

УДК 549.271.3:553.068.51(571.651)  
doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-6-87-99

## МИНЕРАЛЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ БАИМСКОГО РОССЫПНОГО ЗОЛОТОНОСНОГО УЗЛА, ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА — НОВЫЕ ДАННЫЕ

Евгений Алексеевич Власов<sup>1✉</sup>, Александр Геннадиевич Мочалов<sup>2</sup>,  
Марина Федоровна Вигасина<sup>3</sup>, Василий Дмитриевич Щербаков<sup>4</sup>,  
Павел Юрьевич Плечов<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; user420@geol.msu.ru ✉

<sup>2</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия; mag1950@mail.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; vigasina55@mail.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; vasilij7@gmail.com

<sup>5</sup> Минералогический музей им. А.Е.Ферсмана РАН, Москва, Россия; mineral@fmm.ru

**Аннотация.** Изложены результаты исследования минералов платиновой группы Баймского россыпного золотоносного узла (Западная Чукотка, Россия), которые относятся к иридисто-платиновому и платиновому минералого-геохимическим типам. Потенциальным коренным источником являются кумулятивные пироксенит-габбровые комплексы позднеюрского возраста. Минералы платиновой группы попадают в аллювиальные россыпи золота в основном из промежуточных коллекторов — вулканогенно-осадочных толщ волжского яруса  $J_3V_{2-3}$ . Особенностью минералов платиновой группы Баймского россыпного узла является наличие округлых включений силикатного стекла.

**Ключевые слова:** минералы платиновой группы, включения, силикатное стекло, Баймский россыпной узел, Западная Чукотка, коренные источники

**Для цитирования:** Власов Е.А., Мочалов А.Г., Вигасина М.Ф., Щербаков В.Д., Плечов П.Ю. Минералы платиновой группы Баймского россыпного золотоносного узла, Западная Чукотка — новые данные // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 6. С. 87–99.

## PLATINUM GROUP MINERALS OF THE BAIMKA GOLD PLACER CLUSTER, WESTERN CHUKOTKA: THE NEW DATA

Evgeniy A. Vlasov<sup>1✉</sup>, Aleksandr G. Mochalov<sup>2</sup>, Marina F. Vigasina<sup>3</sup>,  
Vasilij D. Shcherbakov<sup>4</sup>, Pavel Yu. Plechov<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; user420@geol.msu.ru

<sup>2</sup> Institute of Precambrian Geology and Geochronology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia; mag1950@mail.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; vigasina55@mail.ru

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; vasilij7@gmail.com

<sup>5</sup> Fersman Mineralogical Museum RAS, Moscow, Russia; mineral@fmm.ru

**Abstract.** The results of the study of the platinum group minerals of the Baimka gold placer cluster, Western Chukotka, Russia, are presented. Platinum group minerals belong to the iridium-platinum and platinum mineralogical-geochemical types with the Late Jurassic cumulative pyroxenite-gabbro complexes as a probable source. Platinum group minerals came to alluvial gold placers primarily from intermediate reservoirs, which is the Volgian volcanic-sedimentary sequence. Rounded silicate glass inclusions are a specific feature of platinum minerals from the Baimka placer cluster.

**Keywords:** platinum group minerals, inclusions, silicate glass, Baimka (Vesenniy) placer cluster, Western Chukotka, primary sources

**For citation:** Vlasov E.A., Mochalov A.G., Vigasina M.F., Shcherbakov V.D., Plechov P.Yu. Platinum group minerals of the Baimka gold placer cluster, Western Chukotka: The new data. *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 6: 87–99. (In Russ.).

**Введение.** Во второй половине XX в. в золотоносных россыпях Алучинского поднятия (Билибинский район, Западная Чукотка) были обнаружены минералы платиновой группы (МПГ). Первые исследования МПГ проведены в СВКНИИ ДВО АН СССР и ВНИИ-1 МЦМ СССР (1978–1981) [Мочалов, 2001]. Попутные МПГ были установлены практически во всех россыпях самородного

золота Баймского россыпного золотоносного узла. Наиболее крупные россыпи самородного золота (ныне уже отработанные) находились в верховьях р. Баймка и р. Омчак. В 1990-е годы были проведены специализированные исследования по изучению минералогии элементов платиновой группы (ЭПГ). Установлено, что МПГ россыпей Баймского узла относятся к иридисто-платиновому и платиновому

минералого-геохимическим типам [Мочалов, 1997]. Шлиховые ореолы минералов ЭПГ приурочены к водотокам, размывающим отложения верхней толщи волжского яруса, которые рассматриваются как промежуточный коллектор [Горностаев, 1994; Gornostayev et al., 2000].

Из распространенных потенциальных россы-пеобразующих формаций в районе Алучинского поднятия: 1) мантийных дунит-гарцбургитовых комплексов офиолитов, и 2) кумулятивных пироксенит-габбровых комплексов позднеюрского возраста, по всем минералого-геохимическим признакам коренными источниками МПГ следует считать последние [Горностаев, 1994; Gornostayev et al., 1999, 2000; Мочалов, 2001 и др.]. В результате проведенного  $^{190}\text{Pt}$ - $^4\text{He}$ -датирования зерен минералов группы самородной платины (МГСП) россыпей выявлены две возрастные группы —  $188 \pm 4$  млн лет и  $148 \pm 6$  млн лет [Власов и др., 2022]. В работе представлены результаты изучения МПГ россыпей, охарактеризованы микровключения в МГСП, в том числе включения силикатных стекол. Полученные новые данные могут способствовать решению вопроса генезиса МПГ Баимского россыпного золотоносного узла.

**Геологическое строение Алучинского поднятия.** Алучинское поднятие входит в состав восточного блока Алазейско-Алучинской магматической зоны, которая на юго-востоке перекрывается образованиями Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. В геологическом строении района распространения золотоносных россыпей с МПГ принимают участие отложения кимериджского и волжского ярусов верхней юры и айнакуртинской свиты нижнего мела (рис. 1). Отложения кимериджского яруса расположены в восточной части района и представлены вулканогенно-терригенными формациями. Волжский ярус расчленяется на две толщи. Нижняя толща состоит из переслаивающихся песчаников, алевролитов и гравелитов. Верхняя толща представляет собой чередование конгломератов, брекчий и гравелитов, туфов основного и среднего состава, туфоконгломератов, полимиктовых песчаников, алевролитов и аргиллитов, лав и лавобрекчий базальтов, андезитов, трахиандезитов и трахитов. Мощность покровов лав составляет 10–150 м. В северо-восточной части района развиты песчанники, алевролиты, аргиллиты с прослоями угля айнакуртинской свиты берриасского века ранней меловой эпохи (рис. 1).

К ранним интрузивным образованиям района относятся офиолиты алучинского комплекса позднепалеозойского и раннемезозойского возраста [Ганелин, 2017]. Вулканогенные породы кимериджского века и габбро-долеритовые и пироксенит-габбровые интрузивы баимского комплекса объединены в кимеридж-ранневолжскую ассоциацию [Каминский, 1987]. Отложения волжского яруса прорваны интрузивными и субвулканическими телами нескольких

магматических комплексов мелового возраста — весеннинского гранодиоритового, егдыкгычского габбро-монцонит-сиенитового и омчакского гранодиоритового (рис. 1). Со второй фазой егдыкгычского комплекса связаны практически все известные  $\text{Cu} \pm \text{Mo} \pm \text{Au}$ -порфиновые рудные объекты района, включая крупное месторождение Песчанка. Медно-порфиновые и эпитегрмальные  $\text{Au-Ag}$  объекты, связанные с егдыкгычским комплексом являются источником золота россыпей.

В пределах Баимского узла МПГ установлены практически во всех золотоносных россыпях. Доля МПГ в массе комплексных концентратов золота и платины менялась от десятых долей до 2–7% [Горностаев, 1994]. При этом ни одно из россыпных проявлений платины не проявляет прямой пространственной связи с потенциальными коренными источниками. Шлиховые ореолы МПГ приурочены к водотокам, размывающим отложения верхней толщи волжского яруса, которые судя по комплексу минералогических признаков являются промежуточными коллекторами МПГ. На это указывает: 1) пространственная приуроченность ореолов МПГ к участкам развития пород волжского яруса; 2) наличие в составе конгломератов обломков пород клинопироксенит-габбровой ассоциации; 3) обнаружение в верховьях водотоков зерен МПГ разной степени окатанности и отсутствие их сортировки; 4) наличие в конгломератах зерен хромшпинелидов с составами, типичными для габбро-пироксенит-дунитовых массивов и кумулятивных серий ультрамафитов офиолитовых комплексов [Горностаев, 1994; Мочалов, 2001].

**Образцы и методы исследования.** В работе изучена коллекция из 120 зерен МГСП россыпей р. Баимка, руч. 1-й Весенний и Омчак. Помимо МПГ, в зернах большое внимание обращено на включения силикатов и окислов, так как они в первую очередь могут свидетельствовать о коренных источниках. Из зерен были изготовлены монтированные в эпоксидной смоле полированные препараты. С целью выведения на поверхность образцов новых включений МПГ и силикатов препараты подвергались неоднократной перешлифовке и реполировке. Изучение препаратов в отраженном свете проведено с помощью поляризационного оптического микроскопа Axioplan (Carl Zeiss) с цифровой фотокамерой AxioCam MRc.

Определение химического состава МГСП осуществлялось с помощью электронного микроанализатора Camebax SX 100 (ГЕОХИ РАН). Условия анализа: ускоряющее напряжение — 20 кВ, ток электронного зонда — 50 нА, диаметр пучка электронов 3–5 мкм. В качестве эталонов на Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt использовались чистые металлы, на Fe и Cu — эталон  $\text{CuFeS}_2$ . Аналитик — Н.Н. Кононова. Для получения изображений в отраженных электронах, качественного и количественного микроанализа минералов использовался сканирующий электронный

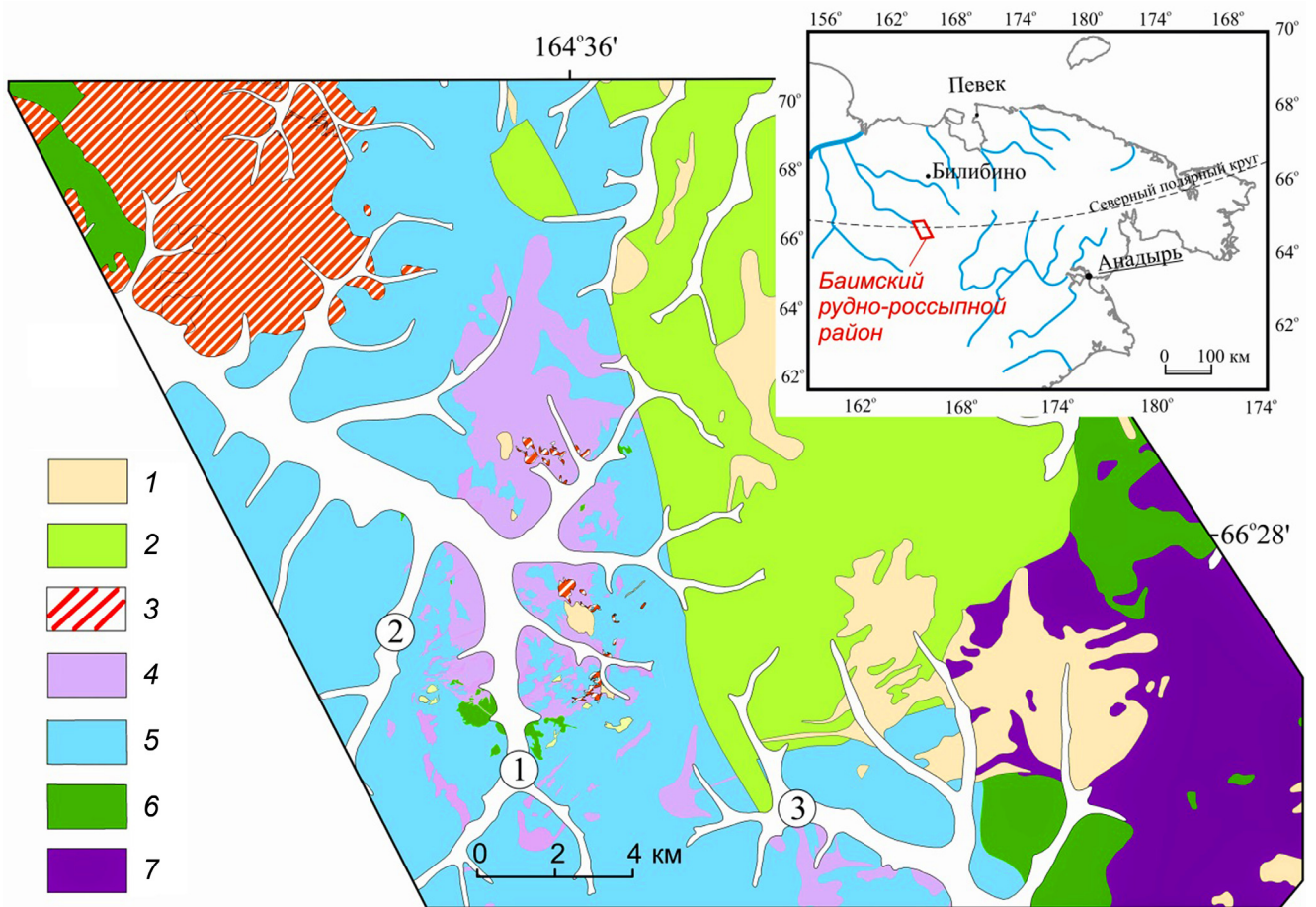


Рис. 1. Схема геологического строения Баимского россыпного золотоносного узла (использована геологическая карта масштаба 1:100 000, составленная А.Г. Сапегиным в 2014 г.): 1 — омчакский гранодиоритовый комплекс ( $K_2o$ ); 2 — породы айнахургинской свиты ( $K_{1an}$ ); 3 — егдыкычский габбро-монцит-сиенитовый комплекс ( $K_1e$ ); 4 — весеннинский гранодиоритовый комплекс ( $K_1vs$ ); 5 — породы волжского яруса (титонского века) ( $J_3v_{2-3}$ ); 6 — баимский габбро-долеритовый, пироксенит-габбровый комплекс ( $J_3b$ ); 7 — алучинский комплекс ( $T_1a$ ). Белым цветом показаны аллювиальные отложения четвертичного периода. Цифрами в кружках отмечены пробы из россыпей золота в которых были изучены МПГ: 1 — р. Баимка, 2 — руч. 1-й Весенний, 3 — р. Омчак

микроскоп Jeol JSM IT500 (лаборатория локальных методов исследования на кафедре петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова). Прибор оснащен энергодисперсионным спектрометром XMax<sup>N</sup> (Oxford Instruments) с площадью кристалла 50 мм<sup>2</sup>. Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток электронного зонда 0,7 нА, диаметр пучка электронов 2–3 мкм. Непосредственная продолжительность накопления ЭД-спектра составляла 70–100 секунд. Для оптимизации условий измерений (приведения условий анализа к условиям измерения стандартов) использовался металлический кобальт. Аналитики Е.В. Гусева, Н.Н. Кошлякова и В.О. Япаскурт.

КР-спектроскопическое изучение стекол проведено на рамановском микроскопе EnSpectrR 532 (МГУ, кафедра минералогии). Длина волны лазерного излучения равнялась 532 нм, мощность луча на выходе из лазерного источника была около 9 мВт, голографическая дисперсионная решетка имела 1800 штр./мм, спектральное разрешение – около 6 см<sup>-1</sup>, диаметр фокального пятна — 5 мкм при увеличении 60х. Спектры были получены в диапазоне

от 100 до 4000 см<sup>-1</sup> на неориентированном образце в режиме накопления сигнала в течение 3 секунды при усреднении по 20 экспозициям. Калибровка прибора проводилась по линии кристаллического кремния 520 см<sup>-1</sup>.

Эксперименты по нагреву и закалке силикатных включений в МПГ выполнены на кафедре петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ. Нагревательная ячейка установки смонтирована внутри огнеупорного кирпича. Нагреватель представляет собой алундовый цилиндр диаметром 20 мм и длиной 50 мм с 40 витками платиновой проволоки диаметром 0,5 мм. Рабочее пространство имеет диаметр 18 мм, термопара Pt-PtRh<sub>10</sub> расположена на 0,5 мм ниже нагреваемого образца. Нагреваемые зерна изоферроплатины помещались в прямоугольную платиновую кювету и засыпались сверху графитовым порошком. Платиновая кювета помещалась в заранее разогретую до 1200 ± 5 °С печь и выдерживалась там 6 минут. Температура регулировалась путем изменения напряжения источника постоянного тока MasTech HY-3020E. Закалка осуществлялась при извлечении платиновой ячейки из

Таблица 1

## МПГ россыпей Баимского узла

Минерал	Индивидуальные зерна	Каймы замещения	Включения
Фаза $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$	+++		
Изоферроплатина		++	
Самородная платина	++	++	
Хонгшиит		+	
Самородный иридий	+		
Самородный осмий			++
Лаурит-эрлихманит			++
Кашинит-бауит			++
Купрородсит-купроиридсит			++
Куперит		++	+
Брэггит			+
Ирарсит-холлингуортит		+	++
Сперрилит			++
Миассит			+
Палладодимит(?)			+
Полкановит			+
Родарсенид*			+
Василит			+
Фаза $Pd_3Te$			+

Примечание. Распространенность минерала: +++ — распространенный; ++ — редкий; + — единичные находки; \* — по данным [Gornostayev et al., 2000].

печи (в течение  $\leq 2$  с). За первую секунду образец охлаждался на 400–600 °С.

**МПГ золотоносных россыпей Баимского россыпного узла.** В россыпях Баимского узла около 70% зерен МПГ принадлежат фракции  $-1,5+0,5$  и только наиболее крупные из них достигают 5 мм. Размер изученных в работе зерен составлял 0,5–2,0 мм. Большая их часть имеет уплощенную форму, реже комковидную. Степень окатанности зерен различная, от плохой до хорошей [Gornostayev et al., 1999]. Главными россыпеобразующими МПГ золотоносных россыпей Баимского узла являются МГСР, редкими — самородный иридий. Все остальные МПГ образуют в них включения, а также замещают МГСР, развиваясь по трещинам или по краям зерен (табл. 1).

**Минералы группы самородной платины.**

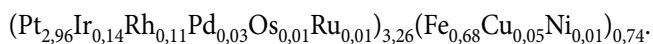
Зерна МГСР можно разделить на две группы: 1 — однородные, 2 — с каемчатыми псевдоморфозами мощностью до первых сотен мкм. Исследование химического состава этих двух групп зерен МГСР показало, что однородные зерна первой группы и реликтовые части зерен второй группы представлены фазой с составом  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$ , где  $x=0,2-0,3$ . Средний состав фазы  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$ , рассчитанный для 88 анализов (табл. 2; рис. 2, а), отвечает кристаллохимической формуле

Таблица 2

**Представительные составы фазы  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  (ан. 1–10), изоферроплатины (ан. 11–19) и самородной платины (ан. 20–21) россыпей Баимского узла (мас.%)**

№	Pt	Ir	Rh	Os	Ru	Pd	Fe	Ni	Cu	Sb	Сумма
1	79,80	12,40	2,33	–	0,48	0,27	5,01	0,11	0,35	–	100,75
2	82,38	8,79	2,18	–	0,37	0,42	5,09	0,10	0,40	–	99,73
3	91,85	0,70	0,59	–	0,34	0,37	5,74	0,19	0,34	–	100,12
4	88,68	3,56	1,19	–	0,45	0,56	5,77	0,11	0,44	–	100,76
5	90,96	1,36	1,00	–	0,32	1,38	5,96	0,14	0,36	–	101,48
6	92,02	0,59	0,85	0,75	0,24	0,44	5,21	0,12	0,56	–	100,78
7	90,25	1,04	1,23	–	0,33	0,85	5,83	0,11	0,50	–	100,14
8	85,96	5,60	2,67	0,22	0,25	0,34	5,89	0,13	0,49	–	101,55
9	81,07	8,62	1,25	1,23	–	0,14	5,05	0,34	1,29	–	98,99
10	89,88	0,76	1,14	–	–	0,40	5,86	–	–	–	98,03
11	86,88	1,09	–	–	–	–	6,67	–	0,67	3,00	98,31
12	83,97	3,96	1,68	–	–	0,27	6,78	–	2,45	–	99,11
13	88,67	1,60	1,10	–	0,32	0,54	6,95	0,13	0,96	–	100,27
14	88,97	0,46	0,39	0,06	0,04	2,47	8,32	0,03	0,92	–	101,66
15	89,85	0,39	0,57	–	–	1,93	8,50	0,03	0,94	–	102,21
16	88,31	0,64	1,04	–	0,25	1,14	8,61	0,18	0,86	–	101,03
17	84,01	2,38	1,37	–	–	1,27	8,63	–	0,75	–	98,40
18	90,38	1,17	0,81	–	–	0,84	8,96	0,05	0,67	–	102,88
19	91,81	0,62	0,38	0,22	–	–	9,03	0,02	0,69	–	102,77
20	92,4	3,71	1,64	–	–	0,22	0,08	–	–	–	98,05
21	89,38	2,42	1,46	–	–	0,56	2,85	–	0,36	–	97,01

Примечание: (–) — ниже предела обнаружения.



Зерна фазы  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  в отраженных электронах нередко проявляют неоднородное строение, обусловленное вариацией суммы ЭПГ в ее составе.

Для зерен МГСР второй группы типичны каймы замещения, сложенные: 1 — изоферроплатиной, 2 — самородной платиной (иногда с хонгшиитом) и 3 — куперитом и минералами ряда ирарсит-холлингуортит. Для кайм, сложенных изоферроплатиной, нередко зернистая структура с тройными межзерновыми границами (рис. 3, а). Средний состав изоферроплатины, рассчитанный для 16 анализов (табл. 2; рис. 2, б), отвечает кристаллохимической формуле  $(Pt_{2,84}Ir_{0,07}Rh_{0,05}Pd_{0,05}Ru_{0,01})_{3,02}(Fe_{0,90}Cu_{0,08})_{0,98}$ . Ее состав от фазы  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  отличает меньшие количества Ir и Rh, повышенное содержание Pd и большее количество железа. В сложных каймах, сложенных куперитом, ирарситом и изоферроплатиной, в последней отмечается примесь Sb (до 3,6 мас.%).

Каймы, сложенные самородной платиной, встречается реже. Как правило, самородная платина имеет пористую структуру (рис. 3, б, в). Кроме каемчатых псевдоморфоз, она развивается в фазе  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  по тонким трещинам. Для самородной платины характерно присутствие включений хонгшиита, кварца, гематита и разнообразных силикатов.

Рис. 2. Соотношения атомарных количеств Ir, Rh и Pd: *a* — в фазе  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$ ; *б* — в изоферроплатине россыпей Баймского узла (с использованием данных [Горностаев, 1994])

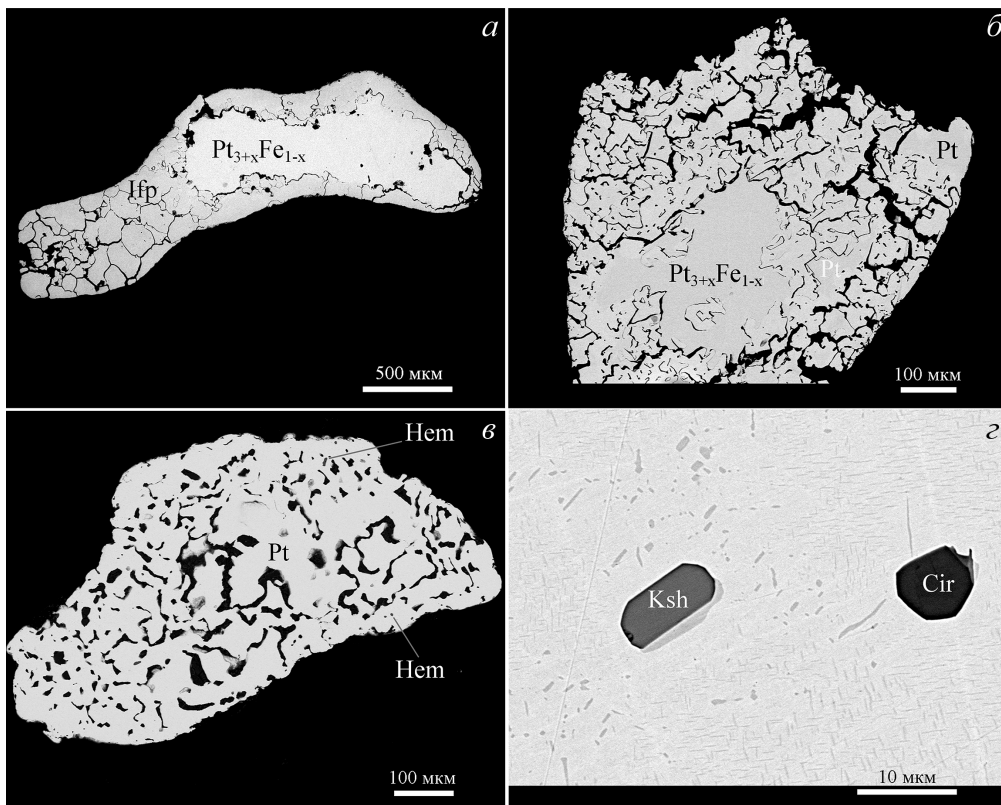
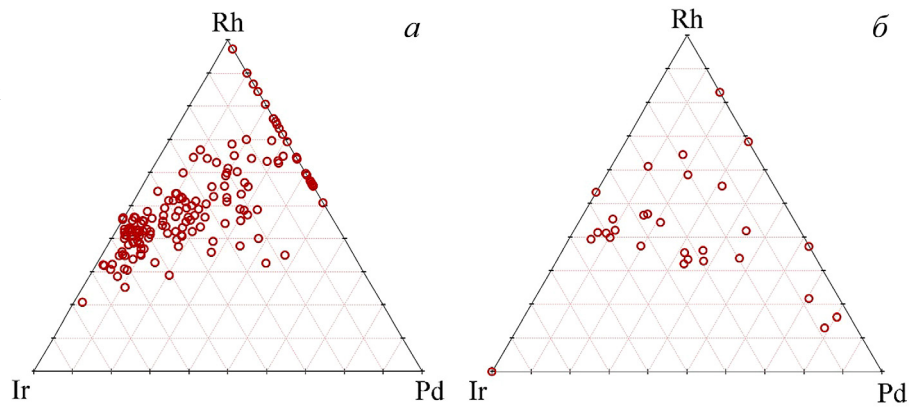


Рис. 3. МГСП и самородный иридий россыпей Баймского узла: *a* — фаза  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  с каймой изоферроплатины; *б* — фаза  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  в значительной степени замещенная самородной платиной; *в* — самородная платина с микровключениями гематита (Hem); *г* — самородный иридий с включениями кашинита (Ksh), купроиридита (Cir) и ориентированными lamелями состава Pt-Fe. Фото в отраженных электронах

Самородная платина в некоторых случаях образует отдельные кавернозные зерна (рис. 3, в).

Частичные или полные каймы замещения (шириной до 80 мкм) вокруг зерен фазы  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  иногда образуют куперит и минералы ряда ирарсит-холлингуртит, но чаще эти минералы представлены цепочками включений в краевых зонах зерен  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$ .

Среди включений МПГ в зернах МГСП установлены самородные металлы системы Os-Ir, разнообразные сульфиды, сульфоарсениды, арсениды и теллуриды ЭПГ (табл. 1). Выделены две группы включений МПГ: 1) «ранние», образующие редкие включения в фазе  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  и 2) «поздние», распространенные в каемчатых псевдоморфозах по зернам  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$ .

«Ранние» включения МПГ. Твердые растворы Os-Ir представлены пластинчатыми до листоватых кристаллами, размер которых не превышает 50 мкм (рис. 4, а). Некоторые кристаллы имеют выраженное зональное строение — центральные их части сложены самородным осмием ( $Os_{0,64}Ir_{0,28}Ru_{0,05}Rh_{0,02}Pt_{0,01}$ ), внешние зоны — самородным иридием ( $Ir_{0,56}Os_{0,29}Rh_{0,08}Pt_{0,05}Ru_{0,02}$ ).

Лаурит распространен в виде хорошо сформированных кристаллов (рис. 4, б), которые имеют зональное строение — от центра кристаллов к внешним зонам содержание Os возрастает. Бауит образует мономинеральные округлые включения (до 200 мкм), с переменным количеством примесей Ir и Pt. По данным [Горностаев, 1994] в виде микрон-

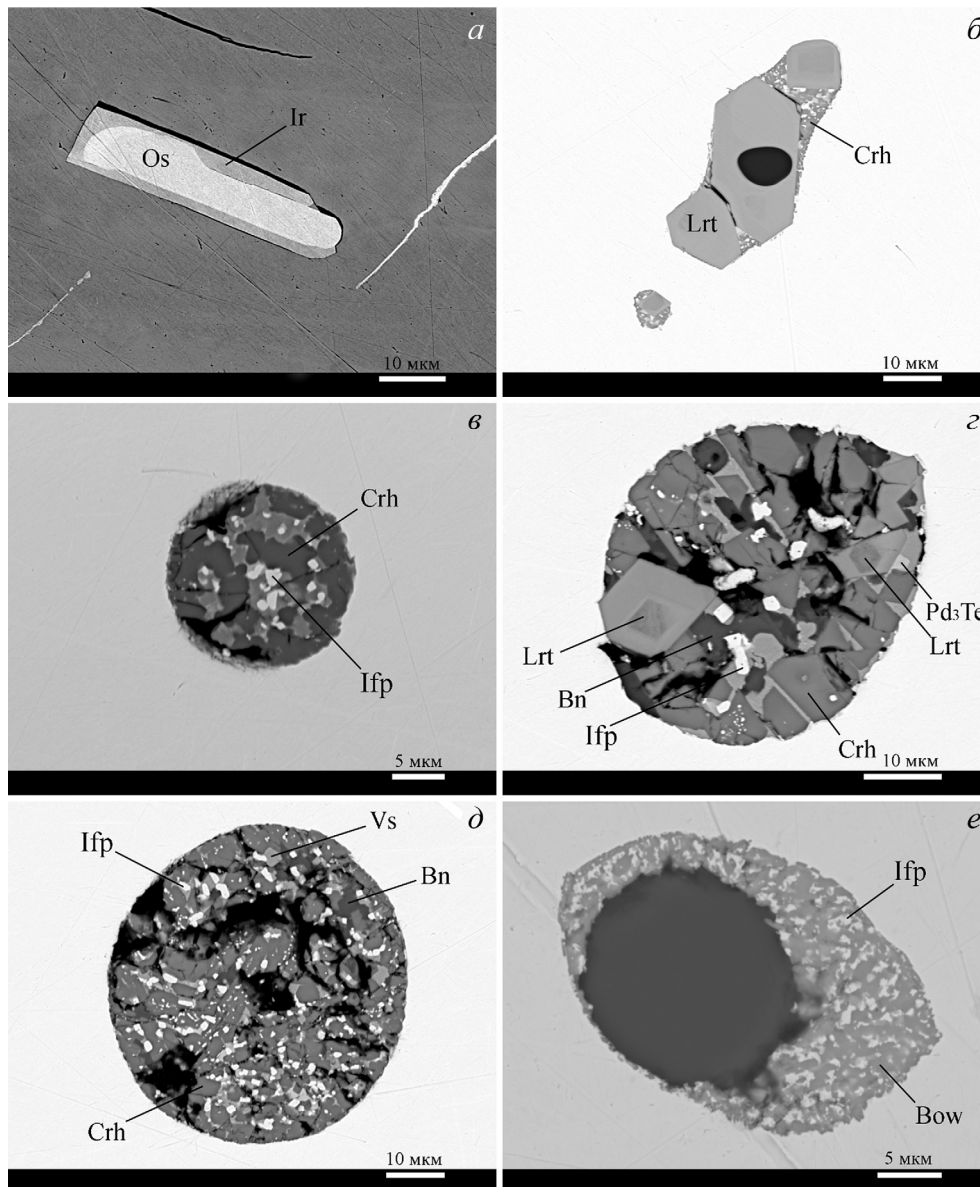


Рис. 4. Включения «ранних» МПГ в фазе  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  россыпей Баимского узла: *a* — зональный кристалл твердого раствора состава Os-Ir; *b* — зональный кристалл лаурита (Lrt) с включением силикатного стекла(?) в сростании с купрородситом (Crh); *в-д* — каплевидные включения, сложенные лауритом, купрородситом, василитом (Vs), борнитом (Bn), изоферроплатиной и фазой  $Pd_3Te$ ; *e* — включение сложенное силикатным стеклом и агрегатом изоферроплатины и бауита (Bow). Фото в отраженных электронах

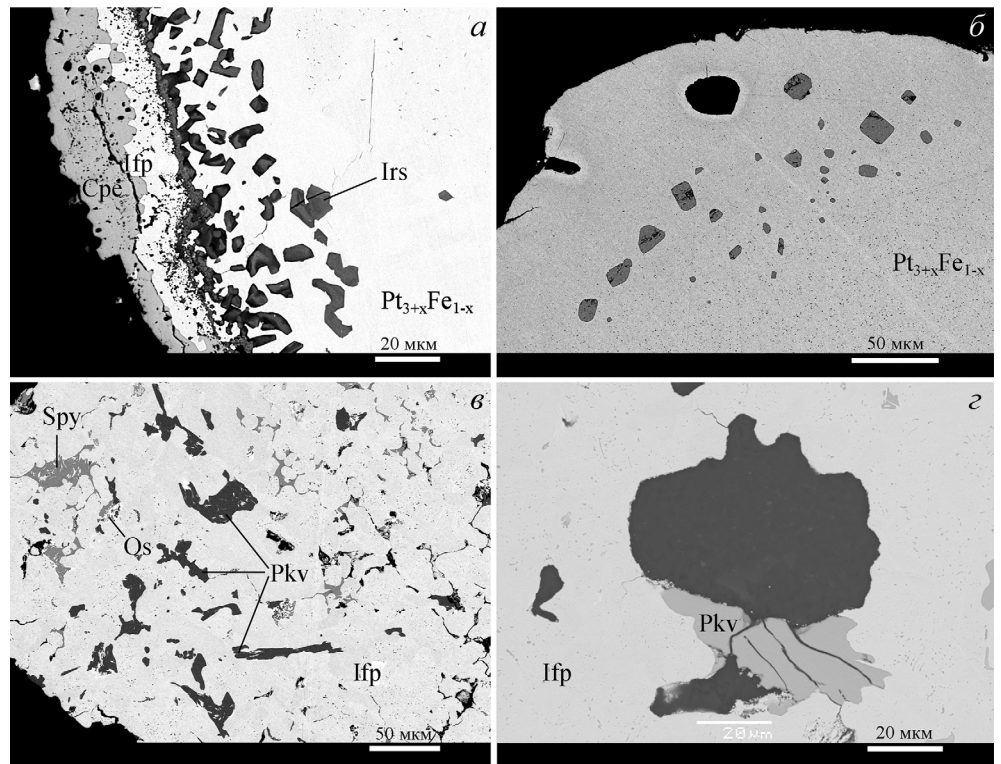
ных идиоморфных кристаллов в фазе  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  встречается купрородсит.

Во многих зернах  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  установлены необычные полиминеральные включения. Они имеют округлую форму (рис. 4), их размер 5–70 мкм. В большинстве данных включений минералы образуют очень тонкие сростания, что не всегда позволяет определить их химический состав и установить порядок кристаллизации. В наиболее крупных округлых включениях с гипидиоморфной структурой распространены лаурит и более поздний купрородсит. Минералы представлены ограненными кристаллами (до 10 мкм). Кристаллы лаурита проявляют ростовую зональность — от центра к внешним зонам кристаллов увеличивается содержание Os. Все другие минералы

включений — василит, борнит, изоферроплатина и бауит(?), фаза  $Pd_3Te$ , приобретают подчиненные (ксеноморфные) формы, выполняя пространство между кристаллами более ранних лаурита и купрородсита. Изоферроплатина в таких включениях образует небольшие (до 5 мкм) плохо ограненные кристаллы, равномерно распределенные в объеме включений (рис. 4, *в-е*). Василит представлен редкими изометричными зернами (до 5 мкм) в сростании с купрородситом. Наиболее поздним минералом в агрегатах круглых включений является борнит. Составы минералов полиминеральных включений приведены в табл. 3.

«Поздние» включения МПГ. К «поздним» включениям отнесены куперит, сперрилит, минералы ряда ирарсит-холлингуортит, более редкие — само-

Рис. 5. «Поздние» МПГ россыпей Баимского узла: а — куперит (Cpe), изоферроплатина (с примесью Sb до 3,6 мас.%) и зональные кристаллы ирарсита (Irs), окаймляющие зерно фазы  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$ ; б — кристаллы куперита во внешней зоне зерна фазы  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$ ; в — сперриллит (Spy), полкановит (Prv), хонгшиит и самородный осмий в изоферроплатине; г — полкановит, каолинит(?) и мусковит(?) в изоферроплатине. Фото в отраженных электронах



родный осмий, брэггит, полкановит, миассит, палладодимит(?). Как правило, эти минералы образует цепочки включений метакристаллов во внешних зонах зерен  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  или сингенетичные включения в изоферроплатине (рис. 5). Представительные составы «поздних» МПГ россыпей Баимского узла приведены в табл. 4.

В  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  встречаются: куперит с примесью Pd (0,4–3,2 мас.%), ирарсит-холлингвортит с характерным зональным строением (с увеличением

содержание Rh от центра кристаллов к внешним зонам), миассит, частично замещающий округлые включения бауита. Во внешних зонах зерен  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  с куперитом отмечаются редкие включения хлорита.

С изоферроплатиной установлены — сперриллит, более редкие брэггит, полкановит и минерал по составу близкий палладодимиту. Брэггит имеет кристаллохимическую формулу  $Pd_{0,54}Pt_{0,41}Ni_{0,03}S_{1,02}$ . Полкановит ассоциирует со сперриллитом и самородным осмием (рис. 5, в), встречаются сростания

Таблица 3

Химические составы куперордсита (ан. 1–4), лаурита (ан. 5–6) и василита (ан. 7–8) россыпей Баимского узла

№	1	2	3	4	5	6	7	8
Мас.%								
Pt	15,33	10,68	4,50	23,21	–	–	1,05	1,34
Ir	–	–	–	4,65	–	–	–	–
Rh	39,08	42,72	47,19	30,02	3,54	3,59	1,63	–
Os	–	–	–	–	23,98	34,45	–	–
Ru	–	–	–	–	35,96	27,68	0,54	–
Pd	–	–	–	–	–	0,29	69,34	69,40
Fe	4,49	5,42	6,10	0,62	0,18	0,21	0,48	0,49
Ni	0,53	0,58	0,51	0,27	–	–	–	–
Cu	9,71	9,10	8,32	11,02	–	0,32	13,33	13,03
S	29,94	30,60	30,35	27,25	33,51	32,00	12,65	12,11
Se	0,32	0,30	1,39	–	–	–	–	1,68
As	–	–	–	–	0,93	–	–	–
Te	0,15	–	0,13	–	–	–	–	–
Сумма	99,55	99,40	98,50	97,05	98,10	98,54	99,02	98,05

№	1	2	3	4	5	6	7	8
Атомов на формулу								
Pt	0,34	0,23	0,10	0,57	–	–	0,10	0,12
Ir	–	–	–	0,11	–	–	–	–
Rh	1,62	1,73	1,89	1,39	0,07	0,07	0,28	–
Os	–	–	–	–	0,24	0,36	–	–
Ru	–	–	–	–	0,68	0,55	0,10	–
Pd	–	–	–	–	–	0,01	11,61	11,80
Fe	0,34	0,41	0,45	0,05	0,01	0,01	0,15	0,16
Ni	0,04	0,04	0,04	0,02	–	–	–	–
Cu	0,65	0,60	0,54	0,82	–	0,01	3,74	3,71
S	3,98	3,98	3,91	4,03	1,99	2,00	7,02	6,82
Se	0,02	0,02	0,07	–	–	–	–	0,38
As	–	–	–	–	0,02	–	–	–
Te	0,01	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: (–) — ниже предела обнаружения. Формулы куперордсита рассчитаны на 7 атомов, лаурита — на 3 атома, василита — на 23 атома.

Таблица 4

Химические составы куперита (ан. 1–2), кашинита (ан. 3), бауита (ан. 4), миассита (ан. 5), ирарсита-холлингуортита (ан. 6–7), полкановита (ан. 8–9) и сперрилита (ан. 10–11) россыпей Баимского узла

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мас. %											
Pt	80,76	82,83	3,77	13,20	4,88	2,75	9,39	14,73	15,47	46,34	52,86
Ir	–	–	48,59	33,24	2,20	45,24	22,69	–	–	10,31	3,31
Rh	–	–	22,90	28,29	70,84	10,06	23,20	46,30	46,58	0,57	0,21
Os	–	–	–	–	–	–	0,82	–	–	–	–
Ru	–	–	–	1,28	–	1,50	0,44	–	–	–	–
Pd	3,25	0,77	–	–	–	–	–	10,31	10,07	–	–
Fe	–	–	0,30	–	0,46	0,09	0,15	–	0,15	0,15	–
Cu	–	–	–	–	0,94	–	–	–	–	–	–
S	14,49	14,59	25,81	23,28	19,91	12,31	12,48	–	–	–	–
As	–	–	–	–	–	26,57	29,65	27,76	26,64	41,30	41,53
Te	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,48
Сумма	98,50	98,19	101,38	99,29	99,23	98,53	98,83	99,09	98,91	98,67	98,40
Атомов на формулу											
Pt	0,92	0,96	0,07	0,27	0,59	0,04	0,12	1,44	1,53	0,84	0,96
Ir	–	–	0,97	0,69	0,27	0,64	0,30	–	–	0,19	0,06
Rh	–	–	0,85	1,10	16,10	0,27	0,57	8,61	8,73	0,02	0,01
Os	–	–	–	–	–	–	0,01	–	–	–	–
Ru	–	–	–	0,05	–	0,04	0,01	–	–	–	–
Pd	0,07	0,02	–	–	–	–	–	1,85	1,83	–	–
Fe	–	–	0,02	–	0,19	–	0,01	–	0,05	0,01	–
Cu	–	–	–	–	0,35	–	–	–	–	–	–
S	1,01	1,03	3,08	2,89	14,51	1,04	0,98	–	–	–	–
As	–	–	–	–	–	0,97	1,00	7,09	6,86	1,94	1,96
Te	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,01

Примечание: (–) — ниже предела обнаружения. Формулы куперита рассчитаны на 2 атома, кашинита и бауита — на 5 атомов, ирарсита-холлингуортита и сперрилита — на 3 атома, полкановита — на 19 атомов.

полкановита с агрегатами мусковит-каолинитового(?) состава (рис. 5, 2).

**Самородный иридий.** Редким россыпеобразующим минералом россыпей Баимского узла является самородный иридий. Для самостоятельных зерен самородного иридия характерны ориентированные микронные ламели недиагностированного минерала состава Pt–Fe. Структуру зерен можно рассматривать как продукт распада твердого раствора. Был определен валовый состав по площадке  $200 \times 180$  мкм, который рассчитывается на формулу  $Ir_{0,81}Pt_{0,10}Os_{0,02}Ru_{0,02}Rh_{0,01}Fe_{0,04}$ . В самородном иридии установлены включения (до 10 мкм) кашинита и купроиридита в виде хорошо сформированных кристаллов (рис. 3, 2).

#### Включения силикатов и оксидов в МГСП.

Включения силикатов и оксидов в зернах МГСП россыпей Баимского узла разделены на три типа: 1 — ранние включения кристаллов магнетита и плагиоклаза; 2 — изометричные, от шарообразной формы до формы отрицательных кристаллов вклю-

чения, преимущественно, силикатного стекла; 3 — полиминеральные включения неправильной, реже округлой формы. Размер большинства включений не превышает 50 мкм.

Включения 1 типа представлены единичными микронными кристаллами магнетита (включения хромшпинелидов в МГСП не встречены) и плагиоклаза. Включения описаны в работе [Gornostayev et al., 1999], в наших образцах не встречены.

Включения 2 типа распространены в фазе  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  и сложены, главным образом, силикатным стеклом (рис. 6). В ряде образцов включения стекла заключены в полную или частичную «рубашку» сульфидов ЭПГ (рис. 4, e; 6, e), в некоторых включениях стекла присутствуют газовые пустоты (рис. 6, a).

Химические составы стекол приведены в табл. 5. Содержание  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  и щелочных металлов ( $Na_2O + K_2O$ ) меняется в интервалах, соответственно: 40,3–58,7, 10,7–18,5 и 2,8–11,0 мас.%. Вариации  $MgO$  — 1,4–7,6 мас.%,  $FeO_{общ.}$  — 4,7–18,11 мас.%.

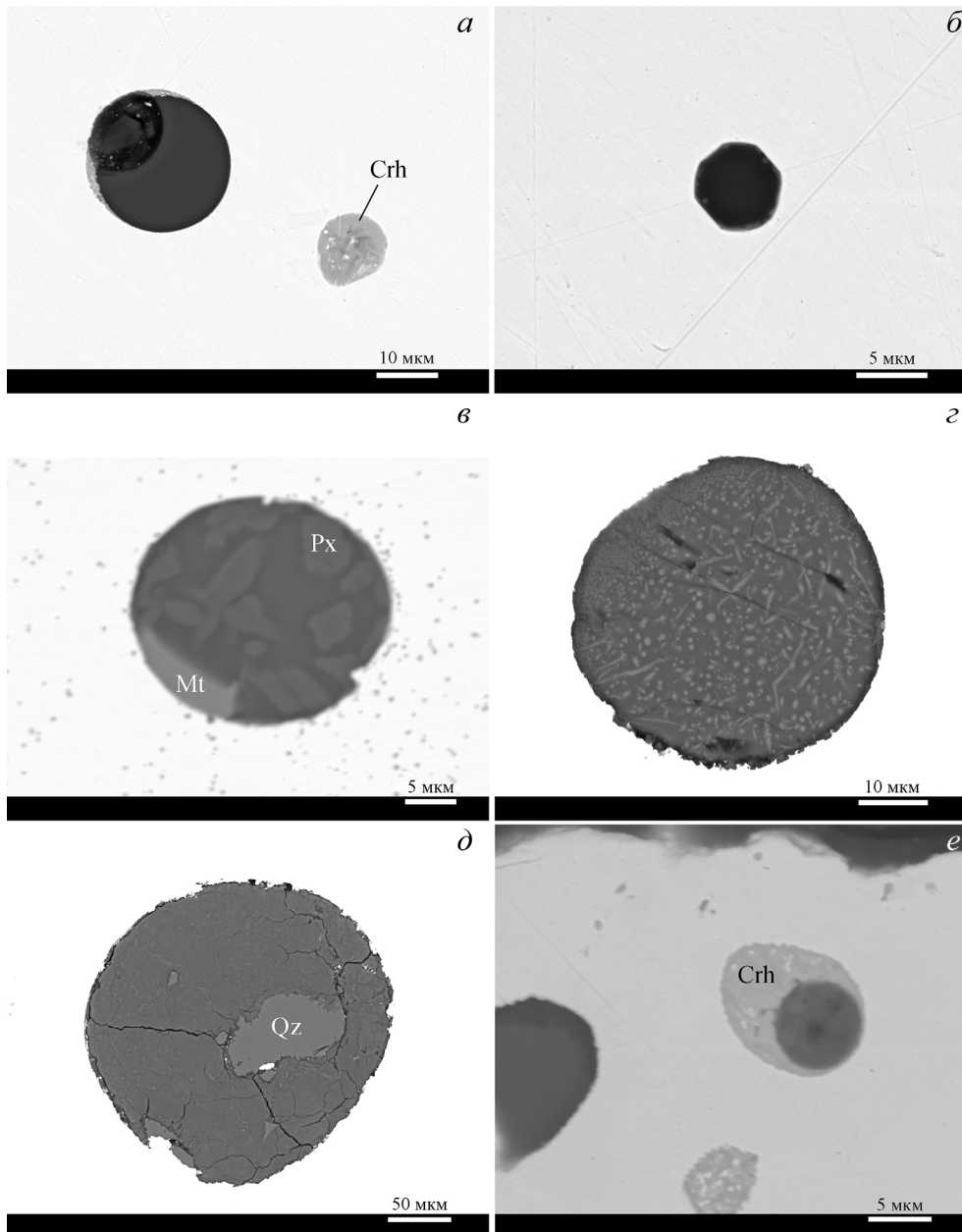


Рис. 6. Включения силикатов и оксидов в фазе  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  россыпей Баимского узла: *a* — включения силикатного стекла и купорродсита; *б* — включение силикатного стекла в форме отрицательного кристалла; *в* — тонкие эмульсионные выделения недиагностированных силикатов в силикатном стекле; *г* — реликты Са-пироксена (Px) и магнетита (Mt) в силикатном стекле; *д* — округлая псевдоморфоза кварца (Qz) и каолинита(?) по силикатному стеклу; *е* — округлые включения, сложенные купорродситом и псевдоморфозами кварца и каолинита(?) по силикатному стеклу. Фото в отраженных электронах

В составе стекла фиксируются повышенные содержания серы ( $SO_3$  до 2,7 мас.%) и хлора (до 0,3 мас.%). Заниженная сумма анализов может свидетельствовать о присутствии в стеклах воды.

Полученные КР-спектры силикатных стекол имеет форму, характерную для вещества находящегося в аморфном состоянии — все линии рассеяния уширены. Две линии рассеяния разной интенсивности с рамановским сдвигом около 360 и 525  $cm^{-1}$  соответствуют деформационным колебаниям тетраэдров  $[SiO_4]$ . Линия с максимумом около 700  $cm^{-1}$  соответствует симметричным валентным колебаниям тетраэдров. Линия рассеяния, соответствующая

антисимметричным валентным колебаниям тетраэдров  $[SiO_4]$ , в спектре не проявлена, по-видимому, из-за слабой интенсивности. Различия в значениях рамановских сдвигов линий рассеяния, полученные в спектре по сравнению с данными [Накамото, 1991] для идеальных тетраэдров  $[SiO_4]$  может быть связано с их деформацией и присутствием различных примесных элементов в составе исследуемого вещества.

В части включений второго типа в стекле наблюдаются микронные индивиды Са-клинопироксена и магнетита (единственный полученный анализ рассчитан на формулу —  $Fe^{2+}_{0,74}Mg_{0,29}Fe^{3+}_{1,68}Al_{0,25}Ti_{0,03}O_4$ ). Размер и морфология (от угловатых до сглажен-

Таблица 5

Представительные составы стекол из включений в фазе  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  россыпей Баимского узла (ан. 1–9) и стекол прогретых включений в изоферроплатине щелочно-ультраосновного массива Чад (ан. 10–19) (мас.%)

№	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	FeO <sub>общ</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	Сумма
1	2,45	2,28	7,9	3,27	11,02	0,13	16,87	0,57	51,26	0,33	1,45	0,31	98,04
2	1,99	3,35	11,41	6,63	6,24	0,11	14,21	0,84	49,65	0,64	1,13	0,19	96,38
3	1,75	1,02	8,76	7,45	20,77	–	10,74	0,62	40,33	–	2,70	–	94,46
4	1,68	2,93	8,46	7,39	16,10	0,18	11,30	0,80	44,89	0,51	1,58	0,18	96,51
5	1,67	2,94	8,55	7,50	15,87	0,21	11,43	0,79	45,6	0,50	1,78	0,18	97,41
6	2,55	0,82	9,37	6,99	18,11	0,10	12,48	0,69	43,55	0,17	1,73	0,13	96,69
7	1,41	1,49	12,65	7,55	14,84	0,14	11,87	0,74	43,10	–	0,76	0,16	94,70
8	4,36	3,18	5,10	1,79	3,44	0,13	17,83	0,46	58,74	0,59	0,41	0,34	96,36
9	5,18	5,82	3,85	1,36	5,77	0,15	18,49	0,37	54,14	0,21	–	0,70	96,05
10	2,37	2,65	11,58	8,33	12,40	0,16	9,32	0,81	48,33	0,41	–	0,11	96,47
11	3,51	3,01	7,39	8,58	16,73	0,17	10,12	0,78	46,29	0,51	0,39	0,04	97,52
12	3,46	3,06	7,61	8,63	16,79	0,12	10,34	0,78	47,00	0,53	0,34	0,04	98,70
13	4,31	3,34	8,16	6,52	11,45	0,15	12,09	0,92	52,16	0,36	0,24	0,12	99,82
14	1,97	2,29	10,43	10,68	16,79	0,17	8,57	0,82	42,13	0,47	1,71	0,12	96,15
15	2,16	3,07	8,88	12,65	16,26	0,17	7,61	0,68	44,16	0,39	–	0,15	96,18
16	2,12	3,06	8,88	12,67	16,39	0,14	7,65	0,64	43,96	0,37	0,08	0,16	96,12
17	2,11	2,93	9,75	10,69	16,20	0,14	8,65	0,74	43,79	0,47	1,51	0,17	97,15
18	2,15	2,63	9,96	10,31	14,00	0,12	9,94	0,87	45,73	0,49	1,68	0,16	98,04
19	2,11	2,47	10,16	10,46	14,43	0,19	9,73	0,91	45,00	0,43	1,62	0,14	97,65

Примечание: (–) — ниже предела обнаружения.

ных) данных минералов позволяет рассматривать их как реликты включений 1 типа. В то же время в отдельных круглых включениях стекла наблюдается тонкая эмульсионная вкрапленность, реже включения удлиненных скелетных кристаллов недиагностированных силикатов, образование которых могло происходить в результате частичной раскристаллизации стекол.

3 тип — включения в МГСП округлой или неправильной формы, сложенные главным образом кварцем (диагностика подтверждена данными КР-спектроскопии) и глинистым минералом, предположительно каолинитом. Реже встречаются: мусковит, хлорит, кислый плагиоклаз, калиевый полевой шпат, Са-амфибол, барит, Мп-кальцит, гематит и ряд не диагностированных фаз Ti-O, Са-S-O, Рb-Al-P-O. Образование большинства таких включений связано с заполнением каверн и трещин в зернах МГСП при их нахождении в промежуточных коллекторах верхней толщ волжского яруса [Горностаев, 1994, Мочалов, 2001, Gornostayev et al., 2000]. Округлые включения кварц-каолинитового или хлоритового состава (рис. 6, д, е) рассматриваются как псевдоморфозы замещения включений силикатных стекол.

**Эксперимент по нагреву многофазных силикатных включений в изоферроплатине массива Чад.** Включения силикатов и оксидов в МПГ весьма информативны при исследовании их россыпеобразующих формаций и генезиса [Дмитренко, Моча-

лов, 1989; Мочалов, 2001, 2019; Johan, 2006; Vlasov et al., 2020]. Изначально к вероятным коренным источникам МПГ в районе Алучинского поднятия отнесены пироксенит-габбровые комплексы [Горностаев, 1994, Gornostayev et al., 1999, Мочалов, 2001]. В связи с щелочным характером силикатных стекол МГСП Баимского золотоносного узла, проведено их сравнение с включениями в изоферроплатине щелочно-ультраосновного массива Чад (массив Чад) на Алданском щите, с которым связаны россыпные месторождения, а их МПГ относятся к иридиоплатиновому и платиновому минералого-геохимическим типам [Мочалов, 1997, 2001].

Включения в изоферроплатине иридиоплатинового типа массива Чад представлены полиминеральными агрегатами имеющими форму хорошо сформированных отрицательных кристаллов, размер которых составляет 10–100 мкм. Чаще всего включения образованы клинопироксеном, амфиболом и флогопитом; в некоторых включениях отмечаются альбит, К-Na полевой шпат, апатит, нефелин, титанит и стеклоподобные криптоагрегаты силикатов. Кроме того, часть объема отрицательных кристаллов могут занимать пустоты [Vlasov et al., 2020].

В результате проведенного эксперимента по прогреву многофазных включений в изоферроплатине массива Чад, первичные минералы включений были полностью расплавлены. Форма включений

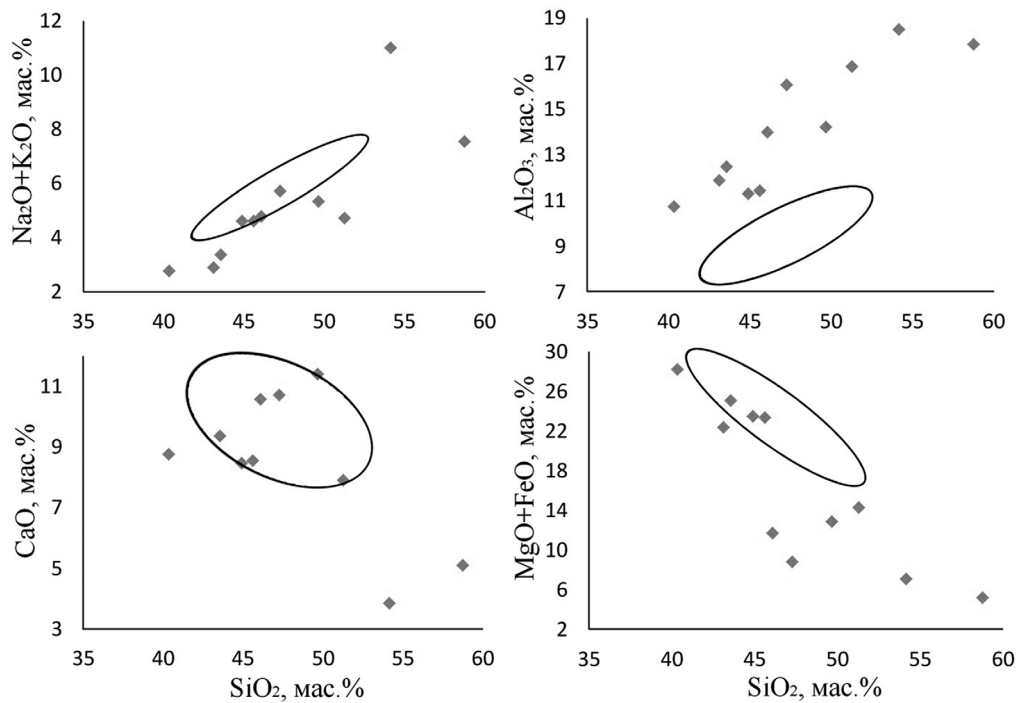


Рис. 7. Составы стекол из включений в фазе  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  россыпей Баимского узла. Сплошной линией показаны поля составов стекол, полученных после плавления полиминеральных включений в МГСП Чадского массива

при этом не поменялась. Закаленные включения сложены силикатном стеклом, реже отмечаются микронные включения хорошо сформированных кристаллов новообразованных силикатов (форстерит, магнезиальный пироксен), а также газовые пузырьки округлой формы. Состав полученных стекол (табл. 5) по основным параметрам совпал с составом силикатных стекол в МГСП Баимского золотоносного узла (табл. 5; рис. 7). Для изученных стекол характерны положительные корреляции между содержанием  $SiO_2$  и щелочных металлов ( $Na_2O+K_2O$ ), а также  $Al_2O_3$ , и отрицательные — с  $FeO$  и  $MgO$  (рис. 7). Стекла в МГСП Баимского узла и массива Чад содержат близкие концентрации примесных компонентов —  $Ti$ ,  $P$ ,  $S$  и  $Cl$ . Температура, при которой осуществлялось плавление многофазных включений в изоферроплатине массива Чад ( $1200 \pm 5^\circ C$ ) сопоставима с температурами кристаллизации лав основного-среднего состава, слагающих покровы в разрезе верхней толщи волжского яруса Алучинского поднятия.

Стекла, полученные при прогреве включений в изоферроплатине массива Чад, соответствуют подобным из хромшпинелидов щелочно-ультраосновного массива Кондёр [Симонов и др., 2010]. В тоже время, силикатные стекла массива Чада и Баимского узла отличает более низкие содержания  $MgO$ , при полном отсутствии  $Cr_2O_3$ .

**Обсуждение полученных результатов.** Полученные в ходе данной работы результаты по исследованию минералогии ЭПГ Баимского россыпного золотоносного узла в целом подтвердили результаты ранних исследований и сделанные выводы [Горно-

стаев, 1994; Gornostayev et al., 1999, 2000; Мочалов, 2001].

На основании разработанных за последнее время типоморфных признаков МГСП и конкретизированной классификации минералого-геохимических типов МПГ и их россыпеобразующих формаций [Мочалов, 2013, 2019; Мочалов и др., 2023], появилась возможность переосмыслить и дополнить ряд ранних положений.

Состав фазы  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  попадает в двухфазную область низкотемпературного состояния фазовой диаграммы  $Pt-Fe$ . На этом основании фазу  $Pt_{3+x}Fe_{1-x}$  нужно рассматривать как криптоагрегат изоферроплатины и самородной платины [Мочалов и др., 1988, 2018]. Такие криптоагрегаты МГСП распространены в многофазных зональных щелочно-ультраосновных и габбро-пироксенит-дунитовых массивах. В этих массивах криптоагрегаты МГСП пользуются преимущественным распространением в магматогенно-флюидно-метасоматическом платиновом типе, и больше всего в осмисто-платиновом и палладисто-платиновом подтипах, которые развиты, соответственно, в жильных пироксенитах и флогопит-магнетитовых-пироксенитах. В данных типах фактически отсутствуют сростания МГСП с хромшпинелидами, а распространены включения в МГСП клинопироксена и магнетита. В зернах МГСП россыпей Баимского узла включения 1 типа (магнетит, плагиоклаз), вместе с реликтами клинопироксена и магнетита в силикатном стекле, могут свидетельствовать в пользу пироксенитов, как первоначальных коренных источников большинства МПГ россыпей Баимского узла.

Как было показано в работах [Горностаев, 1994; Gornostayev et al., 2000] МГСП попадают в аллювиальные россыпи золота Баимского узла в основном из пород волжского яруса — промежуточного коллектора. Здесь коллектором МГСП ранее рассматривались конгломераты верхней толщи. Полученные в работе данные позволяют предполагать, что коллекторами могут быть и разнообразные вулканиты (туфы основного и среднего состава, лавы и лавобрекчии базальтов, андезитов, трахиандезитов и трахитов) волжского яруса, подобно флюидно-эксплозивным брекчиям железо-марганцевого месторождения Поперечное (Малый Хинган). На данном объекте ксеногенные МПГ были захвачены высококомбинированными пересыщенными флюидами расплавами андезит-дацитового состава [Мочалов и др., 2023; Berdnikov et al., 2020].

Попадание МГСП в вулканиты волжского яруса сопровождалось быстрым нагревом, в некоторых случаях высокотемпературной перекристаллизацией, с последующим «мгновенным» остыванием, что в итоге могло привести к формированию включений силикатного стекла и округлых полиминеральных включений МПГ. Попадание как конгломератов, так и вулканитов волжского яруса содержащих ксеногенные МПГ в зону поверхностного выветривания, в конце концов приводит их к эрозионно-абразионному разрушению и формированию россыпей. На наш взгляд, такой механизм объясняет ряд обнаруженных характерных признаков в минералогии ЭПГ Баимского узла.

1. Распространение в МГСП шарообразных включений силикатного стекла, в ряде случаев заключенного в полную или частичную «рубашку» сульфидов ЭПГ. Так же в генетическую ассоциацию со стеклами попадают необычные шарообразные включения полиминеральных агрегатов МПГ. О том, что силикатные стекла могли образовываться именно в результате плавления включений 1 типа указывают их реликты в стекле и состав самих стекол. Он оказался таким же, как у экспериментальных стекол, полученных при прогреве многофазных включений в МГСП щелочно-ультраосновного массива Чад.

2. Распространение на зернах МГСП внешних каемок самородной платины и, возможно, изоферроплатины. Каймы замещения, сложенные тетраферроплатиной, туламинитом, куперитом или сперилитом, типичны для изоферроплатины многофазных зональных щелочно-ультраосновных

и габбро-пироксенит-дунитовых массивов. По такому каемчатому псевдоморфозам в случаях нового высокотемпературного метасоматоза происходит образование повторных кайм из агрегатов, часто пористых, изоферроплатины или самородной платины, нередко в сростании с магнетитом или оксидами/гидроксидами железа [Мочалов, 2019]. По нашему мнению, именно такой процесс повторного псевдоморфизма произошел с зернами МГСП Баимского узла во время их попадания в толщи вулканитов волжского яруса. Образование кайм самородной платины могло происходить в окислительной обстановке и сопровождаться почти полным выносом железа из состава исходных МГСП.

**Закключение.** Среди МПГ Баимского россыпного золотоносного узла главными являются изоферроплатина и криптоагрегаты изоферроплатины и самородной платины, второстепенное значение имеет самородная платина. Другие минералы ЭПГ редки. МПГ относятся к иридисто-платиновому и платиновому минералогическо-геохимическим типам, но больше всего к разновидностям (подтипам) последнего — осмисто-платиновому и палладисто-платиновому. Такие подтипы пользуются распространением, соответственно, в жильных пироксенитах и флогопит-магнетитовых-пироксеновых метасоматитах многофазных зональных щелочно-ультраосновных массивах. Вероятным коренным источником МПГ Алучинского поднятия являются пироксениты пироксенит-габбровых комплексов позднеюрского возраста.

Распространенные в МГСП шарообразные включения силикатных стекол могли образоваться в результате плавления ранних включений (клинопироксен, плагиоклаз, магнетит). Составы силикатных стекол в МГСП россыпей Баимского узла оказались аналогичными составам экспериментальных стекол расплавных включений в МГСП щелочно-ультраосновного массива Чад.

**Благодарности.** Авторы выражают признательность Н.Н. Кононковой, Е.В. Гусевой, Н.Н. Кошляковой и В.О. Япаскурту за практическую помощь в проведении исследований, И.А. Калько за помощь в оформлении рисунков, И.А. Бакшеева и Э.М. Спиридонова за ценные замечания и рекомендации.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-27-00342. Сканирующий электронный микроскоп Jeol JSM IT500 приобретен за счет средств «Программы развития Московского университета».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов Е.А., Иванова Е.С., Мочалов А.Г., Якубович О.В.  $^{190}\text{Pt}$ - $^{4}\text{He}$ -возраст самородных минералов платины Баимского россыпного золотоносного узла, Западная Чукотка // Докл. РАН. 2022. Т. 507, № 1. С. 35–41.  
2. Ганелин А.В. Офиолитовые комплексы Западной Чукотки (строение, возраст, состав, геодинамические обстановки формирования) // Труды Геологического института. 2017. Вып. 613. 178 с.

3. Горностаев С.С. Геологические условия нахождения и состав минералов платиновых элементов в районе Алучинского поднятия (Западная Чукотка): Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Воронеж: ВГУ, 1994. 236 с.

4. Дмитренко Г.Г., Мочалов А.Г. О происхождении включений водосодержащих силикатов в платиноидных минералах и хромшпинелидах ультрамафитов // Докл. АН СССР. 1989. Т. 307, № 5. С. 1207–1211.

5. Каминский В.Г. Медно-порфировое оруденение центральной части Баимской металлогенической зоны // Советская геология. 1987. № 6. С. 49–54.
6. Мочалов А.Г. Замечательные минералы платины массива Кондёр (Хабаровский край). М.: Минералогический Альманах. Ltd. Серия: Знаменитые минералогические объекты России. 2019. Т. 23, вып. 3. 128 с.
7. Мочалов А.Г. Модель происхождения минералов платиновой группы габбро-пироксенит-дунитовых кумулятивных комплексов Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 5, № 3. С. 171–188.
8. Мочалов А.Г. Россыпи платиновых металлов // Россыпные месторождения России и других стран СНГ. М.: Научный мир, 1997. С. 127–165.
9. Мочалов А.Г. «Шлиховая платина» россыпей Дальнего Востока России: Дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ, 2001. 300 с.
10. Мочалов А.Г., Бердников Н.В., Галанкина О.Л. и др. Минералогия элементов платиновой группы в эксплозивных брекчиях месторождения Поперечное (Малый Хинган, Россия) // Тихоокеанская геология. 2023. Т. 42, № 2. С. 88–104.
11. 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.
12. Мочалов А.Г., Якубович О.В., Золотарев А.А. Структурные изменения и сохранность радиогенного  $^4\text{He}$  в минералах платины при механических деформациях // Докл РАН. 2018. Т. 480, № 1. С. 85–89.
13. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. 536 с.
14. Симонов В.А., Приходько В.С., Ковязин С.В., Тарнавский А.В. Условия кристаллизации дунитов Кондерского платиноносного щелочно-ультраосновного массива, Юго-Восток Алданского щита // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29, № 5. С. 44–55.
15. Berdnikov N.V., Nevstruev V.G., Kepezhinskas P.K., et al. PGE mineralization in andesite explosive breccias associated with the Poperechny iron-manganese deposit (Lesser Khingan, Far East Russia): whole-rock geochemical,  $^{190}\text{Pt}$ - $^4\text{He}$  isotopic, and mineralogical evidence // Ore Geology Reviews. 2020. Vol. 118. P. 103352.
16. Gornostayev S.S., Crocket J.H., Mochalov A.G., Laajoki K.V.O. The platinum-group minerals of the Baimka placer deposits Aluchin horst, Russian Far East // The Canadian Mineralogist. 1999. Vol. 37. P. 1117–1129.
17. Gornostayev S.S., Dodatko A.D., Laajoki K.V.O., Mochalov A.G. Origin of platinum-bearing placers in the Aluchin horst, Russian Far East // Economic Geology. 2000. Vol. 95. P. 549–558.
18. Johan Z. Platinum group minerals from placers related to the Nizhni Tagil (Middle Urals, Russia) Uralien-Alaskan type ultramafic complex: ore-mineralogy and study of silicate inclusions in (Pt, Fe) alloys // Mineralogy and Petrology. 2006. Vol. 87. P. 1–30.
19. Vlasov E.A., Mochalov A.G., Naumov D.I. New data on platinum group minerals of The Chad lkaline-ultramafic massif Chad, Khabarovsk Krai, Russia. X International Symposium «Mineral diversity — research and preservation». Sofia, Bulgaria. 2020. P. 52–58.

Статья поступила в редакцию 26.09.2023,  
одобрена после рецензирования 02.10.2023,  
принята к публикации 22.01.2024