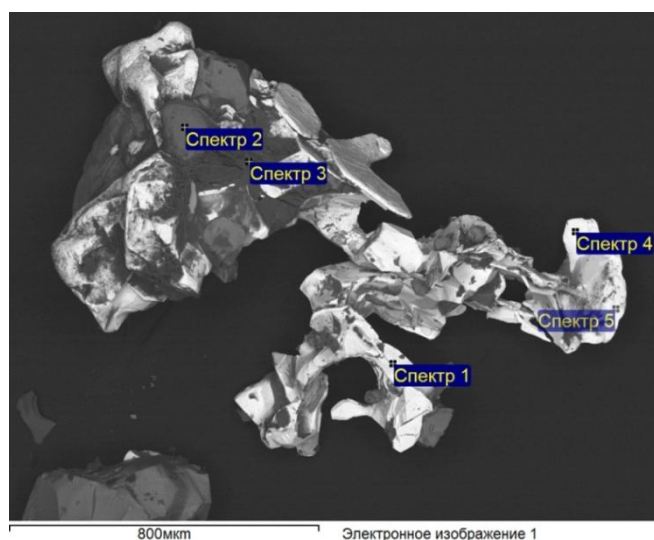


Рис.1. Сросток платиноидов и породообразующих минералов

Исходя из данных таблицы 2, проанализированный сросток включает платину (основная масса), хромит, оливин (спектр 2,3), а так же иридий, осмий и иттрий (спектр 4,5) - металлический сплав зонально обтекающий зерно платины.

В платине аллювиального происхождения в качестве элементов-примесей в ней присутствуют железо и медь. С целью выявления включений благородных металлов, на электронном микроскопе проанализировано несколько кристаллов рудо- и породообразующих минералов. При этом платины и золота в их составе не установлено.

Элементный состав платиноидов и рудообразующих минералов

| Элементы | Спектры (весовые %) | | | | | Примечания |
|----------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| C | 10,52 | 7,61 | - | 17,7 | 16,21 | Матрица |
| O | 3,15 | 42,52 | 62,46 | 3,13 | 18,95 | |
| Mg | - | 4,97 | 2,12 | - | - | |
| Al | - | 2,67 | 3,91 | 0,59 | 1,29 | |
| Si | - | - | 23,55 | - | 1,67 | |
| Ti | - | 0,32 | - | - | - | |
| Cl | 1,49 | - | 4,83 | - | - | Привнесен при обработке HCl |
| K | - | - | 1,67 | - | - | |
| Cr | - | 26,35 | - | - | - | |
| Fe | 7,52 | 15,18 | 0,79 | - | - | |
| Zn | - | - | 0,67 | - | - | |
| Y | - | - | - | 29,44 | 37,5 | |
| Os | - | - | - | 39,64 | 24,38 | |
| Ir | - | - | - | 9,5 | - | |
| Pt | 77,32 | - | - | - | - | |
| Итого,% | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |

Полученные в результате минералогического исследования данные о крупности, форме, магнитных свойствах платины, а также данные о минеральном составе гравииконцентрата позволяют сделать выводы о возможном поведении платины, золота и шлихового комплекса в процессах глубокой переработки эфельных отвалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. О.В. Замятин, В.М. Маньков, Мелкое золото в россыпях: проблемы оценки и извлечения. Горный журнал 2011, № 4
2. В.А. Макаров, «Геолого-технологические основы ревизии техногенного минерального сырья на золото», Красноярск 2001 г.
3. Александрова Т.Н., Корчевенков С.А. Мелкая платина в россыпных объектах и перспективы её извлечения // Материалы Международного совещания "Плаксинские чтения-2013" (Томск, 16-19 сент., 2013). ТПУ. - С.61-63.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПЛАТИНОИДОВ ИЗ НЕТРАДИЦИОННОГО ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Т.Н.Александрова, А.О.Ромашев, У.М.Павлова

Санкт-Петербургский горный университет

АННОТАЦИЯ

В статье предложен способ обогащения руд, содержащих металлы платиновой группы. Измельчение проводится в среде аминокислотной кислоты, последующую флотацию полученного класса крупности осуществляют с комплексным собирателем – аминами из нитропарафинов и бутиловым ксантогенатом калия депрессором – жидкое стекло, вспенивателем – сосновое масло. В результате повышается извлечение платиноидов из нетрадиционных руд.

Ключевые слова: платина; обогащение; платиноиды; извлечение

EXTRACTION OF PLATINOIDS FROM UNCONVENTIONAL PLATINUM- CONTAINING RAW MATERIAL

T.N. Alexandrova, A.O. Romashev, U.M. Pavlova

Saint-Petersburg Mining University

ABSTRACT

In article described method for concentration of ores containing platinum group metals. Milling is carried out in a medium of aminoacetic acid. Further flotation of obtained size is performed with complex collector – amines of nitroparaffins and butyl potassium xanthate, depressor – liquid glass, foaming agent – pine oil. And in result is increased extraction of platinoids from unconventional ores.

Keywords: platinum; enrichment; platinum group metals; extraction

Постепенное истощение запасов разрабатываемых месторождений заставляет горноперерабатывающие предприятия обращать внимание на поиск и разработку технологий извлечения из нетрадиционных источников полезных ископаемых, например, такие как «черные сланцы». Черносланцевые формации, в настоящее время, рассматриваются не только как энергетическое и химическое сырье, но и в качестве нового перспективного источника целой группы металлов, в том числе редких и благородных.

Рост интереса к данному виду сырья впервые был отмечен в шестидесятых годах прошлого века, в то время сланцы рассматривали только как перспективный источник золота, содержание которого в черных сланцах, по данным исследователей, могло достигать до граммов в тонне породы. Успешно осваивается Олимпиадинское месторождение черносланцевой формации, с годовой добычей порядка 50 т., при этом используемые технологии позволяют извлечь и попутные платиноиды [1]. Многочисленные исследования показывают, что практически во всех месторождениях черносланцевой формации в качестве сопутствующих имеются металлы платиновой группы (платина, палладий, иридий, осмий, рутений и родий) в концентрациях 1-8 г/т и более, которые представляются рентабельными для промышленной добычи, главным образом попутно с золотом [2].

В данной работе рассматривается влияние механохимоактивации и оптимизация технологической схемы флотации на примере месторождения Славянка, находящегося в Ленинградской области.

Исследованиями установлено, что в результате механохимоактивации при измельчении руды, платиновая минерализация в которой представлена туламинитом (Pt_2FeCu), тетраферроплатиной ($PtFe$) и никельферроплатиной (Pt_2FeNi), в присутствии аминокислоты (АУК) и последующей флотации с комплексным собирателем, с которым элементы платиновой группы образуют хелатные соединения с комплексообразователями. При взаимодействии образуются циклические группировки, включающие комплексообразователь и лиганд аминокислоты, который относится к категории бидентатных лигандов, образующих две химические связи с комплексообразователем – через атом кислорода карбоксильной группы и через атом азота аминогруппы, кроме того происходит увеличение удельной поверхности измельчённого материала, что предопределяет лучшую сорбцию собирателей при флотации. Наличие хелатных соединений предопределяет образование многоядерных комплексных соединений, к которым относятся кластеры, мостиковые соединения и изо- и гетеросоединения. [3,4]

Схема опыта приведена на рис. 1. Измельчение материала, осуществлялось в шаровой мельнице в среде аминокислоты при расходе 500 г/т. Загрузка мельницы шарами составляет 45% от объёма мельницы. Далее измельчённый материал подвергался классификации для выделения готового класса крупности $-0,074+0$ мм. Флотация осуществлялась в слабощелочной среде с величиной $pH=7-8$. В качестве собирателей использовался бутиловый ксантогенат калия (БКК) с расходом 200-250 г/т и амины из нитропарафинов (АНН) – расход 100-150 г/т. Для подавления флотации

минералов пустой породы применяется депрессор - жидкое стекло (расход 200-300 г/т). В качестве вспенивателя применяется сосновое масло, расход которого составляет 20-40 г/г. Время агитации пульпы с каждым реагентом равняется 1-3 мин.

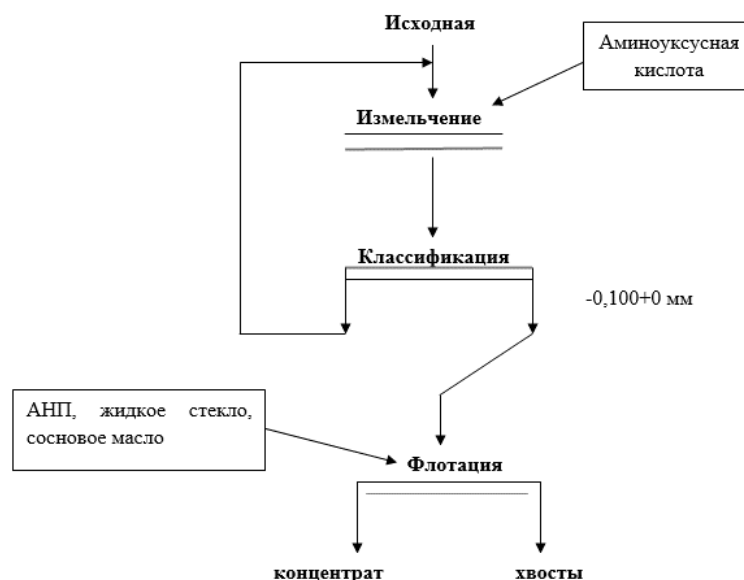


Рис. 1. Схема проведения опытов

В таблице 1 приведены усреднённые данные серии проведённых экспериментов. Применение данного способа позволило получить концентрат с повышенным содержанием металлов, ассоциированных с платиной.

По совокупности проведённых опытов можно заключить, что предварительная механоактивация с АУК и флотация позволяют получить концентрат с повышенным содержанием ценных компонентов.

Таблица 1

Результаты обогащения

| № | Реагенты | Содержание, г/т | | | |
|---|---------------------------------|-----------------|------|-----|----|
| | | Fe | Ni | Cu | Pd |
| 1 | Исходное сырье (без АУК) | 47214 | 1105 | 272 | - |
| 2 | АНП 150 г/т и БКК 50 г/т + АУК | 41051 | 1502 | 230 | - |
| 3 | АНП 150 г/т и БКК 250 г/т + АУК | 82320 | 2667 | 378 | 5 |
| 4 | БКК 250 г/т + АУК | 50272 | 1028 | - | - |

По совокупности проведённых опытов можно заключить, что предварительная механоактивация с АУК и флотация позволяют получить концентрат с повышенным содержанием платиноидов за счёт увеличения извлечения ассоциированных Fe, Ni и Cu

(содержание Fe – 82320 г/т, Ni – 2667 г/т и Cu – 378 г/т), входящих в состав платиносодержащих соединений туламинита, тетраферроплатины и никельферроплатины.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 20 16-05-00460\16

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Н. Сазонов, В. А. Коротеев, В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов, А. Я. Великанов Золото в “Черных сланцах” Урала // Литосфера, 2011, № 4, с. 70–92
2. Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ // «Руды и металлы» № 6, 2002. с.25-35.
3. Александрова Т.Н., Ромашев А.О., Янсон У.М. Исследование возможности извлечения редких элементов из черносланцевых пород. Москва: ГИАБ, № 4, 2015, 124 с.
4. Natural and technological typomorphic associations of trace elements in carbonaceous rocks of the Kimkan noble metal occurrence, Far East / Khanchuk A.I. Rasskazov I.Y., Aleksandrova T.N., Komarova V.S. // Russian Journal of Pacific Geology. 2012. Т. 6. № 5. С. 339-348.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ ИЗ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД

*А.В. Афанасова, Т.Н. Александрова,
Санкт-Петербургский горный университет*

АННОТАЦИЯ

В работе приведены результаты минералого-технологических и геохимических исследований черносланцевых пород. Обосновано, что черные сланцы рассматриваются в качестве нового перспективного и нетрадиционного источника платинового сырья. Полученные результаты определяют направления создания новых методов и технологий обогащения углеродистого сырья при комплексном освоении твердых полезных ископаемых в горнопромышленных и нефтепромысловых районах России.

Ключевые слова: *черные сланцы; углеродистое вещество; металлы платиновой группы; флотация.*

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF EXTRACTION PLATINUM GROUP METALS FROM CARBON-ROCKS

*A.V. Afanasova, T.N. Alexandrova
St-Petersburg mining University*

ABSTRACT

The results of mineralogical and geochemical researches and technological ones of black shale rocks are given. The black shale rocks are considered as the new perspective and untraditional platinum raw materials source. The results determine the direction of creating some new methods and technologies of enrichment of carbonaceous raw materials for the integrated development of solid minerals in the mining and oil producing regions of Russia.

Key words: *black shales; carbonaceous material; platinum group metals; flotation.*

Проблема переработки труднообогатимых (упорных) руд актуальна для всех без исключения стран, осуществляющих добычу благородных металлов из рудного сырья. Перспективы расширения добычи благородных и редких металлов зависят от существующей ресурсной базы, ее качества и возможности расширения. В последние годы были открыты комплексные благороднометалльные (БМ) месторождения в углеродсодержащих толщах, которые рассматривают как новый перспективный источник

золота, платины и других полезных элементов [1]. Для освоения открытых на Дальнем Востоке месторождений углеродистых руд [2, 3] необходимо осуществить комплекс исследований по созданию технологий переработки углеродсодержащих пород с максимально полным извлечением полезных компонентов, в первую очередь графита, золота и металлов платиновой группы.

Черные сланцы, в настоящее время рассматриваются в качестве нового перспективного и нетрадиционного источника платинового сырья. Вместе с тем, как справедливо отмечает ряд исследователей, степень их изученности пока фрагментарна [4-7]. Можно предположить, что присутствие в значительных количествах минералов платиновой группы и рения - типоморфная особенность данных месторождений, подтверждающая не только обоснованность их выделения в качестве самостоятельной «черносланцевой благородно-редкометалльной формации», но и существенно увеличивающая их практическую значимость и рентабельность освоения, уже в ближайшей перспективе.

Объектом исследований являются углеродистые сланцы Наталкинского проявления благородной Au - Pt минерализации (Дальний Восток).

Главных отличительных черт у месторождения две: первая – низкое (2.18 г/т) содержание золота в рудах, вторая – огромный объем руды. Их совместное “действие” обуславливает экономически выгодную отработку этого объекта. Расположено месторождение в 390 км к северу от г. Магадана, в пределах южной части Индигиро-Колымской региональной структуры. Отличительная черта последней – высокая насыщенность массивами гранитоидов, которые принимают участие в строении овално-купольных тектонических структур.

Месторождение приурочено к сочленению субмеридионального и диагонального разломов дуплексной шовной зоны. Месторождение представляет собой линейный кварцевый мегаштокверк, ориентировка которого на севере – северо-западная, в центральной части – субмеридиональная, а на юге – юго-восточная. Месторождение локализуется в верхнепермских отложениях, представленных песчанистыми аргиллитами, диамиктитами, туфогенными сланцами, а также флишоидными песчаниками, алевролитами и аргиллитами. На месторождении отчетливо проявлены литогеохимические ореолы золота и мышьяка, а также вольфрама, сурьмы и ряда других элементов. В рудах месторождения содержатся платиноиды. [10]

Исследования по обогащению углеродистых пород проводили с помощью углеродной флотации с применением неионогенных и катионных собирателей (рис.1, табл.1).

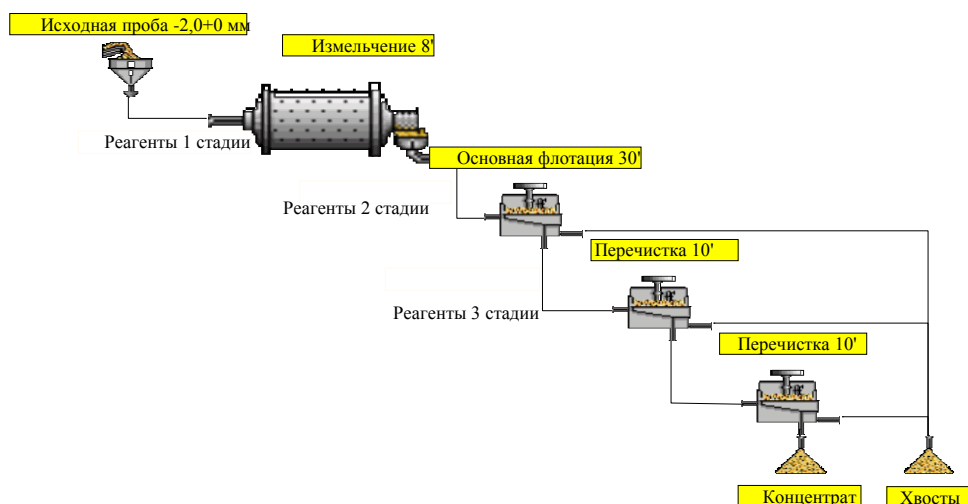


Рис. 1 Схема углеродной флотации

Подготовка технологических проб к обогащению включала операции дробления, сокращения и отбора навесок для технологических исследований и химических анализов. Эксперименты по флотационному обогащению проводились на флотационной машине Laarmann Flotation Bench Test Machine. Флотационное извлечение графитсодержащих продуктов проводили с использованием длинноцепочных аминов, керосина, кремнефтористого натрия и соснового масла в различных рН-средах, создаваемых известью и серной кислотой. Анализ продуктов обогащения проводился атомно-абсорбционным, рентгенофлуоресцентным методом. Минералого-петрографические исследования проводились с использованием оптических методов и электронно-микроскопических с рентгеноспектральным микроанализом (РЭМ-РСМА).

Результаты флотационного обогащения углеродистых сланцев приведены в таблицах 1-2 и рисунке 3.

Таким образом, последовательная сульфидно-углеродная флотация на хвостах гравитации является приемлемым методом для доизвлечения платины. Платиноиды и рений частично извлекаются в графитовый концентрат, золото – гравитационными методами с доизвлечением тонкодисперсного и ассоциированного с сульфидами - флотацией.

Вопрос о формах нахождения микроэлементов в минералах и горных породах имеет важное значение как для геохимиков, так и для химиков-аналитиков. Значительная часть химических элементов входит в минералы в качестве изоморфных примесей, замещая макрокомпоненты в кристаллической решетке. Некоторые из них накапливаются в газовой-жидких включениях, а часть находится в коллоидно-дисперсной форме в поровом пространстве породы. Кроме того, известно, что для ряда химических элементов

состояние рассеяния является основным. При этом, чем ниже среднее содержание химического элемента в земной коре, тем больше его доля в дисперсной форме [8]. Необходимо отметить, что химические элементы, находящиеся в сверхдисперсной форме, никогда прежде не рассматривались как самостоятельные элементы системы поиска месторождений редких и рассеянных элементов и не выделялись при обогащении руд, в то время как именно они могут являться наиболее подвижными и легко и наиболее биоактивными в различных экосистемах [9].

Таблица 1

Результаты флотационного обогащения

| № | Продукты | Выход | | Ag | Cd | Sn | Sb | Pt | Pb | Минералогический анализ продуктов флотации |
|---|------------|---------------|------------|----|-----|-----|------|-------------|------|--|
| | | г | % | | | | | | | |
| 1 | Концентрат | 473,5 | 15,9 | 2 | 4,3 | 8,3 | 43,7 | 0,01 | 40,3 | Графит~ 55% Мусковит~40% Кварц ~5% Пирит, лимонит, метапирит |
| 2 | Камерный | 2510 | 84,1 | – | – | – | 44,3 | – | 17,3 | Графит-кварц. сланцы~20% Мусковит-графит-кварц. сланцы~30% Графит ~10% Мусковит~10% Кварц ~30% |
| | Итого | 2983,5 | 100 | | | | | | | |

Таблица 2

Результаты флотационного обогащения

| № п/п | Продукт | Выход | | Содержание |
|-------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| | | г | % | |
| 1 | Основной углеродный концентрат | 31,23 | 3,96 | Pt – 0,03 г/т (рис. 3) |
| 2 | Пром. продукт основной флотации | 28,44 | 3,61 | – |
| 3 | Сульфидный концентрат | 25,29 | 3,21 | Ag – 4,5 г/т |
| 4 | Хвосты | 702,5 | 89,21 | – |
| | Итого навеска | 787,46 | 100,0 | |

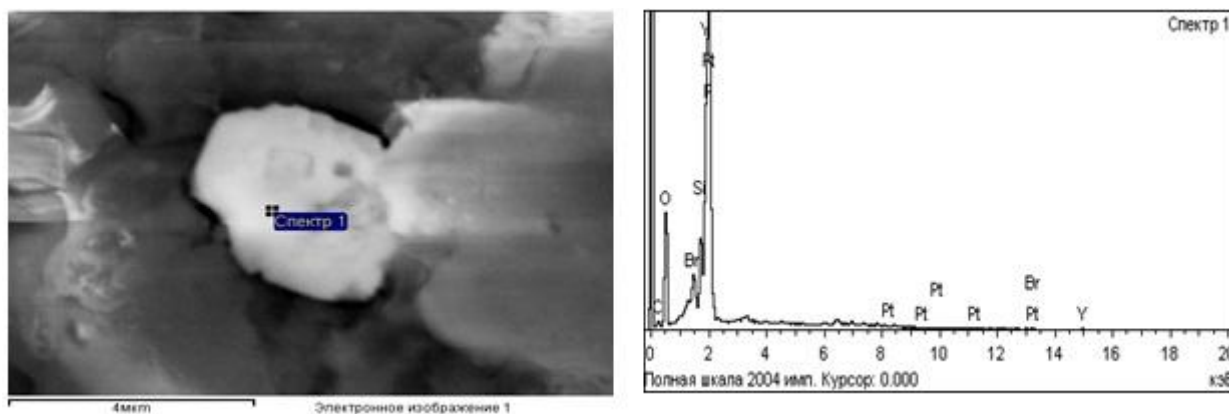


Рис. 3 Микрофотография включений платины во флотационный концентрат

Таким образом, с использованием флотационных методов обогащения при обоснованных реагентных режимах возможна эффективная концентрация микровключений металлов платиновой группы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Додин Д.А., Золоев К.К., Коротеев В.А., Чернышев Н.М. Углеродсодержащие формации — новый крупный источник платиновых металлов XXI на М.: Геоинформмарк, 2007. 125 с.
2. Ханчук А.И., Плюснина Л.П., Молчанов В.П., Медведев Е.И. // Углеродизация и геохимическая специализация графитоносных пород северной части Ханкайского террейна, Приморье//Геохимия. 2010. № 2. С. 115-125.
3. Сазонов В. Н., Коротеев В. А., Огородников В. Н., Поленов Ю. А., Великанов А. Я. Золото в “Черных сланцах” Урала // Литосфера, 2011, № 4. С. 70-92.
4. Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ // «Руды и металлы» № 6, 2002. С.25-36.
5. Меретуков М.А. Золото и природное углеродистое вещество: Научное издание. – М: Издательский дом «Руда и Металлы», 2007, с. – 112.
6. Ханчук А.И., Диденко А.Н., Рассказов И.Ю., Бердников Н.В., Александрова Т.Н. Графитовые сланцы как перспективный источник благородных металлов на Дальнем Востоке России // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С.3-12.
7. Khanchuk A.I. Rasskazov I.Y., Aleksandrova T.N., Komarova V.S. Natural and technological tyromorphic associations of trace elements in carbonaceous rocks of the Kimkan noble metal occurrence, Far East // Russian Journal of Pacific Geology. 2012. Т. 6. № 5. P. 339-348

8. *Cances B., Ponthieu M., Casterc-Rouelle M. Metal ions speciation in a soil and its solution //Geoderma. 2003. № 113. P. 341-355.*

9. Олейникова Г.А., Панова Е.Г., Вялов В.И., Кудряшов В.Л., Сербина М.Н., Фадин Я.Ю. Нанотехнологический способ извлечения рения из пород и руд черносланцевых формаций и продуктов их переработки. Патент на изобретение RUS 2455237. Опубликовано 06.12.2010.

10. Хайрулина Л. А. Месторождения золота в черных сланцах. // Материалы VII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум»

URL:<ahref="http://www.scienceforum.ru/2015/5/10885">www.scienceforum.ru/2015/5/10885

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ МАЛОСУЛЬФИДНОГО ТИПА

С.В. Петров, И.А. Алексеев, Ю.С. Шелухина

Институт Наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

АННОТАЦИЯ

В статье приводится анализ основных свойств минералов платиновых металлов, которые используются при обогащении платинометаллических руд малосульфидного типа или оказывают влияние на результаты обогащения. Результаты флотационного обогащения проб малосульфидных руд Карело-кольского региона позволяют выявить зависимости, которые можно использовать при технологической оценке новых проявлений платиновых руд данного типа.

Ключевые слова: платинометаллические руды; малосульфидные руды; флотация; технологическая минералогия.

APPLIED MINERALOGY OF PGM AT LOW-SULFIDE DEPOSIT TYPE

S. Petrov, I Alekseev, Yu. Shelukhina

Institute of Earth Science Saint-Petersburg State University

ABSTRACT

In the article analysis of main properties of PGM, that are used during PGE ores processing or significantly influence to ore processing results, are discussed. Floatation results for Low-sulfide ores from Karelia&Kola region shows up relations, which could be used for technical estimation of new deposits with the same ore type.

Key words: PGE ores, PGM Low-sulfide ores, floatation, technological mineralogy, ore processing.

Малосульфидный технологический тип платинометаллических (ПМ) руд широко представлен в расслоенных массивах мира (массивы Бушвельд, Великая Дайка, Стиллуотер, Федорово-Панские Тундры, Скергаард, Лак де Иль, Норильск и др.). Этот тип состоит из двух основных природных типов ПМ-медно-никелевых руд: в габброидах (Рифы Меренского и JM, малосульфидные руды Талнахской интрузии и Федорово-Панских Тундр) и хромититах (Риф UG-2, Великая Дайка) [1,2]. Кроме того, весьма сходными с этими типами являются малосульфидные платиносодержащие руды в

титаномагнетитовых зональных верлит-клинопироксенитовых комплексах (качканарский тип), апатит-медно-титаномагнетитовых рудах зональных габбровых массивов (волковский тип), титаномагнетитовых рудах габбро-диабазовых интрузий (пудожгорский тип) [3] и, обнаруженные недавно, медно-платиноидные руды в метасоматических пироксенитах зональных габбро-пироксенит-дунитовых массивов (кондёрский палладиевый тип). Общим для всех этих руд является то, что они принадлежат одному технологическому типу, т.е. могут перерабатываться по одной технологии, основой которой является использование флотации, как основного обогатительного передела.

В целом схемы обогащения малосульфидных платинометалльных руд создавались с учетом того факта, что ПМ минерализация тесно ассоциирует с сульфидной. Обогащение таких руд с точки зрения платиноидов характеризуется следующими принципиально важными особенностями: самостоятельные платиновые продукты (и тем более, концентраты) с высокими содержаниями платиноидов на обогатительных фабриках, как правило, не получают. Минералы ПМ извлекаются в сульфидные концентраты, которые обрабатываются на металлургических заводах по пирометаллургическим схемам; процесс обогащения направлен на максимальное извлечение сульфидов из руды, основное технологическое свойство минералов ПМ – их высокая плотность – не используется. Если вкрапленность минералов ПМ достаточно крупная, то в процессе измельчения используется межцикловой обогатительный процесс. Чаще всего это флотация (технология MF2), но может использоваться и гравитационное обогащение.

Среди технологических свойств минералов ПМ с практической точки зрения наиболее важны следующие: морфология минеральных частиц (гранулометрия и форма кристаллов), прочностные свойства (микротвердость, хрупкость, пластичность), свойства поверхности (флотируемость). Но, перед исследованием данных свойств необходимо изучить форму нахождения платиновых металлов в рудах и ассоциации ПМ [3].

Форма нахождения металлов платиновой группы в рудах определяет технологическую схему их извлечения:

- Самородные фазы платиновых металлов и золота могут извлекаться из руд с помощью гравитационных методов в самом начале процесса обогащения, в цикле измельчения руд. Для этого применяются отсадочные машины и/или высокопроизводительные центробежные концентраторы. Полученные концентраты подвергаются перечисткам на концентрационных столах.
- Магнитные разновидности самородных металлов (изоферроплатина, тетраферроплатина, железо-платиновые сплавы) предопределяют использование

магнитной сепарации для извлечения этих минералов из руд. Магнитные концентраты доводятся гравитационными методами в отдельном цикле или совместно с никелевыми концентратами в пирометаллургическом процессе. Магнитная сепарация применяется весьма редко вследствие наличия порообразующих минералов с близкой магнитной восприимчивостью.

- Остальные минералы металлов платиновой группы (сульфиды, арсениды, теллуриды, антимониды, висмутиды, станниды и прочие, а также мелко- и тонкозернистые выделения самородных минералов) обладают флотационными свойствами подобными большинству сульфидов цветных металлов и могут извлекаться во флотационные сульфидные концентраты. Успешному применению флотации для обогащения данных минералов способствует тесная пространственная связь указанных групп минералов между собой и с сульфидами цветных металлов в рудах медно-никелевых месторождений.
- Изоморфные примеси платиноидов в сульфидных (прежде всего в пентландите, борните, халькопирите), сульфоарсенидных (кобальтин, герсдофит), теллуридных (мелонит) минералах поступают во флотационные сульфидные концентраты прямо пропорционально коэффициентам извлечения минералов – носителей примесей.

Характеристика ассоциаций минералов платиновой группы определяет нюансы измельчения руд и их последующего обогащения. Так, тесная связь ПМ с сульфидами меди и никеля в рудоносных горизонтах расслоенных массивов Бушвелд (UG2, риф Меренского), Стиллуотер (риф JM) предполагает использование флотации как основного обогатительного процесса. Минералы платиновой группы образуют субмикронные включения в сульфидах (халькопирите, пентландите, пирротине, пирите и других) или сростки с этими минералами, которые успешно извлекаются во флотационный коллективный медно-никелевый концентрат.

На некоторых железных месторождениях России ПМ вместе с сульфидами заключены в виде включений в титаномагнетите, поэтому для таких руд требуется весьма тонкое измельчение для раскрытия сростков с титаномагнетитом, чтобы избежать потерь ПМ в магнитных концентратах.

Морфология выделений минералов платиновой группы – важнейшая характеристика успешного применения гравитационных методов обогащения руд. Примером недостаточного исследования granulometрии минералов ПМ являются норильские руды. При сульфидной флотации руд в концентраты извлекаются свободные частицы минералов ПМ с размерами от 30-40 мкм до 100-150 мкм, а также сростки этих минералов с

сульфидами меди и никеля. Более крупные (изоферроплатина и сперрилит) и мелкие (станниды, арсениды и теллуриды палладия) частично уходят в хвосты обогащения.

Прочностные свойства минералов ПМ изучены очень слабо, хотя именно эти свойства определяют раскрываемость из минеральных сростаний. Обобщение литературных данных и измерений микротвердости (частный случай прочностных характеристик минералов) позволяет выделить следующие ряды минералов по убыванию этой характеристики [3].

Морфотропные ряды: самородная платина → изоферроплатина → тетраферроплатина; кейтконнит → теллуropалладинит → котульскит → меренскит; палларстанид → стиллуотерит → арсенопалладинит → палладоарсенид; мертиит → стибипалладинит; атоцит → паоловит → станнопалладинит; плюмбопалладинит → полярит → урванцевит.

Изоморфные ряды: котульскит → соболевскит; атоцит → рустенбургит; меренскит → мончеит; куперит → брэггит → висоцкит.

Изменение микротвердости в зависимости от состава минерала не однозначно, поскольку она сильно изменяется от кристаллохимических параметров, как, например, это происходит в ряду куперит → брэггит → висоцкит. Весьма показательным является изменение микротвердости в изоструктурных минералах. В группе со структурой кобальтина: чанченит → толовкит → ирарсит; падмаит → милотаит → калунгаит; холлингвортит → ирарсит → платарсит; майченерит → масловит. В группе пирита: инсизваит → геверсит → сперрилит; эрлихманит → лаурит.

Микротвердость ПМ тесно связана с раскрываемостью минералов при измельчении. По мере ухудшения раскрываемости выделяются следующие ряды минералов: самородные металлы → интерметаллические соединения → сульфоарсениды → сульфиды и их аналоги.

Весьма показательна зависимость раскрываемости минералов ПМ, относящихся к интерметаллидам, которая уменьшается в следующем ряду: AX_2 (меренскит → мончеит) → AX (котульскит → соболевскит) → A_nX (кейтконнит → арсенопалладинит) → A_3X (атокит → рустенбургит).

Свойства поверхности минералов платиновой группы (флотуруемость) является, пожалуй, самым плохо изученным и одновременно самым важным свойством минералов ПМ. Исследование флотоактивности минералов ПМ в условиях сульфидной флотации проводились нами на примере руд одного из малосульфидных месторождений Федорово-Панского массива. В рудах этого месторождения присутствует несколько разных

минеральных видов платиновых металлов. В процессе изучения кинетики флотации руды выполнены минералогические исследования последовательных фракций сульфидного концентрата. Наиболее быстро и полно флотируются теллуриды ПМ, затем – арсениды, сульфиды и, хуже всех – самородное золото (меренскит, мончеит → котульскит, соболевскит → арсенопалладинит → брэггит → самородное золото) (рис. 1).

Сходная картина извлечения МПГ в сульфидные концентраты наблюдается в малосульфидных рудах норильского рудного района (рис.2). Здесь первыми и наиболее полно извлекаются теллуриды и арсениды, в меньшей степени – сульфиды и интерметаллиды, и наиболее плохо, в основном накапливаясь в хвостах обогащения – самородные элементы.

Анализ результатов флотационного обогащения малосульфидных платинометалльных руд Карело-Кольского региона (усредненные данные по 52 пробам девяти месторождений) позволил выявить ряд зависимостей, которые можно использовать при прогнозировании технологических свойств руд новых рудопроявлений малосульфидного платинометалльного сырья [4].

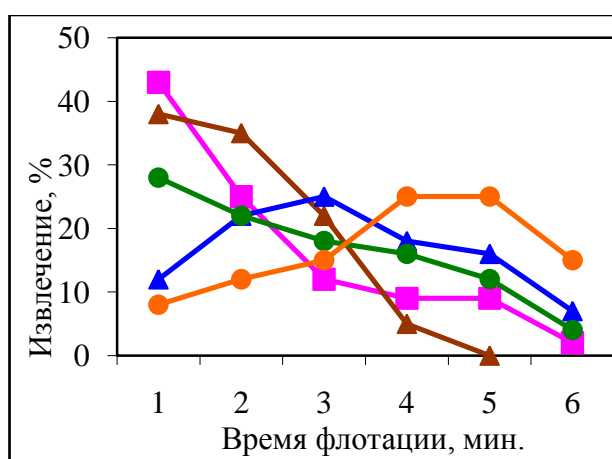


Рис. 1. Кинетика флотации минералов ПМ в условиях флотации сульфидов цветных металлов (СЦМ). 1 – котульскит, соболевскит суммарное извлечение 82%); 2 – меренскит, мончеит (90%); 3 – брэггит, высокоцит (72%); 4 – арсенопалладинит, стиллуотерит (75%); 5 – самородное золото (52%).

Платина в малосульфидных рудах обычно представлена минеральной формой, среди которых главное значение имеют сперриллит, мончеит и брэггит, что установлено многочисленными исследованиями [5-7]. Более редкими минералами платины – куперит, желез-платиновые сплавы, медно-платиновые сплавы, масловит и пр., а также платиносодержащие фазы – котульскит, соболевскит, фрудит и др. Особенности

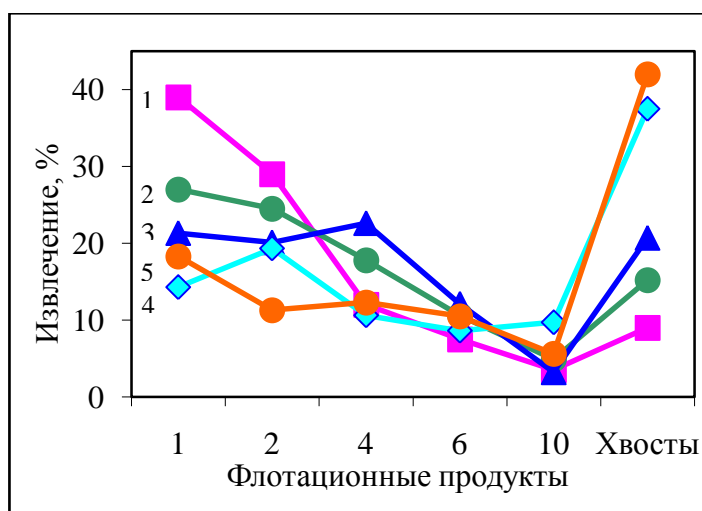


Рис. 2. Распределение минералов ПМ по продуктам флотации СЦМ руд Норильского рудного района. 1 – теллуриды; 2 – арсениды; 3 - сульфиды; 4 - интерметаллиды; 5 – самородные элементы.

минерального состава платиновых металлов в рудах оказывает влияние на результаты флотации. С повышением содержания платины в руде растут качественные показатели сульфидного ПМ содержащего концентрата (табл. 1). Изменчивость показателей обогащения определяется в основном долей интерметаллидов платины и самородных металлов в составе руды.

Таблица 1

Средние показатели флотационного обогащения платиновых минералов по классам содержаний металла в рудах

| Классы содержаний, г/т | Кол-во проб | Доля проб, % | Содержание в руде, г/т | Содержание в концентрате, г/т | Извлечение в концентрате, % |
|------------------------|-------------|--------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 0,15-0,25 | 10 | 19,2 | 0,18 | 6,4 | 69,6 |
| 0,251-0,5 | 17 | 32,7 | 0,32 | 11,5 | 72,2 |
| 0,501-0,75 | 4 | 7,7 | 0,62 | 18,3 | 79,0 |
| 0,751-1,0 | 6 | 11,5 | 0,88 | 27,4 | 83,2 |
| 1,01-1,5 | 7 | 13,5 | 1,23 | 42,8 | 85,7 |
| 1,51-2,0 | 4 | 7,7 | 1,71 | 50,1 | 89,1 |
| 2,01-2,5 | 2 | 3,8 | 2,20 | 62,6 | 89,8 |
| 2,51-3,0 | 2 | 3,8 | 2,67 | 75,5 | 91,5 |

Палладий в малосульфидных рудах имеет более сложное распределение по минеральным формам в сравнении с палладием. Главными минералами являются, висоцкит, арсенопалладинит, палладоарсенид, котульскит, а второстепенными – кейтконнит, теллеропалладинит, меренскиит, палладоарстаннид, атоцит, соболевскит,

теларгпалит, кроме того, здесь обнаружено более 25 минеральных видов палладия, которые относятся к разряду редких [5-7].

Помимо собственно минеральных форм палладия, часть металла представлена изоморфной примесью в пентландите, в среднем в этом минерале сосредоточено от $\frac{1}{3}$ до $\frac{3}{4}$ металла в руде. Наиболее высокие содержания палладия в пентландите наблюдается на месторождениях Федорово-Панских Тундр, особенно в пределах Панского и Восточно-Панского массивов. Так, среднее содержание палладия в пентландите месторождения Федоровотундровского массива составляет 420 г/т, месторождения Киевей – 1800 г/т, месторождения Верхние Чуарвы – 2300 г/т, рудопоявлений в анортозитах Южного рифа – 1100 г/т. При содержании пентландита в рудах в диапазоне 0,05-0,4 мас.% примерно половина палладия на месторождениях Федорово-Панских Тундр заключена в пентландите. В малосульфидных рудах Мончегорского района содержание палладия в пентландитах 300-600 г/т, кроме того для месторождений этого района (а также для руд Койкарского и Пудожгорского месторождений) характерно наличие сульфоарсенидов ряда кобальтин-герсдорфит, в которых устанавливается устойчивая примесь палладия – до 2-5 мас.%. При флотации формы нахождения палладия (и минеральные, и примесные) обеспечивают высокие показатели обогащения, часто значительно более высокие, чем у платины (табл. 2).

Таблица 2

Средние показатели флотационного обогащения палладиевых минералов по классам содержаний металла в рудах

| Классы содержаний, г/т | Кол-во проб | Доля проб, % | Содержание в руде, г/т | Содержание в концентрате, г/т | Извлечение в концентрате, % |
|------------------------|-------------|--------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 0,5-1,0 | 9 | 17,3 | 0,83 | 22,0 | 71,7 |
| 1,01-1,5 | 7 | 13,5 | 1,21 | 46,7 | 82,3 |
| 1,51-2,0 | 6 | 11,5 | 1,68 | 62,3 | 86,7 |
| 2,01-2,5 | 7 | 13,5 | 2,21 | 81,3 | 85,1 |
| 2,51-3,0 | 5 | 9,6 | 2,74 | 126,8 | 85,4 |
| 3,01-4,0 | 8 | 15,4 | 3,27 | 115,2 | 87,3 |
| 4,01-5,0 | 5 | 9,6 | 4,40 | 135,6 | 88,1 |
| 5,01-10,0 | 3 | 5,8 | 6,77 | 212,6 | 89,8 |
| 10,1-20 | 2 | 3,8 | 13,65 | 309,5 | 90,8 |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Platinum groups elements: mineralogy, geology, recovery /ed. by L.J.Cabri, CIM, spec. vol. 23, 1981 – 268p.

2. Platinum group elements: Mineralogy, Geology, Recovery / *Edited by* L.J. Cabri. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 1981, Special Volume 23, 206p.
3. Petrov S.V. Applied mineralogy of platinum group elements // *Mineral processing Journal*, Spec. issue for the XXII MPC, Roma, 2000, P.66-68.
4. Петров С.В. О зависимости флотационного извлечения платиноидов от содержания металлов в руде // *Обогащение руд*, 2015, №6, с. 14-19.
5. Гроховская Т.Л., Бакаев Г.Ф., Шолохнев В.В., Лапина М.И., Муравицкая Г.Н., Войтехович В.С. Рудная платинометальная минерализация в расслоенном Мончегорском магматическом комплексе (Кольский полуостров, Россия) // *Геология рудных месторождений*. 2003. Т. 45. № 4. С. 329-352.
6. Chashchin V.V., Petrov S.V. Low-Sulfide PGE ore in the Volchetundra gabbro-anorthosite pluton, Kola Peninsula, Russia // *Geology of Ore Deposits*, 2013. — Vol. 55, — № 5. — P. 357–382.
7. Балабонин Н.Л., Корчагин А.У., Субботин В.В., Нерадовский Ю.Н., Карпов С.М., Пахомовский Я.А., Савченко Е.Э. Минералы платиновых металлов и новые данные о главных минералах руд Федорово-Панского массива // *Вестник МГТУ*. 2000. Т. 3. № 2. С. 179-204.

КУЧНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ РТ-СОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ИНАГЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРОМИТОВЫХ РУД

Г.В. Петров, С.Б. Фокина, А.Я. Бодуэн, И.Е. Зотова

Санкт-Петербургский Горный Университет

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена возможность кучного выщелачивания Рт-содержащих хвостов обогащения хромитовых руд сернокислыми растворами в присутствии активного хлора. Описаны результаты исследований по концепции кучного выщелачивания техногенного сырья.

Ключевые слова: металлы платиновой группы; кучное выщелачивание; хромитовые руды; хвосты обогащения.

HEAP LEACHING OF Pt-CONTAINING TAILINGS OF INAGLINSKY DEPOSIT CHROME ORES

G. V. Petrov, S. B. Fokina, I. E. Zotova

Saint-Peterburg Mining University

ABSTRACT

The possibility of heap leaching of pt-containing tails of enrichment of chromite ores by sulfate solutions in the presence of active chlorine is considered. Results of researches on the concept of compact leaching of technogenic raw materials are described.

Keywords: platinum group metals; heap leaching; chromite ores; tailings.

В настоящее время наряду с традиционными сырьевыми источниками металлов платиновой группы (комплексные сульфидно-медно-никелевые руды Норильского рудного района Таймырского автономного округа, а также платиновые россыпи) в переработку вовлекаются хромитовые руды с платинометальным оруднением [1-3].

Переработка хромитовых руд заключается в их предварительном гравитационном обогащении [4]. При этом суммарное содержание благородных металлов в хвостах обогащения находится на уровне бедных хвостов обогащения золотодобывающих фабрик (до 0,3-1 г/т). Дополнительная переработка такого рода техногенного сырья позволит повысить сквозное извлечение платиноидов при комплексной переработке хромитовых руд.

Учитывая накопленные объемы складированных хвостов обогащения хромитовых руд и низкое содержание в них платиноидов, для исследований по извлечению металлов платиновой группы из отвальных продуктов обогащения был выбран метод кучного выщелачивания [5] с последующей переработкой растворов сорбцией. В качестве исходного материала использовалась проба хвостов обогащения хромитовых руд Инагли (табл. 1) с содержанием Pt 0,14 г/т и Pd 0,15 г/т.

Таблица 1

Химический состав пробы хвостов обогащения хромитовых руд Инаглинского месторождения

| | | | | | |
|------|------|-------|------|------|---------------|
| Cr | Fe | Mg | Ni | Al | Кремнекислота |
| 0,17 | 5,26 | 26,47 | 0,18 | 1,72 | 38,46 |

Результаты гранулометрического анализа пробы не позволяют утверждать о наличии корреляции между крупностью фракции и содержанием платиновых металлов. Расхождения в величинах содержания платины 0,05-0,19 г/т, для рутения – 0,095-0,2 г/т, что лежит в пределах ошибки анализа (табл. 2).

Таблица 2

Гранулометрический состав пробы

| Крупность, мм | Выход, % | Содержание, г/т | |
|---------------|----------|-----------------|-------|
| | | Pt | Pd |
| 0,589 | 13,84 | 0,19 | 0,11 |
| 0,417-0,589 | 5,3 | | |
| 0,295-0,417 | 8,3 | | |
| 0,208-0,295 | 17,1 | 0,05 | 0,095 |
| 0,147-0,208 | 9,49 | | |
| 0,104-0,147 | 20,24 | 0,15 | 0,2 |
| 0,074-0,104 | 8,49 | | |
| -0,074 | 17,2 | 0,14 | 0,16 |
| Сумма | 100 | | |

В качестве выщелачивающего реагента использовали сернокислый раствор предварительно насыщенный активным хлором, позволяющим окислить металлы платиновой группы и перевести их в форму хлоридов. Получение хлоридной формы платиноидов обусловлено требованиями к растворам, поступающим на последующую переработку сорбцией. Для насыщения раствора активным хлором применяли предварительный электролиз. При этом содержание хлористого натрия в выщелачивающем растворе определялось, прежде всего, количеством, необходимым для электролитического получения хлора, и растворимостью последнего. Предварительные

эксперименты по определению емкости руды по хлору показали, что для окисления компонентов руды необходимо вводить 5 кг хлора на 1 тонну перерабатываемого сырья.

В соответствии с принятой методикой испытание сырья как объекта кучного выщелачивания начинали с выщелачивания хвостов обогащения в обычных условиях. Испытания проводились при следующих режимах агитационного процесса: время выщелачивания 25 ч; концентрация серной кислоты 5-20 г/л; температура 20 °С; Ж:Т=2.

Установлено, что изменение кислотности среды влияет на показатели извлечения в раствор железа и магния: при концентрации серной кислоты 20 г/л извлечение железа в раствор составило 3 %, магния 1,1 %; при концентрации серной кислоты 5 г/л - 0,9 и 0,12 % соответственно. Переход хрома в раствор составил 0,15 %, никеля - 2,2 %. Изменение концентрации хлорида натрия в растворе выщелачивания не оказало влияния на поведение металлов. Во всех исследуемых условиях выщелачивания убыль твердого не превысила 5,5 %.

Переход благородных металлов в раствор выщелачивания оказался наибольшим при вскрытии рудной массы при рН среды не выше 1: для платины 78 %, для палладия 79 %, рутения >28 %, родия 81,5 %, иридия >58 %, золота 30 %. Повышение рН>2 способствует гидролизу железа, что может приводить к соосаждению платиновых металлов с образующимся гидроксидом.

Достигнутая высокая степень извлечения платиноидов дает основание рассматривать хвосты обогащения хромитовых руд как перспективный объект для их переработки методом кучного выщелачивания.

Кучное выщелачивание в лабораторных условиях моделировали в вертикальной колонке высотой 400 мм, диаметром 12 мм. Режим выщелачивания был принят с учетом результатов агитационного выщелачивания.

Для определения минимальной и максимальной скоростей просачивания технологического раствора были использованы фракции руды соответствующей крупности (-0,074 мм и +0,589 мм). При кучном выщелачивании золота допускается скорость просачивания раствора 0,2 см³/час, что значительно ниже полученного минимального значения -1,5 см³/ч. Это свидетельствует о возможности выщелачивания исследуемой руды без дополнительного окускования. Максимальная скорость просачивания раствора через крупную фракцию сырья составила порядка 600 см³/ч.

Кучное выщелачивание осуществлялось в режиме подачи свежего выщелачивающего раствора. Критерием эффективности процесса служило извлечение благородных металлов в продуктивный раствор.

Выявлено, что в процессе кучного выщелачивания исследуемой пробы хвостов обогащения хромитовых руд в оптимальном режиме за 145 часов суммарное извлечение платиновых металлов в раствор снизилось на 3-5% по сравнению с показателями агитационного выщелачивания.

Для последующего концентрирования благородных металлов из продуктивных растворов выщелачивания целесообразно использовать метод сорбции.

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать хвосты обогащения хромитовых руд как перспективный объект для переработки методом кучного выщелачивания: применение метода кучного выщелачивания, характеризуемого низкой капиталоемкостью, позволит вовлечь в переработку складированные хвосты обогащения хромитовых руд и тем самым снизить безвозвратные потери платиновых металлов. При этом использование неагрессивных выщелачивающих растворов не потребует дополнительных средозащитных мероприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазаренков В.Г. Месторождения платиновых металлов / В.Г. Лазаренков, С.В. Петров, И.В. Таловина - СПб: Недра, 2002. - 297 с.
2. Чантурия В.А. Дунитовые руды новый вид платиносодержащего сырья Текст. / В.А. Чантурия, Козлов А.П., Толстых Н.Д. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - Отдел, вып. № 1. - С. 553-566.
3. Петров Г.В. Концентрирование платиновых металлов при переработке традиционного и нетрадиционного платинометального сырья. - СПб: Санкт-Петербургский горный ин-т, 2001. - 106 с.
4. Чантурия В.А. Платиносодержащие дунитовые руды и их обогатимость / В.А. Чантурия, А.П. Козлов - М.: УРАН ИПКОН РАН, 2009. - 148 с.
5. Лисовский Г.Д. Кучное и подземное выщелачивание металлов / Г.Д. Лисовский, Д.П. Лобанов, В.П. Назаркин и др.; Под ред. С.Н. Волощука - М: Недра, 1982. - 113 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ШАМОЗИТА

О.А. Дубовиков, И.В. Таловина, Д.А. Логинов, Е.С. Николаева

Санкт-Петербургский горный университет

АННОТАЦИЯ

Для эффективной переработки высококремнистого бокситового сырья на глинозем в Горном университете был разработан универсальный способ термохимия-Байер, включающий обжиг, обескремнивание и автоклавное выщелачивание. Основными носителями кремнезема в бокситах являются такие алюмосиликаты, как каолинит и шамозит, знание механизма разложения которых при термической активации позволит наиболее эффективно проводить обескремнивание сырья. В работе представлены результаты экспериментального исследования термического разложения шамозита, на основании чего было установлено, что обжиг шамозита при температуре выше 600°C способствует полному разложению шамозита с образованием аморфной фазы, представленной диоксидом кремния и плохо окристаллизованным γ -Al₂O₃, и кристаллической фазы, представленной гематитом.

Ключевые слова: низкокачественные бокситы, термохимия-Байер, термическая активация, каолинит, шамозит, обескремнивание, автоклавное выщелачивание.

CHAMOSITE THERMAL DECOMPOSITION RESEARCH

O.A. Dubovikov, I.V. Talovina, D.A. Loginov, E.S. Nikolaeva

Saint Petersburg mining university

ABSTRACT

For the effective processing of low-grade bauxite raw materials universal method of thermochemistry-Bayer, which includes roasting, desiliconization and autoclave leaching, has been developed at the Mining University. The main carriers of silica in the bauxite are such alumino-silicates, as kaolinite and chamosite, knowledge for the decomposition mechanism of which during thermal activation allows most effectively to carry out the desiliconization of raw materials. The paper presents the results of an experimental study of the chamosite thermal decomposition, whereby it has been established that roasting of chamosite at temperature above 600°C leads to the complete chamosite decomposition with forming an amorphous phase, represented by silicon dioxide and poorly crystallized γ -Al₂O₃, and the crystal phase represented by hematite.

Key words: low-quality bauxite, thermochemistry-Bayer, thermal activation, kaolinite, chamosite, desiliconization, autoclave leaching.

Введение. В связи с истощением отечественных запасов высококачественных бокситов (основного сырья для производства алюминия) и необходимостью снижения зависимости от импортируемого сырья, большое внимание в алюминиевой промышленности России уделяется вовлечению низкокачественного бокситового сырья в технологический процесс, значительные запасы которого имеются на территории нашей страны. С этой точки зрения перспективным сырьем являются высококремнистые бокситы месторождений Среднего Тимана (Республика Коми), Северной Онеги (Архангельская область) и Казахстана, как ближнего зарубежья [1]. В настоящее время высококремнистые бокситы перерабатываются комбинированными способами Байер-спекание, которые связаны с высокими энергетическими затратами [2, 3]. В этой связи разработка универсального экономически целесообразного способа является актуальным вопросом. Исследования, проведенные в Горном институте, показали возможность эффективной переработки низкокачественных высококремнистых бокситов способом термохимия-Байер, включающим термическую активацию боксита с последующим обескремниванием щелочным раствором (термохимическое кондиционирование) и выщелачивание полученного продукта по способу Байера [4, 5]. Идея термохимического кондиционирования высококремнистых бокситов заключается в предварительной термической обработке кремнеземсодержащих минералов, что позволяет перевести диоксид кремния в аморфную форму с последующим растворением последнего в щелочном растворе слабой концентрации. Незначительное растворение глинозема в силу его умеренной пассивации (перехода γ - Al_2O_3 модификации в модификацию α - Al_2O_3) позволяет свести к минимуму потери оксида алюминия. При практически полной ясности в вопросе, связанном с механизмом разложения каолинита, раскрытым ректором Горного университета (1982-1984 гг.) Н.И. Ереминым [6], поведение шамозита при обжиге остается до конца не изученным аспектом способа термохимия-Байер, представляющим научный и практический интерес.

Методика исследований. Были отобраны пробы шамозита с различными соотношением ортогональной модификации к моноклинной (О/М), вычисленным по соотношению интенсивностей соответствующих рефлексов на рентгенограммах ($d = 0,251$ нм – ортогональная форма, $d = 0,240$ нм – моноклинная форма), и степенью окисленности $\text{Fe}^{+3}/\text{Fe}_{\text{общ}}$ (таблица 1). Термин «ортогональный» более предпочтителен, чем «ромбический» или «гексагональный», ввиду неясности истинной симметрии структуры.

Таблица 1

Химический состав исследуемых проб шамозита

| № | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | Na ₂ O | TiO ₂ | ППП | Fe ⁺³ /Fe _{общ} | O/M |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|------------------|------|-------------------------------------|------|
| 1 | 15,3 | 18,3 | 25 | 29,6 | 0,2 | 1,2 | 8,1 | 0,42 | 2,14 |
| 2 | 26,0 | 31,8 | 13 | 8,4 | 0,3 | 1,96 | 15,6 | 0,58 | 2 |
| 3 | 22,4 | 23,7 | 15,8 | 23,3 | 0,2 | 0,6 | 10,5 | 0,38 | 9 |

Пробы шамозита обжигались в печи при температуре 600°C, после чего исследовались рентгенофазовым анализом. Исходя из предположения, что при термической обработке образуется большое количество аморфной фазы, представленной оксидом алюминия и диоксидом кремния, обожженные пробы шамозита подвергались обработке щелочным раствором 150 г/л Na₂O_к и Ж:Т = 10:1 при температуре 95°C в течении 40 минут. Исходные пробы шамозита также подвергались выщелачиванию для сравнения. Также проба шамозита исследовалась методом дифференциального термического анализа (ДТА).

Выщелачивание проводили в реторте из фторопласта, перемешивание осуществлялось с помощью пропеллерной мешалки. Для мешалки было найдено численное значение критерия Рейнольдса ($Re = 2,8 \cdot 10^4$), отвечающее режиму развитой турбулентности, по критериальному уравнению с использованием критериев и симплексов подобия: $Re = cGa^k \Gamma_\rho^e \Gamma_{d_ч}^m \Gamma_D^n$, где Ga – критерий Галилея, Γ_ρ – симплекс отношения плотности частиц к плотности среды, $\Gamma_{d_ч}$ – симплекс отношения диаметра частицы к диаметру мешалки, Γ_D – симплекс отношения диаметра емкости к диаметру мешалки, c, k, e, m, n – постоянные для каждого типа мешалки. Далее было рассчитано соответствующее число оборотов мешалки (620 об/мин) по уравнению:

$$n = Re \cdot \frac{\mu}{\rho_n \cdot d^2} \cdot 60, \text{ где } \mu \text{ – динамическая вязкость, Па} \cdot \text{с; } \rho_n \text{ – плотность пульпы, кг/м}^3;$$

d – диаметр мешалки, м.

Обсуждение результатов. Согласно данным, полученным в результате рентгенофазового анализа (рис. 1а), исследуемые пробы шамозита относятся к каолиническому типу, поскольку отсутствует дифракционный пик, соответствующий межплоскостному расстоянию $d = 1,4$ нм, характерный для хлоритов. На рентгенограммах всех исходных проб имеются основные рефлекссы шамозита: d (нм) = 0,7; 0,35; 0,25; 0,24. Обжиг при температуре выше 600°C привел к полному разрушению шамозита и, как следствие, образованию из него большого количества аморфной фазы, представленной оксидом алюминия и диоксидом кремния, и кристаллической фазы, представленной гематитом (рис. 1б).

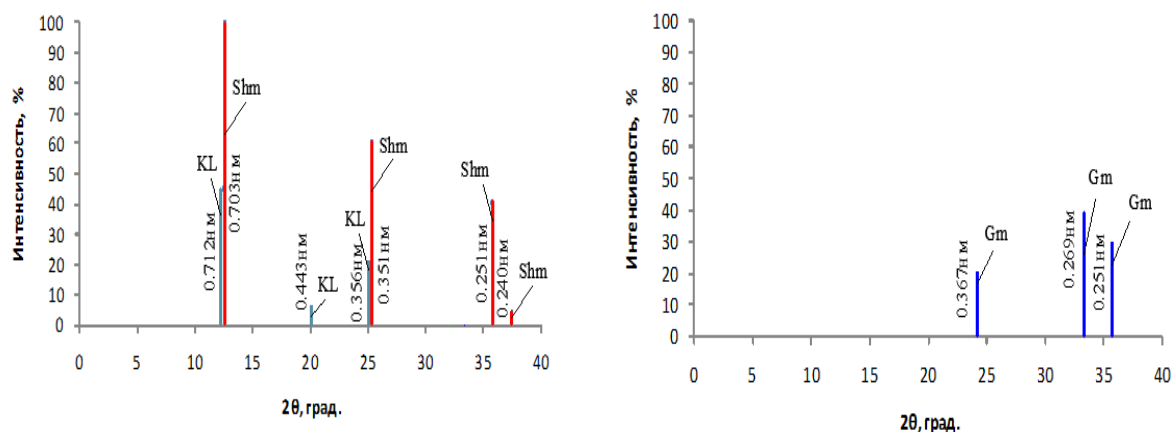


Рис. 1. Характерная штрих-диаграмма шамозита до (а) и после обжига при температуре 600°C (б)

Образование аморфной фазы было подтверждено при помощи химического апробирования с использованием свойства аморфного диоксида кремния и плохо окристаллизованной модификации γ - Al_2O_3 растворяться в щелочах (таблица 2). Степень разложения шамозита определялась по мольному отношению $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ в твердой фазе с учетом того, что в нашем случае образовывался преимущественно гидроалюмосиликат натрия (ГАСН) состава $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2,4\text{SiO}_2$.

Таблица 2

Результаты выщелачивания исходных и обожженных проб шамозита

| № пробы | Термообработка | Состав жидкой фазы, г/л | | | Состав твердой фазы, % | | | | $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ в твердой фазе (мольное) |
|---------|----------------|-------------------------|----------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---|
| | | Al_2O_3 | SiO_2 | Na_2O | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | Na_2O | |
| 1 | Нет | 0,55 | 0,79 | 136,4 | 14,6 | 17,5 | 53,6 | 1,3 | 0,09 |
| | 600°C | 6,41 | 1,87 | 136,4 | 14,4 | 15,1 | 56,5 | 5,8 | 0,39 |
| 2 | Нет | 5,97 | 0,86 | 135,6 | 26,2 | 27,6 | 21,6 | 6,3 | 0,23 |
| | 600°C | 4,54 | 0,44 | 124 | 24,4 | 21,9 | 20,6 | 12 | 0,48 |
| 3 | Нет | 3,35 | 1,5 | 135,6 | 22,4 | 22,1 | 40,6 | 0,7 | 0,03 |
| | 600°C | 2,97 | 1,63 | 117,4 | 20,0 | 21,7 | 36,1 | 8 | 0,39 |

Примечание. Мольное отношение $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2 = 0,42$ при образовании ГАСН состава $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2,4\text{SiO}_2$

Из таблицы 2 видно, что степень разложения обожженного шамозита значительно выше, чем у исходных проб. Тем не менее, определение степени разложения необожженного шамозита при выщелачивании позволило установить влияние степени окисленности и соотношение ортогональной и моноклинной форм шамозита на его разложение (таблица 3).

Влияние химико-минералогического состава исходного шамозита на его разложение

| № пробы | Отношение ортогональной формы к моноклинной | Степень окисленности | Мольное отношение $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ |
|---------|---|----------------------|--|
| 2 | 2 | 0,6 | 0,23 |
| 1 | 2,14 | 0,46 | 0,09 |
| 3 | 9 | 0,4 | 0,03 |

Как видно из таблицы 3, мольное отношение $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ в шламе возрастает с повышением степени окисленности и уменьшением отношения ортогональной формы к моноклинной.

Образование гематита в результате обжига также подтверждается расшифровкой термограммы пробы шамозита, представленной на рисунке 2. На термограмме имеются эндотермические пики в диапазонах температур от 20 до 233°C и от 233 до 338°C, связанные соответственно с потерей адсорбционной и химически-связанной воды, а также эндо- и экзотермические пики при дальнейшем нагревании, обусловленные процессами дегидроксилирования и кристаллизации.

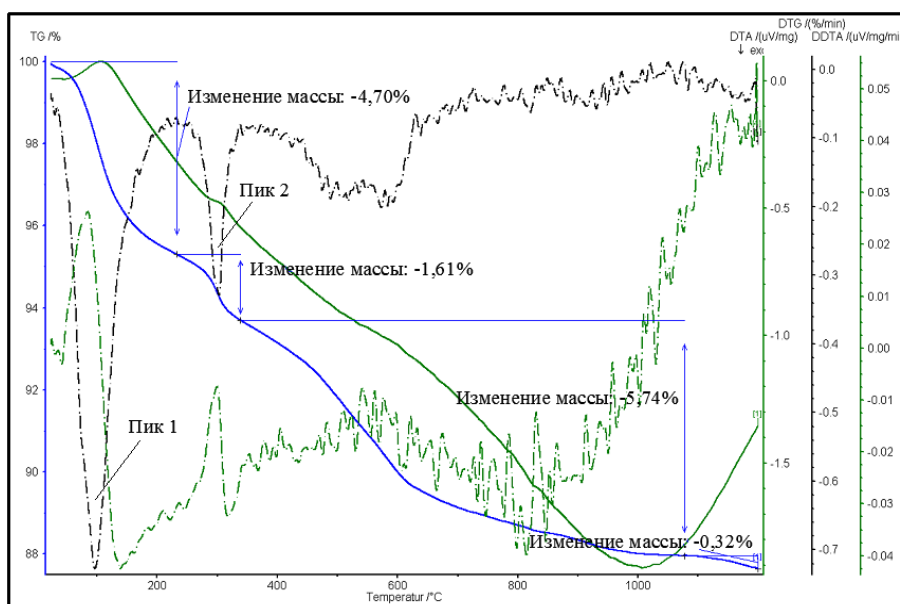


Рис. 2. Термограмма шамозита

Таким образом, экспериментально установлено, что термическая обработка шамозита при температуре 600°C приводит к образованию аморфной фазы, представленной оксидом алюминия и диоксидом кремния, и кристаллической фазы в виде гематита (рисунок 3), а также экспериментально подтверждено, что пробы шамозита с меньшей степенью окисленности и преобладающей ортогональной формой более стойкие к щелочным растворам.

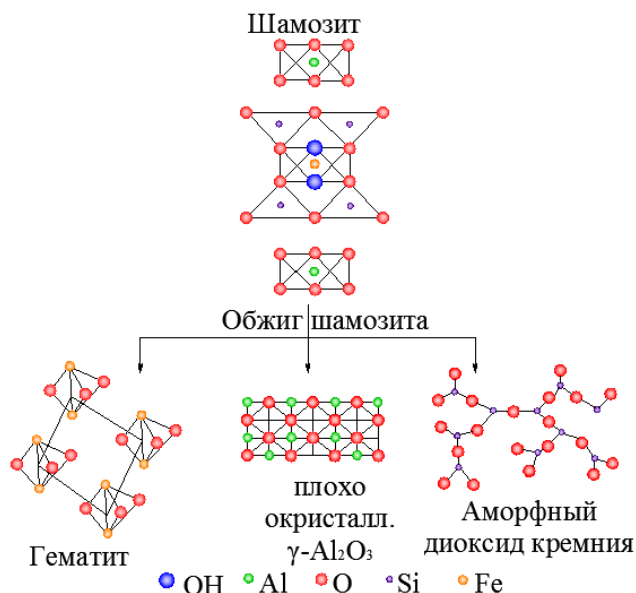


Рис. 3. Графическая интерпретация термического разложения шамозита

В опытно-промышленном масштабе проверена аппаратурно-технологическая схема переработки высокошамозитизированных бокситов способом термохимия-Байер (рис. 4).

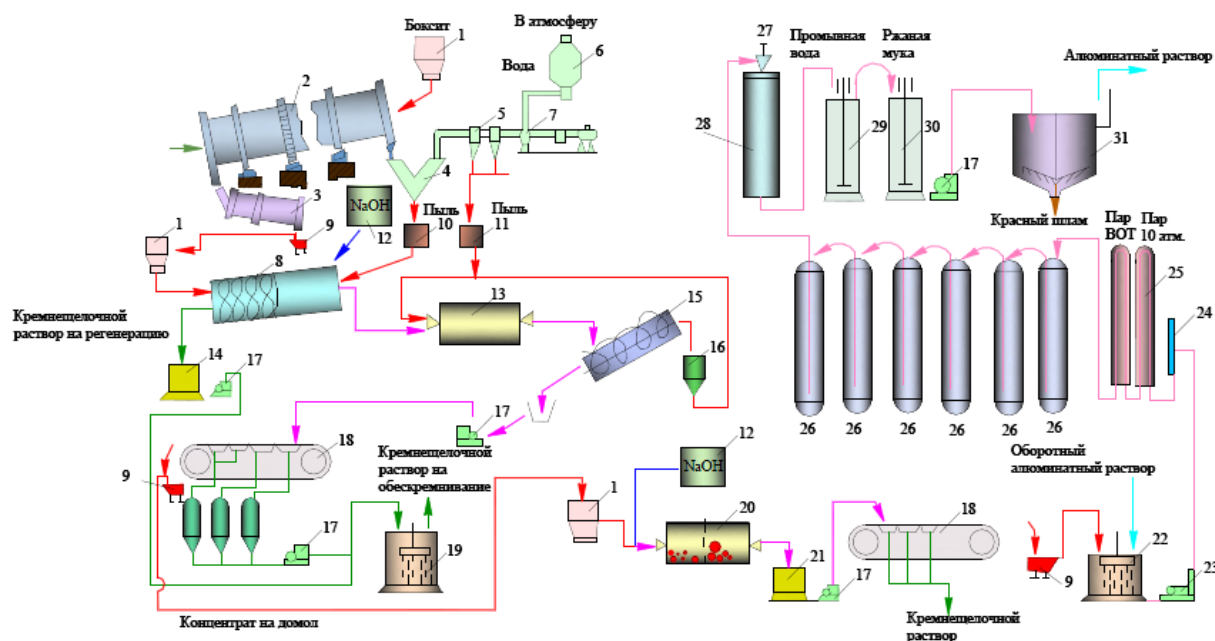


Рис. 4. Аппаратурно-технологическая схема переработки высокошамозитизированных бокситов способом термохимия-Байер: 1 – бункер; 2 – трубчатая печь; 3 – барабанный холодильник; 4-7 – газоочистка; 8 – трубчатый аппарат; 9 – кубель; 10 и 11 – приемники пыли; 12 – бачок; 13 – мельница; 14 – мешалка; 15 и 16 – гидроклассификатор; 17 – насос; 18 – фильтр; 19 – регенерация раствора; 20 – мельница; 21 – бачок; 22 – мешалка сырой пульпы; 23-31 – переработка концентрата по способу Байера

Заключение

1. Экспериментально установлено, что термическая обработка шамозита при температуре выше 600°C приводит к образованию аморфной фазы, представленной оксидом алюминия и диоксидом кремния, и кристаллической фазы в виде гематита.

2. Экспериментально подтверждено, что пробы шамозита с меньшей степенью окисленности и преобладающей ортогональной формой более стойкие к щелочным растворам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2013 году» [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/914/Report2014.pdf>.

2. Smith, P. The processing of high silica bauxites – Review of existing and potential processes / P. Smith // Hydrometallurgy. – 2009. – № 98. – P. 162–176.

3. Логинова, И.В. Технология производства глинозема : учебное пособие / И.В. Логинова, А.В. Кырчиков, Н.П. Пенюгалова; под общ. ред. проф. И.В. Логиновой. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 336 с.

4. Сизяков, В.М. Теория и практика термохимического обогащения низкокачественных бокситов / В.М. Сизяков, О.А. Дубовиков, Д.А. Логинов // Обогащение руд. – 2014. – № 5. – С.10-17.

5. Дубовиков, О.А. Теория и практика способа «Термохимия-Байер» / О.А. Дубовиков, Д.А. Логинов, А.Д. Тихонова // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование-2. Материалы Международной научно-практической конференции. – Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №11 (Отдельный выпуск 60-2). – С. 97-107.

6. Еремин, Н.И. Исследование термических превращений каолина химическим методом / Н.И. Еремин, М.И. Ерусалимский // Журнал прикладной химии. – 1969. – Вып. 42. – № 3. – С. 497-501.

**ПЕТР СОБОЛЕВСКИЙ – ОСНОВОПОЛОЖНИК ПОРОШКОВОЙ
МЕТАЛЛУРГИИ**

В.Г. Афанасьев, И.В. Волошинова, В.Н. Шайдуров

Санкт-Петербургский Горный университет

АННОТАЦИЯ

Начало порошковой металлургии неразрывно связано с обработкой такого благородного металла как платина. О его существовании стало известно еще с XVI века, когда испанские конкистадоры на золотых приисках Колумбии был обнаружен неизвестный металл, который по своим характеристикам обещал широкие перспективы применения.

Ключевые слова: порошковая металлургия; чеканка монет; горный кадетский корпус.

PETER SOBOLEWSKI IS THE FOUNDER OF POWDER METALLURGY

V.G. Afanasyev, I.V. Voloshinova, V.N. Shaidurov

Saint-Petersburg Mining University

ABSTRACT

The beginning of powder metallurgy is inextricably linked to the treatment of such a noble metal as platinum. About its existence it became known from the XVI century, when Spanish conquistadors to the gold mines of Colombia, was discovered an unknown metal, which by its characteristics promised broad application prospects.

Keywords: powder metallurgy; coinage; mining cadet corps.

По мере развития геологоразведочных работ в начале XIX в. этот металл был найден и на Урале, где была начата его добыча вначале полукустарным способом, но постепенно она стала иметь ярко выраженную тенденцию к росту. Так, если в 1824 г. её добыча в России составила 2 пуда 83 золотника и 55 долей, то в 1828г. в стране было добыто 93 пуда 33 фунта 23 золотника и 43 доли. Примечательно, что почти весь прирост добычи оказался достигнут за счет частных рудников, на которых в том же 1828 г. было добыто 90 пудов 7 фунтов 47 золотников и 92 доли[1]. Напомним, что в XIX в. пуд был равен 40 фунтам или 16,38 кг. В свою очередь фунт равнялся 96 золотникам или 409,512 г. Наконец, золотник равнялся 96 долям или 4,2657 г. Несмотря на эти успехи

первоначальные попытки применения платины в большом количестве не увенчались успехом, хотя отдельные предметы бытового назначения – кольца, чайная ложка и даже чернильница были изготовлены искусными уральскими мастерами А. Архиповым и В. Сысоевым.

Поворотным пунктом по широкому практическому применению платины стало создание при Горном Кадетском корпусе на основании указа Николая I от 3 августа 1826 г. лаборатории, которая должна была способствовать не только научному исследованию различных сторон металлургического производства, но и совершенствованию преподавания в корпусе химии, пробирного искусства и металлургии. Штат лаборатории был утвержден в количестве 9 человек, расходы на её содержание, включая покупку материалов, инструментов и годовое содержание штатных работников составили 15120 рублей[2]. Первым директором лаборатории или обер-берг-пробирером был назначен Петр Григорьевич Соболевский (1782-1841).

Сын профессора ботаники, выпускник сухопутного шляхетского кадетского корпуса, после шести лет военной службы в лейб-гренадерском полку перешел на гражданскую службу и стал заниматься различными вопросами науки и техники. Широкую известность ему принесло то, что в 1811 г. он сконструировал первый прибор для газового освещения под названием «термоламп». Хотя количество изготовленных приборов было небольшое, новинка в центре города привлекала своей оригинальностью и он стал основоположником применения газа для бытовых нужд. За это изобретение Петр Григорьевич был награжден одним из наиболее значимых орденов России – Святого Владимира 4-й степени. С 1815 г. он служил на одном из наиболее крупных металлургических заводов России – Камско-Воткинском, став управляющим предприятия и усовершенствовав выплавку чугуна не только на этом, но и на других уральских предприятиях. Кроме того, он сконструировал пароходы, курсировавшие с 1817 г. по Волге и Каме. С 1824 г. он вплотную занимался воплощением проекта о строительстве соединенной лаборатории Горного кадетского корпуса и Департамента горных и соляных дел, поэтому его назначение директором ни в коем случае нельзя было считать случайностью.

Ближайшим помощником Соболевского оказался Василий Васильевич Любарский (1795-1852). Выпускник Горного кадетского корпуса 1816 г. после окончания учебы заведовал лабораторией на Кушвинском заводе Гороблагодатского округа и до переезда в Петербург работал в лаборатории Екатеринбургских горных заводов. Он получил известность по изучению железных руд Урала, а в 1823 г. установил наличие и состав

платины и осмистого иридия на рудниках этого региона, а также провел их физико-химическое исследование.

Докладывая о начальном этапе деятельности объединенной лаборатории на торжественном собрании Ученого комитета по горной и соляной части 21 марта 1827 г. Соболевский продемонстрировал первые образцы изделий из платины – различные жетоны, а также слиток весом в 6 фунтов. Кроме того он подчеркивал, что «выделенная нами платина употреблена на выбитие жетонов и медалей... немалая её часть употреблена также золотых дел мастерами, доказавшими, что сия платина ни в чем не уступает обработанной во Франции... Способ сей представляет еще ту немалую выгоду, что при оном почти не бывает никакой растраты дорогого металла; напротив того, при обработке мышьяком, потеря была весьма значительна»[3].

Рассматривая эти проблемы, обратим внимание на два обстоятельства. Во-первых, труд Соболевского и его помощников. В течение ряда лет они проводили многочисленные опыты, пока, наконец, не добились того, что горячую смесь из порошка платины и угля подвергли сильному давлению пресса, в результате чего весь порошок платины слился в один комочек. Это открытие получило в дальнейшем название «порошковая металлургия» и в дальнейшем нашло широкое применение в промышленности. С помощью его изготавливают изделия из материалов, получение которых невозможно другими способами, например, из несплавляющихся металлов, композиций металлов с неметаллами.

Во-вторых, успехи русских ученых стали бы малоуспешными без действенной помощи со стороны руководства страны. Известно, что 12 февраля 1829 г. Горный кадетский корпус посетил император Николай I (отметим, что его посещения этого учебного заведения особенно в первое десятилетие правления носило частый характер). Он внимательно осмотрел учебные классы, музей, места для отдыха и хозяйственные помещения, церковь и лазарет. Особое внимание его привлекла работа объединенной лаборатории, в которой он присутствовал во время проведения очередного опыта по обработке платины. В конце посещения император высказал удовлетворение всем увиденным[4].

Подводя итоги проделанной работы, Соболевский в докладе на торжественном публичном собрании Ученого комитета 31 марта 1829 г. отмечал, что в лаборатории «устроенной для химических испытаний, встречающихся по горному ведомству и для классных опытов Горного кадетского корпуса, без особенных усилий с 1 мая прошедшего года по 31 марта 1829 г. очищено и обращено в ковкое состояние более 52 пудов сырой платины и обрезков от проковок оной»[5].

Надо признать, что заслуги Соболевского были по достоинству оценены государством. Министр финансов России граф Е.Ф. Канкрин, которому в те годы подчинялся не только столичный Монетный двор, но и Горный кадетский корпус, писал на имя Николая I: «Обработка платины долгое время почти исключительно принадлежала Франции. Сперва искусство очищения сего металла в большом количестве оставалось неизвестным. Наконец, в конце 1826 г. обер-бергпробирер Соединенной лаборатории Департамента горных и соляных дел и Горного кадетского корпуса обербергмейстер Соболевский изобрел весьма простой, легкий и удобный способ обработки платины посредством которого с 12 мая 1826 года по 1 ноября сего года очищено и обращено в ковкое состояние до 97 пудов сырой платины». За эти заслуги перед Россией Соболевскому было утверждено вознаграждение в 2500 рублей в год «доколе на службе пребывает»[6]. Заслуживает внимания то, что в 1830 г. Российской Академией наук он был избран её членом-корреспондентом.

Но что же делать с добываемой и обработанной платиной? Соболевский на этот счет утверждал 31 марта 1829 г.: «До сего времени металл сей имел у нас самое малое употребление и польза его нашими фабрично-заводскими заведениями почти неизвестна. Между тем, как многие заведения в иностранных государствах от одного употребления платиновых сосудов, пользуются выгодами неимоверными»[7].

Выход нашелся в том, что по инициативе министра финансов Е.Ф. Канкрин 24 апреля 1828 г. был принят именной указ Николая I «О чеканке из Уральской платины новой монеты, ценою в три рубля на серебро»[8] и применению её во внутренней и внешней торговле на добровольных началах. Согласно указу «новую монету из платины чеканить... ценою в три рубля на серебро, весом в два золотника сорок одну долю чистой платины» и разъяснялось, что «платина имеет те свойства, что она крепче серебра, цветом синее, относительная её тяжесть более, нежели вдвое против серебра; она сама по себе не плавка, но может быть кована; против кислот имеет те же свойства, как золото».

Надо признать, что платиновые монеты в России распространялись короткое время, поскольку 22 июня 1845 г. Николай I подписал указ «О обмене платиновой монеты»[9]. В нем сообщалось: «Для приведения Нашей монетной системы в совершенную стройность... прекратить вовсе чекан платиновой монеты, повелеваем: обмен платиновой монеты производить, по мере её предъявления, на золотую и серебряную монету и на кредитные билеты, во всех Казначействах, в течение шести месяцев со дня получения указа. По истечении сего срока прием платиновой монеты... воспрещается». За весь период обращения платиновой монеты в 1828-1845 гг. было отчеканено: трехрублевиков

1 373 691 штука, шестирублевиков – 14847 и двенадцатирублевиков – 3474 штуки на общую сумму 4 251 843 рубля.

С того времени прошли десятки лет. Платина и до сих пор находит широкое применение в различных отраслях промышленности. Но в Горном университете гордятся тем, что на левом крыле фасада установлена мраморная доска в честь работавшего здесь Петра Григорьевича Соболевского – основоположника широкого практического применения платины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболевский П.Г. Об успехах обработки платины // Горный журнал. 1829 г. Ч. 2. Кн. 5. С. 280.
2. ПСЗРИ (Полный свод законов Российской империи) – 2. Т. 1. № 504.
3. Соболевский П.Г. Об очищении и обработке сырой платины // Горный журнал. 1827. Кн. 4. С. 103-104.
4. Горный журнал. 1829. Ч. 2. Кн. 4. С. 133.
5. Соболевский П.Г. Об успехах обработки платины. // Горный журнал. 1829 г. Ч. 2. Кн. 5. С. 281.
6. Бальшин М., Катренко Д. Металлы – алмазы и металлы – губки // Техника – молодежи. 1945. № 7-8. С. 11.
7. Соболевский П.Г. Об успехах обработки платины. // Горный журнал. 1829 г. Ч. 2. Кн. 5. С. 282.
8. ПСЗРИ – 2. Т. 3. № 1987.
9. ПСЗРИ – 2. Т. 20. № 19121.

П781 **Проблемы геологии и эксплуатации месторождений платиновых металлов:**
материалы всероссийской конференции с международным участием (I научных
чтений памяти профессора В.Г. Лазаренкова) 25 мая 2016 г. / «Санкт-
Петербургский горный университет». – Санкт-Петербург, 2016. – 171 с.

УДК 553.491.8

ББК 26.34+65.304.12

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ**

**ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
(I НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА В.Г. ЛАЗАРЕНКОВА)**

25 мая 2016 г.

Материалы конференции

Статьи публикуются в авторской редакции

Оригинал-макет подготовлен кафедрой исторической и динамической геологии
геологоразведочного факультета

Сборник включен в базу данных
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)
Научной электронной библиотеки <http://elibrary.ru>

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Санкт-Петербургский горный университет
Адрес университета: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2