

УДК 553.068.54 + 553.491.8 + 553.041

ДВА ТИПА АССОЦИАЦИЙ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В ЗОЛОТОНОСНЫХ РОССЫПЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ



В.А. Гусев¹, Г.В. Нестеренко¹, С.М. Жмодик^{1,2}, Д.К. Беянин^{1,2}

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

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Минералы платиновой группы (МПГ) Кельбесского района (северо-западная часть Кузнецкого Алатау) представлены преимущественно Fe–Pt и Ru–Ir–Os сплавами. Минералого-геохимические особенности МПГ позволяют предположить наличие двух типов источников коренной минерализации: массивы Урало-Аляскинского типа и офиолитовые гипербазиты. Коренными источниками могут являться Успенский и Кайгадатский массивы. Полученные данные могут быть использованы для прогноза коренного оруденения.

Ключевые слова: аллювиальные россыпи, минералы платиновой группы, Кузнецкий Алатау, коренные источники, Алтай-Саянская складчатая область.

Введение

На территории северо-западной части Кузнецкого Алатау (Кельбесский россыпной район) широко распространены золотоносные россыпи с постоянно присутствующими в них незначительными количествами минералов платиновой группы, которые описывались многими исследователями [Высоцкий, 1933; Кривенко и др., 1994; Платиноносность..., 1995; Сазонов и др., 2000; Подлипский, Кривенко, 2001; Толстых, 2004; Жмодик и др., 2004; Нестеренко, Колпаков, 2010; Жмодик и др., 2016].

Было установлено, что соотношение золота к МПГ в россыпях непостоянное и меняется от 100:1 до 2:1 [Нестеренко, 1991; Подлипский, Кривенко, 2001; Жмодик и др., 2004 и др.]. Изучался минеральный состав россыпей, описывались минералого-геохимические особенности МПГ (состав, морфология, минеральные включения, микроструктуры и т.д.), высказывались предположения о возможных типах коренных источников МПГ [Подлипский, Кривенко, 2001; Толстых, 2004; Жмодик и др., 2004, 2016]. В частности, предполагалось, что Кайгадатский массив, расположенный в непосредственной близости к изучаемым россыпям, может быть массивом Урало-Аляскинского типа и являться потенциальным коренным источником платинометальной минерализации [Подлипский, Кривенко, 2001]. Трудности в обнаружении коренных источников могут быть связаны с мощным покровом перекрывающих мезо-кайнозойских отложений и тем фактом, что аллювий современных рек зачастую является продуктом перемыва более древних россыпей [Подлипский, Кривенко, 2001].

МПГ россыпей, как правило, имеют признаки, характеризующие источник коренной минерализации, наиболее надежными из которых являются минеральные парагенезисы МПГ и тренды составов

Ru–Ir–Os сплавов. Помимо прямых типоморфных признаков существует ряд косвенных, таких как соотношение Fe–Pt к Ru–Ir–Os сплавам, состав Fe–Pt сплавов и др., которые также могут использоваться при прогнозах коренного оруденения [Tolstykh et al., 2002].

Целью исследований было выявление типоморфных особенностей МПГ из шлиховых ореолов Кельбесского района с последующим выявлением типов коренных источников платинометальной минерализации. Это является важным, поскольку с одним типом интрузий (Урало-Аляскинским) могут ассоциироваться экономически значимые платиновые россыпи, при этом другой тип (офиолитовые гипербазиты) никогда не образует промышленных россыпей, а их шлиховые ореолы могут иметь значимость только для выявления генетических особенностей коренного источника.

Геологическое строение района

Кельбесский россыпной район располагается в предгорье северо-западной части Кузнецкого Алатау (рис. 1) и занимает водораздельные пространства рек Золотой Китат, Барзас и Кельбес. В тектоническом отношении он приурочен к центральной части Пезасско-Золотокитатского поднятия, ограниченного с запада Кузнецким прогибом, а с востока Чулымо-Енисейской впадиной. Пезасско-Золотокитатское поднятие представлено чередующимися горстами и грабенами, которые находятся между крупных разломов субмеридионального простирания. Геологическое строение Кельбесского района показано на схеме, составленной на базе государственной геологической карты доюрских образований (рис. 2).

Пезасско-Золотокитатское поднятие делится на два структурных этажа. Нижний этаж поднятия представлен метаморфическим комплексом R₃, амфи-

болиты которого сопоставляются с островодужными образованиями. Верхний этаж сложен терригенно-вулканогенными комплексами с островодужным

дацит-андезит-базальтовым магматизмом R_3 – D_1 , которые прорываются коллизионными гранитоидами [Объяснительная записка..., 2001].

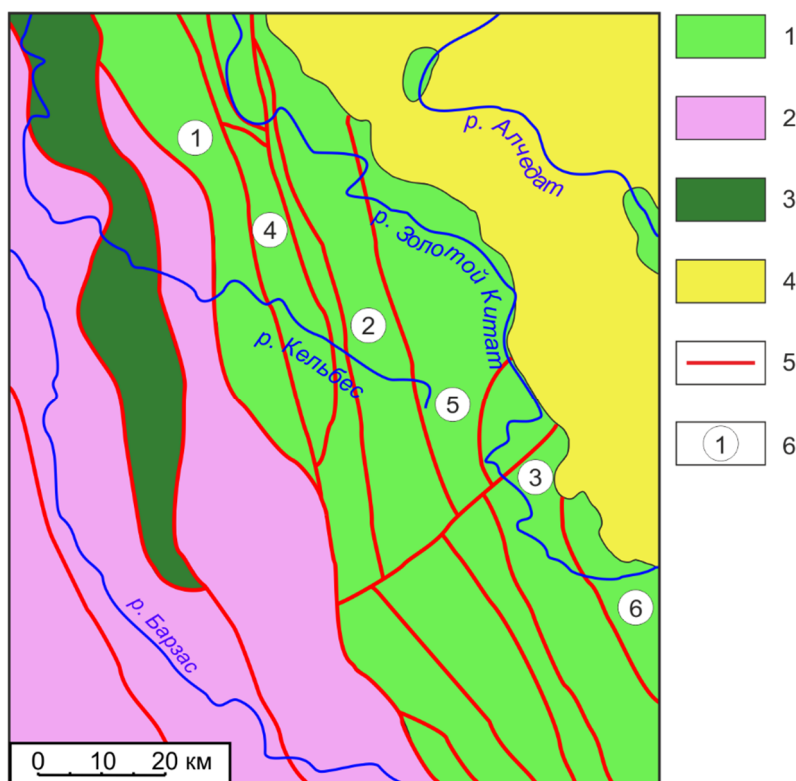


Рис. 1. Схема тектонического районирования северо-западной части Кузнецкого Алатау

1 – Пезасско-Золотокитатское поднятие; 2 – Кузнецкий прогиб; 3 – Яя-Кельбесская меланжевая зона; 4 – Чулымо-Енисейская впадина; 5 – разрывные нарушения; 6 – горсты и грабены. Цифрами обозначены горсты: Яйский (1), Суховский (2), Кайгадатский (3); и грабены: Кельбесский (4), Мурюкский (5), Тайдонский (6)

Fig. 1. Scheme of tectonic zoning of northwest Kuznetsk Alatau

1 – Pezas-Zolotokitatsky uplift; 2 – Kuznetsk trough; 3 – Aya-Kelbess melange zone; 4 – Chulyumo-Yenisei depression; 5 – disjunctive dislocation; 6 – horsts and grabens. The numbers indicate horsts: Yaysky (1), Sukhovsky (2), Kaygadatsky (3); and grabens: Kelbessky (4), Muryuksky (5), Taydonsky (6)

Чулымо-Енисейская впадина относится к структурам Западно-Сибирской плиты, выполнена мезозойскими континентальными отложениями, которые частично перекрывают Пезасско-Золотокитатское поднятие. Особенностью Чулымо-Енисейской впадины является широкая распространенность меловых кор выветривания.

Интрузивные образования занимают небольшую часть региона, однако играют важную роль в металлогении [Объяснительная записка..., 2001]. Наиболее крупными интрузивами являются перидотит-пироксенит-габбровые массивы иркутского комплекса (Кайгадатский и Мурюкский) и габбро-диорит-долеритовые массивы писаревского комплекса (Ампалькский и Успенский). Эти массивы датируются нижним кембрием [Объяснительная записка..., 2001], хотя имеются данные о том, что Кайгадатский массив имеет ордовикский возраст [Подлипский, Кривенко, 2001]. На востоке района располагаются крупные выходы гранитоидов ольгинского ареала нижне-

девонского тельбесского монцодиорит-гранодиорит-меланогранитового комплекса, а юго-западнее, в бассейне реки Барзас, – ниже-среднетриасового абинского траппового трахибазальтового комплекса. Субвулканические образования представлены разновозрастными мелкими дайками базитов (габбро, долериты).

Золотоносные россыпи района, в которых встречаются зерна МПГ, представлены четырьмя возрастными группами, которые, в свою очередь, делятся на несколько генетических [Платонов и др., 1998]:

1) меловые россыпи, представленные элювиальными россыпями остаточных кор выветривания, эрозивно-карстовыми россыпями переотложенных кор химического выветривания, прибрежно-морскими россыпями береговых зон;

2) палеоценовые россыпи, элювиальные и элювиально-делювиальные;

3) неоген-четвертичные делювиальные россыпи;

4) четвертичные россыпи, преимущественно аллювиальные.

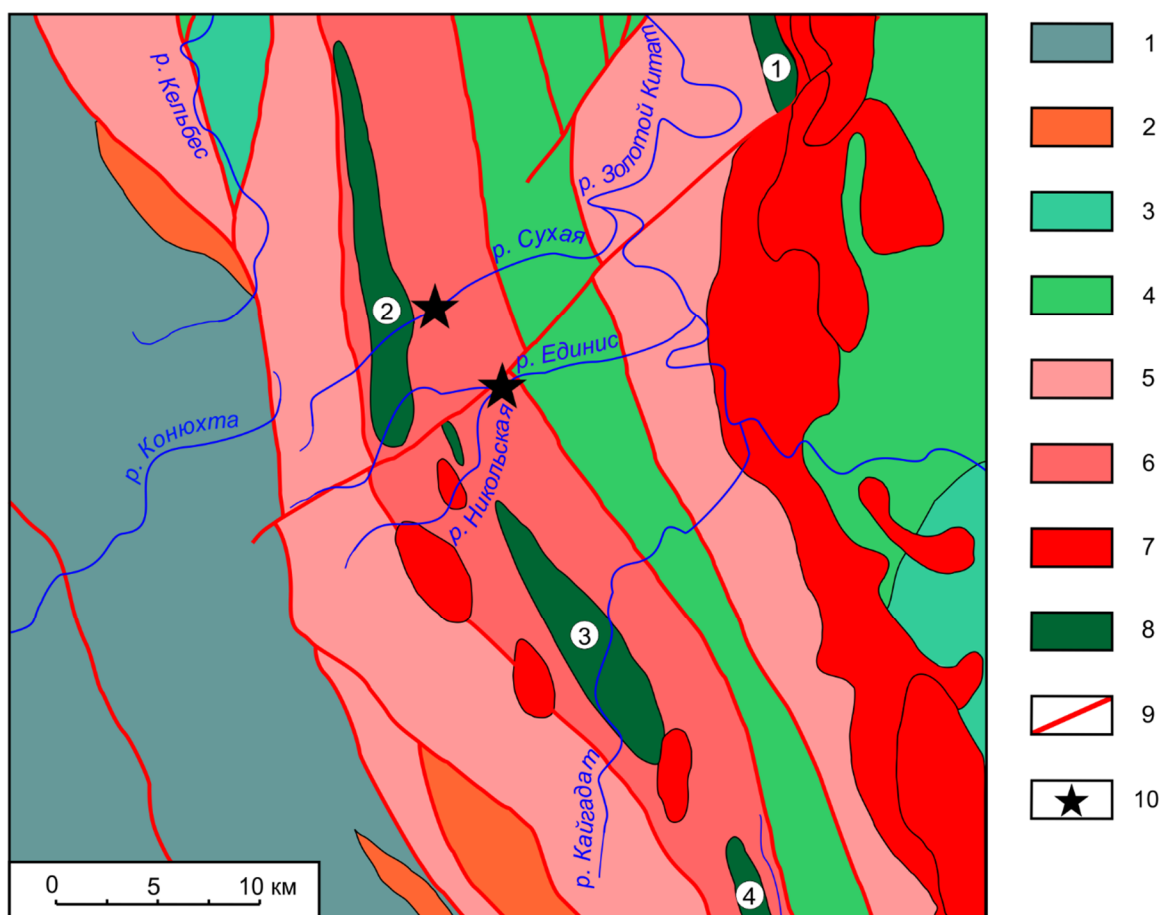


Рис. 2. Геологическая схема доюрских отложений Кельбесского района, составленная на основе листа N-45-III, ГГК-200/2 [Объяснительная записка..., 2001]

1 – песчаники, алевролиты, гравеллиты (C_1-C_3); 2 – песчаники, алевролиты, известняки (D_1-D_3); 3 – песчаники, алевролиты, туфы базальтов и андезитов (O_1); 4 – базальты, андезибазальты, известняки, песчаники (E_1-E_3); 5 – известняки, доломиты, мергели (R_3-V_{pz1}); 6 – амфиболиты, мрамора (R_3); 7 – лейкограниты, гранодиориты, диориты (D_1); 8 – гипербазит-базитовые массивы (1 – Амपालыкский, 2 – Успенский (габбродиабазы, габбродиориты габбро); 3 – Кайгадатский, 4 – Мурюкский (перидотиты, пироксениты, габбро); 9 – разрывные нарушения; 10 – места отбора проб

Fig. 2. The geological scheme of the pre-Jurassic formation of the Kelbes region, compiled on the basis of map N-45-III, GGG-200/2 [Ob'yasnitel'naya zapiska..., 2001]

1 – sandstones, siltstones, gravelites (C_1-C_3); 2 – sandstones, siltstones, limestones (D_1-D_3); 3 – sandstones, siltstones, tuffs of basalts and andesites (O_1); 4 – basalts, andesite basalts, limestones, sandstones (E_1-E_3); 5 – limestones, dolomites, marls (R_3-V_{pz1}); 6 – amphibolites, marble (R_3); 7 – leucogranites, granodiorites, diorites (D_1); 8 – hyperbasite-basite massifs (1 – Ampalykский, 2 – Uspenskiy (gabbro-diorite, gabbro); 3 – Kaygadatskiy, 4 – Muryukskiy (peridotites, pyroxenites, gabbro); 9 – disjunctive disloc; 10 – sampling sites

Из всех групп наиболее широко представлены четвертичные аллювиальные россыпи. Это единственный тип россыпей, который интенсивно отрабатывался на территории в последние годы. В настоящее время ведется повторная отработка аллювиальных россыпей рек Сухая, Единис, Никольская, Кельбес, Левая Вершина. Наиболее крупные реки Кельбесского района и позиции изученных авторами россыпей показаны на рис. 2.

Методика работ

Крупнообъемные пробы были отобраны в русле р. Сухая и русле на слиянии рек Единис и Никольская (см. рис. 2). Отмытый шлиховой концентрат разделен

на немагнитную, электромагнитную и магнитную фракции. Зерна МПГ отбирались вручную под бинокулярным микроскопом из тяжелой немагнитной фракции. Морфология зерен изучалась на оптическом микроскопе AxioScope.A1 Zeiss с узлом фотофиксации изображения. После фотографирования зерна МПГ монтировались в шашки из эпоксидной смолы, из которых делались безрельфные полированные препараты для анализа на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Работы проводились на СЭМ MIRA 3 LMU (Tescan Orsay Holding), снабженном системами микроанализа INCA Energy 450+ X-Max 80 и INCA Wave 500 (Oxford Instruments Nanoanalysis Ltd). Ускоряющее напряжение 20 кВ, время набора спектра 20 с.

Минеральные ассоциации шлиховых ореолов

В шлиховом материале были обнаружены минералы МПГ: 7 зерен в россыпи слияния рек Никольская и Единис (5 зерен железистой платины, одно зерно осмия и одно зерно сперрилита), 26 зерен в россыпи р. Сухая (6 зерен изоферроплатины, 1 зерно железистой платины, 8 зерен самородной платины, 3 зерна рутения, 7 зерен осмия, одно зерно брэггита).

Изоферроплатина Pt_3Fe . Изоферроплатина обнаружена в россыпи р. Сухая (6 зерен). Представлена преимущественно округлыми, слабоуплощенными и хорошо окатанными зернами со средним размером от 0,25 до 0,5 мм (рис. 3, а). Изоферроплатина встречается преимущественно в виде самостоятельных зерен (рис. 4, а), реже в виде таблитчатых включений в Ru–Ir–Os сплавах (рис. 4, б; 5, с).

Железистая платина (Pt, Fe). Железистая платина найдена в россыпи слияния рек Единис и Никольская (3 зерна) и Сухая (1 зерно). Встречается только

в виде самостоятельных зерен, сростания с другими минералами не обнаружены. Зерна железистой платины имеют округлый облик, слабо уплощены и хорошо окатаны, по внешнему виду и среднему размеру не отличаются от изоферроплатиновых.

Самородная платина Pt. Самородная платина обнаружена в россыпи слияния рек Единис и Никольская (2 зерна) и россыпи р. Сухая (8 зерен). Встречается в виде мелких (0,1–0,2 мм), округлых, слабо уплощенных, хорошо окатанных мономинеральных зерен, сходных с изоферроплатиной и железистой платиной. Исключением являются два зерна, форма которых неправильная, а поверхность сглажена слабо (рис. 4, с). Отличительной особенностью этих двух зерен является содержание Pt, близкое к 100%, т.е. примеси отсутствуют или содержатся в минимальном количестве. Самородная платина также отмечается в виде кайм по железистой платине (рис. 4, d), менее железистых, чем центральная часть зерна.

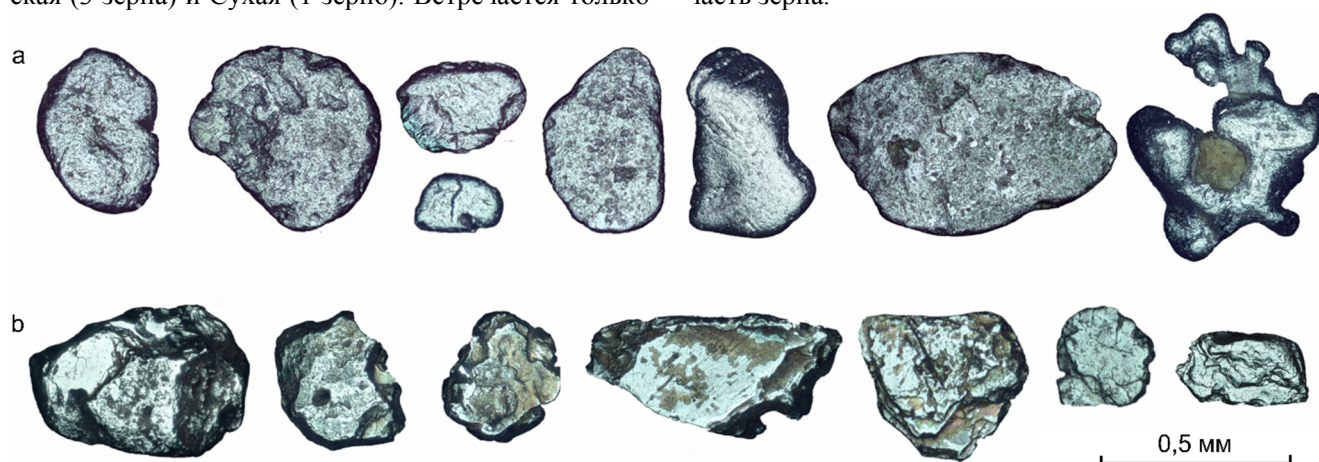


Рис. 3. Морфология зерен МПГ
а – Fe–Pt сплавы; б – Ru–Ir–Os сплавы

Fig. 3. Morphology of grains of Platinum Group Minerals (PGM)
a – Fe–Pt alloys; b – Ru–Ir–Os alloys

Осмий. Обнаружен в россыпях Единис-Никольская (1 зерно) и Сухая (6 зерен). Встречается преимущественно в виде мономинеральных зерен. В отличие от Fe–Pt сплавов, осмий представлен уплощенными, таблитчатыми, слабо окатанными зернами размером от 0,2 до 0,5 мм (рис. 3, б). Иногда осмий встречается в виде тонких нитевидных ламелей в рутении (рис. 5, а) или таблитчатых включений в изоферроплатине (см. рис. 4, а).

Рутений. Три мономинеральных зерна рутения размером от 0,2 до 0,4 мм были найдены в россыпи по р. Сухая. В целом морфология зерен рутения и осмия не различается. Два зерна из трех содержат включения. Первое – включения изоферроплатины, ирарсита и неназванной фазы, состав которой пересчитывается на формулу $Rh_{1,00}(Sb_{0,95}As_{0,05})_{1,00}$

(см. рис. 5, с, d). Второе – изоферроплатина в виде двух таблитчатых включений (см. рис. 4, б).

Сперрилит $PtAs_2$. Единственное ограниченное зерно сперрилита размером 0,2 мм было обнаружено в россыпи Единис-Никольская. Оно является слабоокатанным, на поверхности зерна присутствует множество круглых отверстий размером около 0,05 мм (рис. 6, а), которые в небольшом количестве отмечены также и на срезе (рис. 6, б).

Брэггит (Pt, Pd, Ni)S. Единственное мономинеральное зерно округлой формы размером 0,25 мм, хорошо окатанное, обнаружено в россыпи р. Сухая. В химический состав входит 15 мас. % серы и 75 мас. % Pt; в качестве примеси содержится 7,2 мас. % Pd.

Ирарсит $IrAsS$. Ирарсит обнаружен в виде включений в рутении из россыпи по р. Сухая. Включения

расположены беспорядочно, имеют округлую форму и не превышают 0,03 мм (см. рис. 5, *a*).

Лаурит RuS_2 . Лаурит обнаружен в виде пяти мелких (до 0,03 мм) включений в одном из зерен осмия россыпи р. Сухая (см. рис. 5, *b*). Включения округлые, располагаются вдоль трещины в краевой части зерна.

Неизвестная фаза $Rh_{1,00}(Sb_{0,95}As_{0,05})_{1,00}$. Отмечена в виде единственного включения в одном из зерен

рутения (см. рис. 5, *c, d*) из россыпи Сухая, в срастании с изоферроплатиной. Включение темное, вытянутое, размером около 2×8 мкм (см. рис. 5, *b*). Его химический состав: 43,17 мас. % Rh, 49,44 мас. % Sb и 1,65 мас. % As, что пересчитывается на формулу $Rh_{1,00}(Sb_{0,95}As_{0,05})_{1,00}$. Незванный антимонит родия – потенциально новый минерал аналогичного состава, но с небольшими примесями Ir и Pt, был

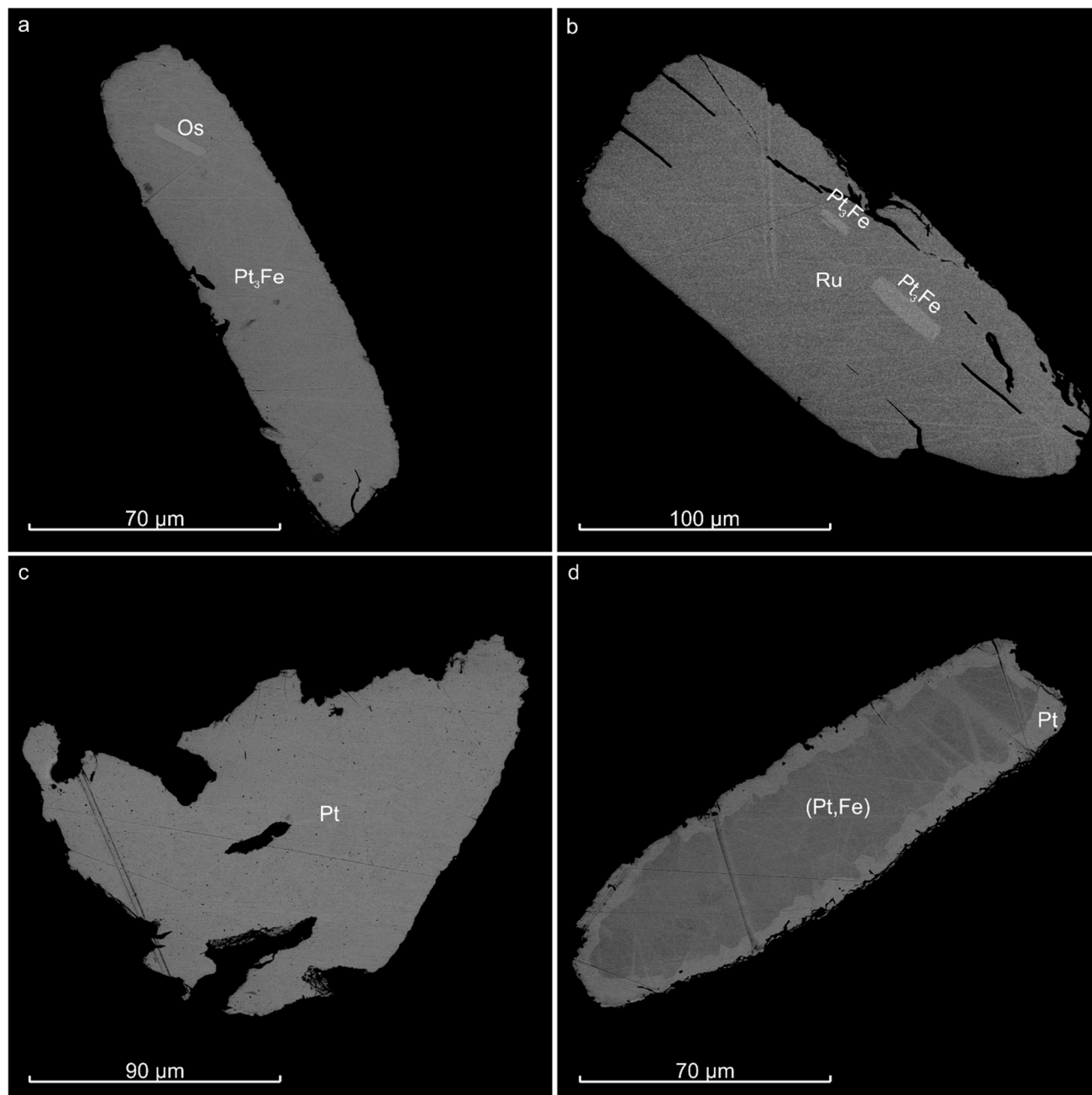


Рис. 4. SEM-изображения МПГ и их взаимоотношений из россыпей Кельбесского района, режим BSE

a – изоферроплатина с таблитчатым включением низкорутенистого осмия (р. Сухая); *b* – таблитчатое включение изоферроплатины в зерне рутения (р. Сухая); *c* – мономинеральное зерно самородной платины (р. Сухая); *d* – каймы самородной платины на зерне железистой платины (р. Единис-Никольская)

Fig. 4. SEM images of PGMs and their relationships from placers in the Kelbes region, BSE mode

a – isoferroplatinum with tabular inclusion of Ru-poor osmium (River Sukhaya); *b* – tabular inclusion of isoferroplatinum in ruthenium grain (River Sukhaya); *c* – monomineral grain of native platinum (River Sukhaya); *d* – rims of native platinum on the grain of ferruginous platinum (River Edinis-Nikolskaya)

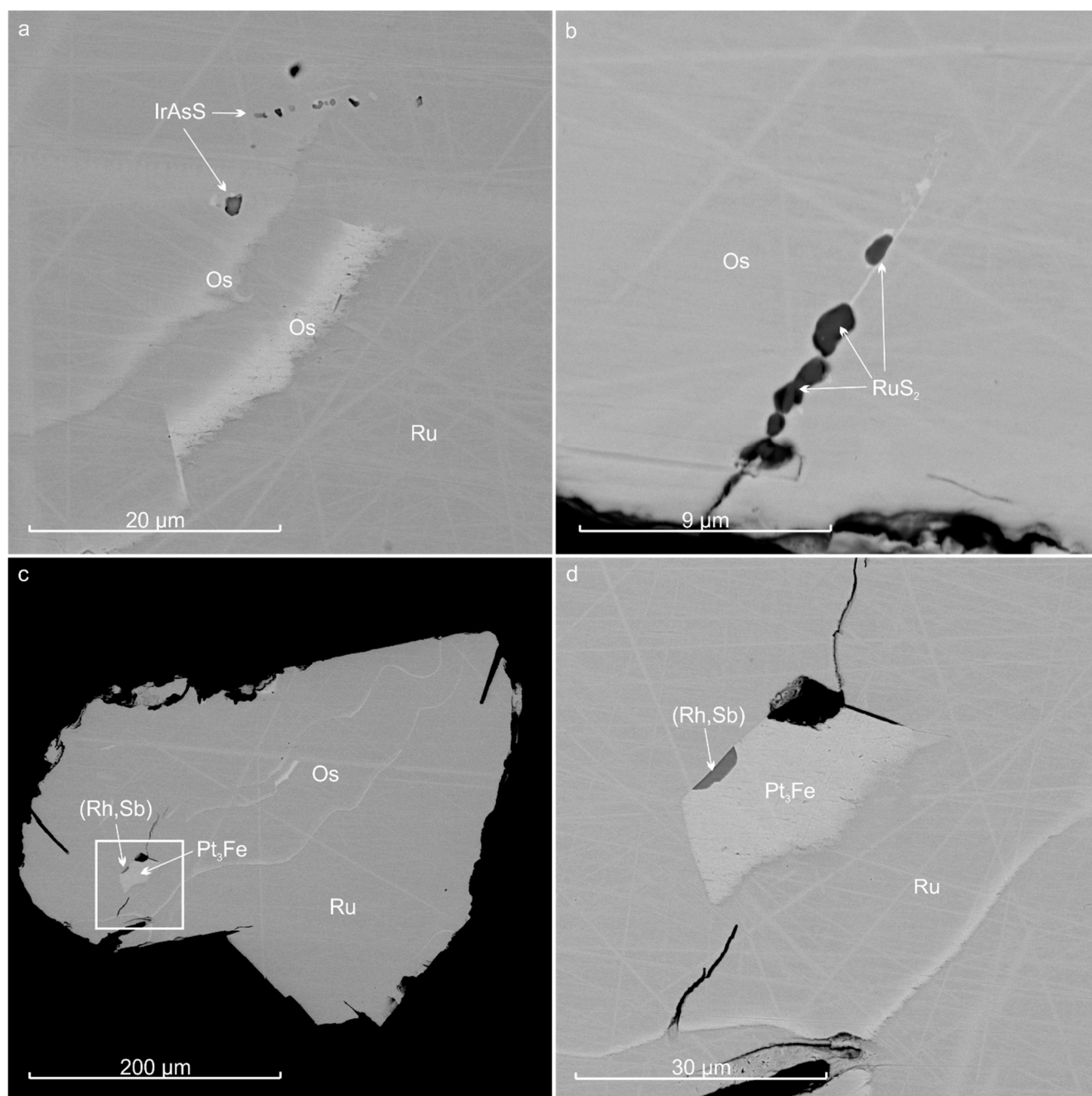


Рис. 5. SEM-изображения Ru–Ir–Os сплавов из россыпей Кельбесского района, режим BSE

а – ирарсит и ламели осмия в зерне рутения (р. Сухая); б – лаурит в зерне осмия (р. Сухая); в – зерно рутения с включениями осмия, изоферроплатины и неизвестной фазы $\text{Rh}_{1,00}(\text{Sb}_{0,95}\text{As}_{0,05})_{1,00}$ (р. Сухая); д – фрагмент изображения «в» (белый квадрат) крупным планом

Fig. 5. SEM images of Ru–Ir–Os alloys from placers in the Kelbes region, BSE mode

а – irarsite and osmium lamellae in ruthenium grain (River Sukhaya); б – laurite in osmium grain (River Sukhaya); в – ruthenium grain with inclusions of osmium, isoferroplatinum and unknown phase $\text{Rh}_{1,00}(\text{Sb}_{0,95}\text{As}_{0,05})_{1,00}$ (River Sukhaya); д – fragment of the image “в” (white square) close-up

обнаружен ранее в качестве включения в Pt–Fe самородке из россыпи реки Туламин в Британской Колумбии [Aubut, 1979]. Известен также синтетический аналог этой фазы, имеющий орторомбическую структуру [Pfisterer, Schubert, 1950].

Составы Fe–Pt и Ru–Ir–Os сплавов

Химические составы Fe–Pt и Ru–Ir–Os сплавов весьма разнообразны. Среди Fe–Pt сплавов наиболее распространена самородная платина, несколько реже

встречаются изоферроплатина и железистая платина (табл. 1, рис. 7, *а*). Типичными примесями являются Cu (до 1,05 мас. %), Ni (до 0,87 мас. %), Pd (преимущественно от 0,41 до 2,12 мас. %, в единственном случае 5,17 мас. %) и Rh (до 3,58 мас. %). Реже встречаются примеси Ir (до 3,39 мас. %) и Ru (до 0,72 мас. %).

Среди Ru–Ir–Os сплавов наиболее распространены сплавы с преобладанием осмия, в меньшем количестве встречаются сплавы с преобладанием рутения (табл. 2, рис. 7, *b*). Типичными примесями являются Fe (до 0,59 мас. %), Pt (до 2,18 мас. %), Rh (до 1,8 мас. %), реже встречается Ni (от 0,31 до 0,44 мас. %).

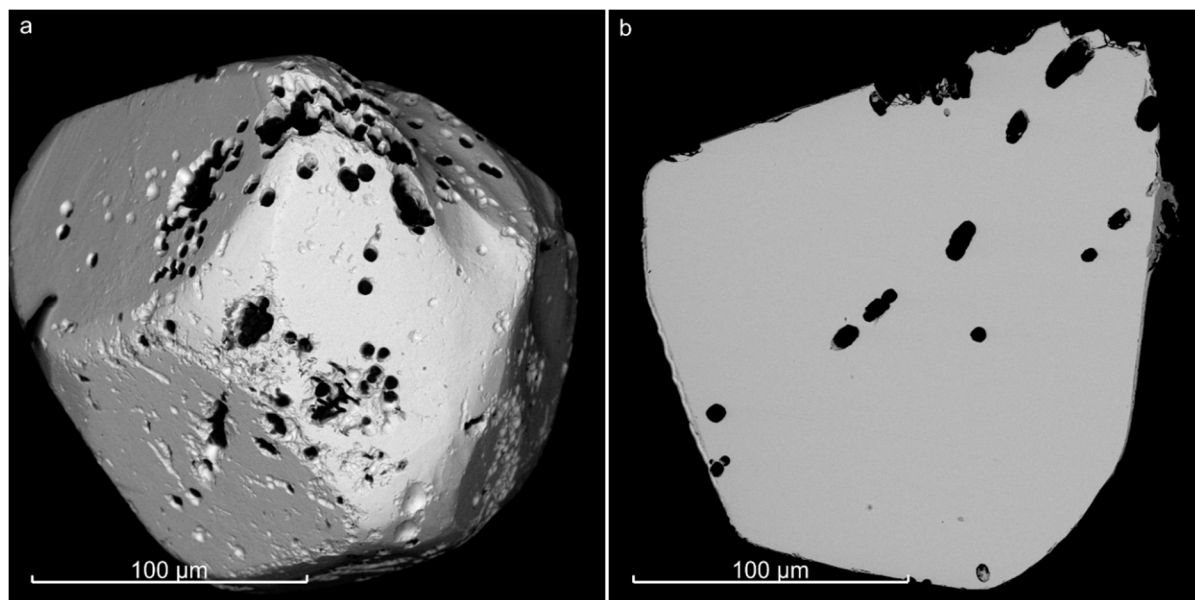


Рис. 6. SEM-изображения зерна сперритита (россыпь Единис-Никольская)
а – неполированное зерно, режим SE; б – срез зерна, режим BSE

Fig. 6. SEM images of sperrylite grain (Edinis-Nikolskaya placer)
a – unpolished grain, SE mode; b – grain cut, BSE mode

Химический состав Fe–Pt сплавов, мас. %

Таблица 1

The chemical composition of Fe–Pt alloys, wt. %

Table 1

[illegible]

Таблица 2

Химический состав Ru-Ir-Os сплавов, мас. %

Table 2

The chemical composition of Ru-Ir-Os alloys, wt. %

Россыпь слияния рек Единис и Никольская										
Зерно	Минерал	Fe	Ni	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Сумма
1	Осмий	0,13	0,4	0,86			68,3	33,7		103,47
Россыпь реки Сухая										
Зерно	Минерал	Fe	Ni	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Сумма
1	Осмий	0,17		16,49			44,4	34,88		100,21
2		0,21		18,56			44,61	33,48	1,55	98,68
3		0,31		2,92			58,53	36,19		97,95
4				24,15	0,75		37,62	33,95	2,18	98,64
5		0,26	0,36	14,27	1,01		50,33	33,12	0,96	100,32
6		0,28	0,31	22,1	1,61		39,66	33,23	2,16	99,33
7		0,59	0,44	15,19	0,52		46,66	37,17		100,57
1	Рутений			37,07			42,02	19,48		98,56
2		0,42	0,4	31,91	1,8	0,37	36,05	27,14	1,96	100,05
3		0,22		31,25	1,02		34,03	27,91	1,16	95,59

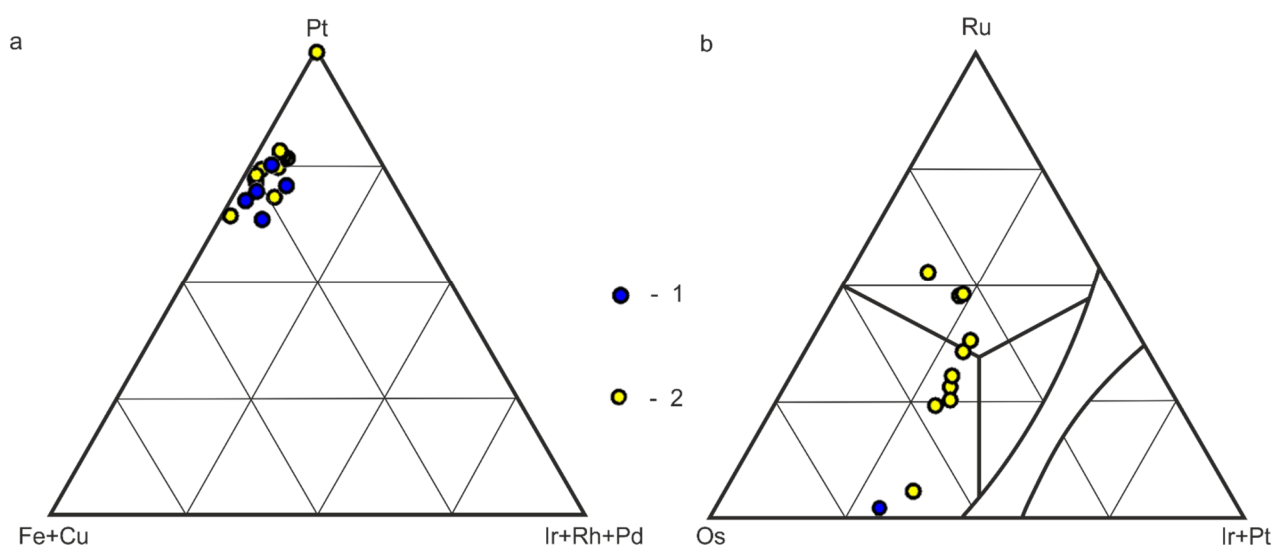


Рис. 7. Химические составы Fe-Pt (а) и Ru-Ir-Os (b) сплавов россыпей

1 – Единис-Никольская; 2 – Сухая

Fig. 7. Chemical compositions of Fe-Pt (a) and Ru-Ir-Os (b) alloys of placers

1 – Edinis-Nikolskaya; 2 – Sukhaya

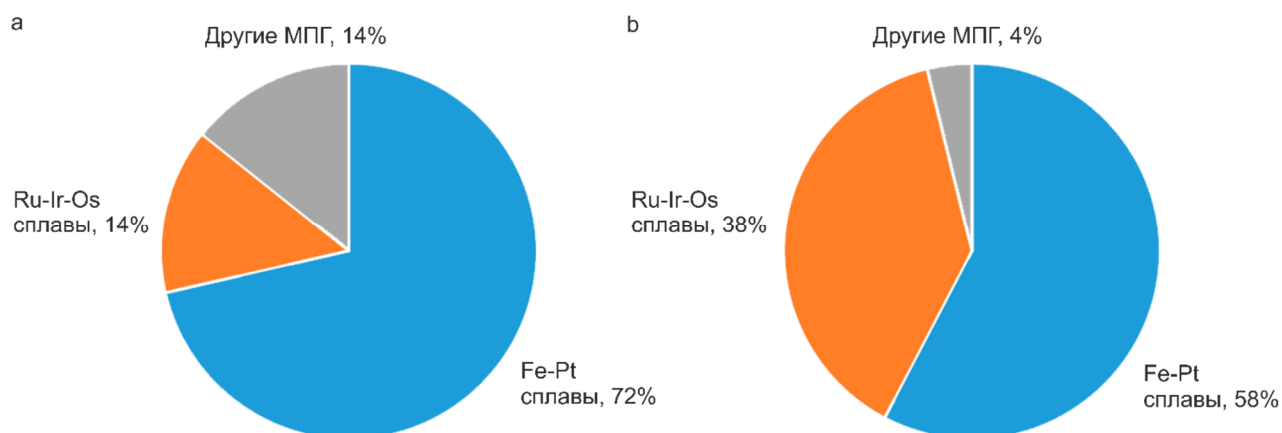


Рис. 8. Распределение минералов МПГ в россыпях

а – Единис-Никольская; б – Сухая

Fig. 8. Distribution of PGM minerals in placers

а – Edinis-Nikolskaya; б – Sukhaya

Распределение минералов МПГ в россыпях

В общей выборке выделяется два типа ассоциаций: ферроплатиновая (20 зерен, 61% выборки), в целом преобладающая над рутениридосминовой (11 зерен, 33% выборки). В россыпи Единис-Никольская Fe–Pt сплавы (5 зерен, 72%) преобладают над Ru–Ir–Os сплавами (1 зерно, 14%) (рис. 8, *a*). В россыпи Сухая Ru–Ir–Os сплавы также находятся в подчиненном количестве (10 зерен, 38%) перед Fe–Pt сплавами (15 зерен, 58%), однако их соотношение отлично от наблюдаемого в россыпи Единис-Никольская (рис. 8, *b*).

Обсуждение результатов

Наиболее важной задачей, которая решается в процессе изучения россыпной платинометалльной минерализации, является определение типа коренного источника и конкретного габброидного массива, несущего данную минерализацию. В последние годы ведется разработка критериев, позволяющих сопоставлять МПГ шлиховых ореолов с различными типами коренных источников платинометалльной минерализации [Tolstykh et al., 2002; Толстых, 2004; Толстых, Подлипский, 2010].

Известно, что россыпи северо-западной части Кузнецкого Алатау характеризуются непостоянным соотношением ферроплатиновой и рутениридосминовой ассоциаций, что говорит о существовании как минимум двух типов коренных источников на этой территории [Подлипский, Кривенко, 2001; Жмодик и др., 2004, 2016]. Аналогичная ситуация наблюдается и в изученных нами шлиховых ореолах по рекам Единис, Никольская и Сухая, в которых соотноше-

ние Fe–Pt и Ru–Ir–Os сплавов различается (см. рис. 8). Преобладание Fe–Pt сплавов в качестве главного косвенного признака может указывать на Урало-Аляскинский источник [Tolstykh et al., 2005].

Типоморфным признаком, позволяющим надежно определить тип коренного источника, являются минеральные парагенезисы МПГ (равновесные сростания сплавов): осмий-изоферроплатиновый и изоферроплатино-иридиевый для Урало-Аляскинских источников и осмий-иридиевый и изоферроплатино-рутениевый – для офиолитовых [Tolstykh et al., 2002; Толстых, 2004].

В ходе нашего исследования было обнаружено два индикаторных парагенезиса: осмий-изоферроплатиновый (см. рис. 4, *a*) в виде включений таблитчатых кристаллов низкорутенистого осмия в матрице изоферроплатины и изоферроплатино-рутениевый (см. рис. 4, *b*; рис. 5, *c*, *d*) в виде включений изоферроплатины в матрице самородного рутения.

Первый из них характерен для МПГ массивов Урало-Аляскинского типа, а второй – для МПГ офиолитовых гипербазитов [Толстых, 2004; Tolstykh et al., 2005].

Помимо этого, тип коренного источника надежно определяется по трендам на тройных диаграммах состава Ru–Ir–Os сплавов [Bird, Bassett, 1980; Толстых, 2004]. Осмиевый тренд указывает на массивы Урало-Аляскинского типа как на коренной источник МПГ, а рутениевый тренд – на офиолитовые гипербазиты.

Ниже приведены данные по химическим составам Ru–Ir–Os сплавов различных россыпей, связанных с офиолитовыми гипербазитами (рис. 9, *a*), и отмечен рутениевый тренд составов [Толстых, 2004].

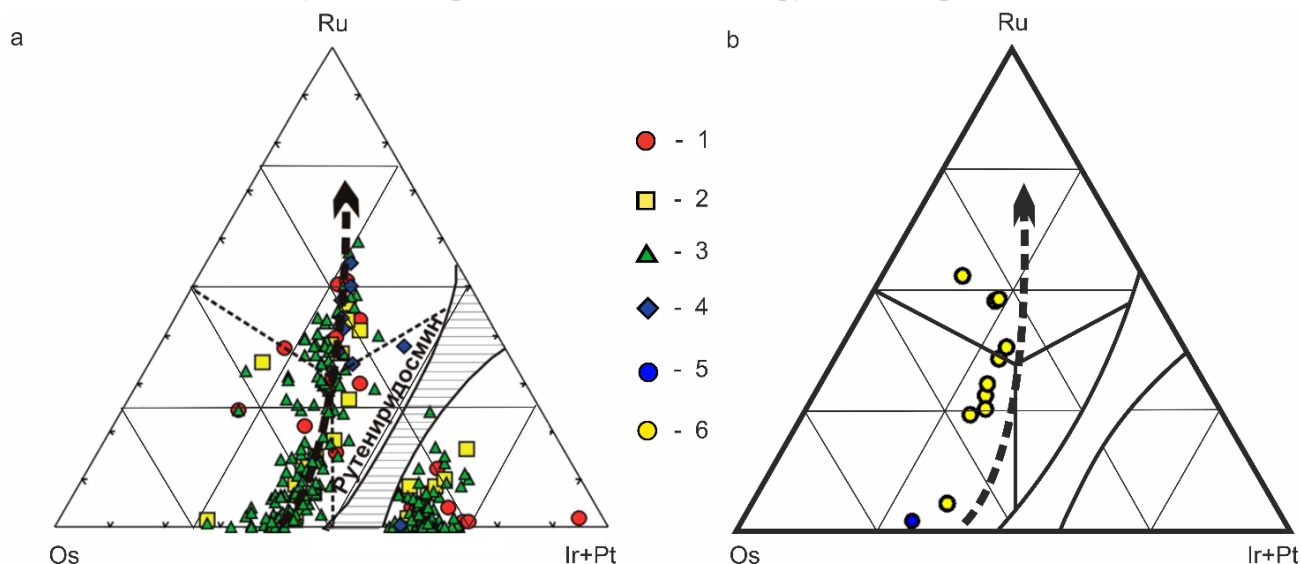


Рис. 9. Сравнение химических составов Ru–Ir–Os сплавов из изученных россыпей (*a*) и россыпей, связанных с офиолитовыми комплексами (*b*), по данным [Толстых, 2004]

1 – Золотая; 2 – Гарь 1, 2; 3 – Ольховая – 1; 4 – Суенга; 5 – Единис-Никольская; 6 – Сухая. Пунктирная стрелка – рутениевый тренд

Fig. 9. Comparison of the chemical compositions of Ru–Ir–Os alloys from the studied placers (*a*) and placers associated with ophiolite complexes (*b*) according to [Tolstykh, 2004]

1 – Zolotaya; 2 – Gar' 1, 2; 3 – Olkhovaya – 1; 4 – Suyenga; 5 – Edinis-Nikolskaya; 6 – Sukhaya. Dotted arrow – ruthenium trend

Химические составы изученных нами Ru–Ir–Os сплавов (рис. 9, *b*) в целом с ними схожи и также близки к рутениевому тренду, что свидетельствует в пользу офиолитовых гипербазитов как источника МПГ россыпи р. Сухая. Малый размер имеющейся выборки не позволяет надежно выделить осмиевый тренд, однако отмечен низкорутенистый состав одного из зерен осмия, что также характерно для Урало-Аляскинских массивов.

Постмагматические минералы в россыпи и их включения в МПГ могут косвенно указывать на тип коренного источника. В изученной выборке присутствуют арсениды и сульфиды платины – сперриллит и брэггит соответственно. Сульфиды и арсениды платины типичны для постмагматического этапа развития рудоформирующей системы массивов Урало-Аляскинского типа. В пользу этого предположения свидетельствует хорошая огранка сперриллита (см. рис. 6, *a*). Подобный сперриллит был ранее обнаружен при изучении массива Инагли и описывался как образованный

в ходе гидротермально-метасо-матического процесса (метакристалл) [Толстых, Кривенко, 1997]. В случае с исследованным зерном вопрос остается открытым, поскольку реликтов первичных Fe–Pt сплавов и минералов палладия в нем не отмечается.

Помимо этого, в зернах осмия и рутения обнаружены включения ирарсита и лаурита. Образование этих минералов при постмагматическом замещении по Ru–Ir–Os сплавам характерно для рудоформирующей системы офиолитовых гипербазитов [Толстых, 2004; Tolstykh et al., 2009].

Таким образом, в ходе работы был получен ряд прямых и косвенных свидетельств участия массивов Урало-Аляскинского типа и офиолитовых гипербазитов в питании россыпей Кельбесского района.

Важно отметить, что МПГ, несущие в себе признаки массивов Урало-Аляскинского типа, отмечаются в россыпях всех трех рек, тогда как МПГ офиолитовых гипербазитов обнаружены только в россыпях р. Сухая.

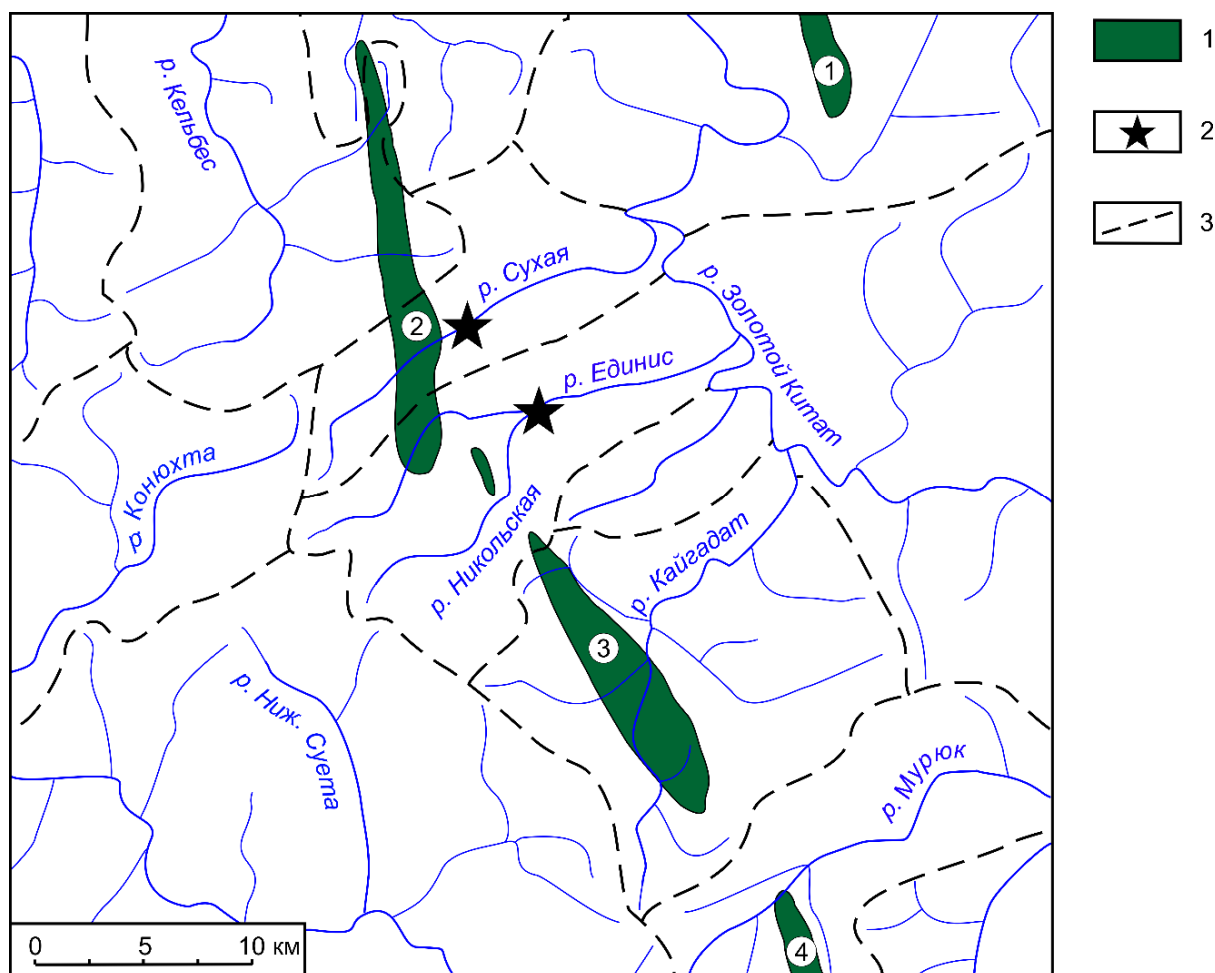


Рис. 10. Современная гидросеть Кельбесского россыпного района с местами отбора проб

1 – гипербазит-базитовые массивы (1 – Амपालыкский, 2 – Успенский (габбро, габбродиориты); 3 – Кайгадатский, 4 – Мурюкский (перидотиты, пироксениты, габбро)); 2 – места отбора проб; 3 – границы водосборных бассейнов рек

Fig. 10. Modern water network of the Kelbes alluvial placers district with sampling sites

1 – hyperbasite-basite massifs (1 – Ampalyksky, 2 – Uspensky (gabbro, gabbrodiorite); 3 – Kaygadatsky, 4 – Muryuksky (peridotites, pyroxenites, gabbro)); 2 – sampling sites; 3 – river catchment boundaries

Минеральная ассоциация изученных Fe–Pt сплавов Урало-Аляскинского типа, выявленная в россыпях р. Единис – р. Никольская и р. Сухая, по составу схожа с той, что описывалась ранее в россыпях крупных рек Кельбесского района – Кайгадат, Кельбес и Селла [Подлипский, Кривенко, 2001]. Река Селла в настоящее время является правым притоком р. Кельбес и находится севернее района работ, показанного на рис. 10. Сходство минеральной ассоциации МПГ свидетельствует о наличии общего коренного источника, питающего указанные россыпи. Предполагалось, что коренным источником для нее является Кайгадатский массив, который был отнесен к Урало-Аляскинскому типу [Подлипский, Кривенко, 2001]. Также имеются факты, говорящие о том, что современная речная сеть не совпадает с раннечетвертичной речной сетью, известной как Палеокельбес. Считается, что в раннечетвертичное время истоки р. Селла были расположены на том же водоразделе, на котором расположен Кайгадатский перидотит-пироксенит-габбровый массив, в связи с чем было выдвинуто предположение, что Fe–Pt сплавы из этого массива могли переноситься в северном направлении по палеоруслу р. Селла [Подлипский, Кривенко, 2001]. Учитывая, что россыпи р. Сухая и р. Единис – р. Никольская расположены между современным течением р. Селла и Кайгадатским массивом, можно предположить, что этот массив принимал участие в питании указанных россыпей в раннечетвертичное время, даже несмотря на невозможность сноса материала Кайгадатского массива в эти россыпи при современной речной сети (см. рис. 10).

В настоящее время снос материала в россыпи рек Сухая и Единис осуществляется с Успенского массива, который в литературе описывается как офиолитовый [Объяснительная записка..., 2001], а в россыпь р. Никольская – с Кайгадатского массива, который считается Урало-Аляскинским [Подлипский, Кривенко, 2001] (см. рис. 10). Таким образом, Успенский и Кайгадатский массивы являются наиболее подходящими объектами на роль коренных

источников платинометалльной минерализации Кельбесского района Северо-Западной части Кузнецкого Алатау.

Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что МПГ из россыпей Кельбесского района северо-западной части Кузнецкого Алатау представлены преимущественно Fe–Pt и Ru–Ir–Os сплавами, морфология которых существенно различается. Непостоянное соотношение этих сплавов в россыпях региона свидетельствует о наличии как минимум двух различных типов коренных источников платинометалльной ассоциации.

Выявлены минеральные парагенезисы, характерные для коренных источников двух типов: офиолитовые гипербазиты и массивы Урало-Аляскинского типа, что подтверждается наличием рутениевого тренда на тройных диаграммах состава Ru–Ir–Os сплавов и рядом косвенных признаков.

Коренными источниками платинометалльного оруденения могут являться Успенский и Кайгадатский массивы, однако это предположение должно быть подтверждено их детальным исследованием.

Приведенные данные по составу, взаимоотношениям и минеральным ассоциациям россыпной платинометалльной минерализации Кельбесского района Кузнецкого Алатау существенно дополняют имеющиеся представления о платиноносности северо-западной части Кузнецкого Алатау и могут использоваться при дальнейших прогнозах коренного оруденения региона.

Авторы выражают искреннюю благодарность Н.Д. Толстых и В.М. Калугину за конструктивные замечания при подготовке рукописи, а также В.В. Колпакову за помощь в отборе шлихового материала. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и РФФИ (грант № 19-05-00464).

ЛИТЕРАТУРА

- Ахметов Р.Н., Балыкин П.А., Богнибов В.И., Бучко И.В., Глазунов О.М., Глотов А.И., Гонгальский Б.И., Даценко В.М., Изох А.Э., Кислов Е.В., Конников Э.Г., Кривенко А.П., Мехоношин А.С., Нестеренко Г.В., Орсов Д.А., Подлипский М.Ю., Толстых Н.Д., Цыпуков М.Ю. Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири / под ред. Г.В. Полякова, В.И. Богнибова. Новосибирск : Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1995. 151 с.
- Высоцкий Н.К. Платина и районы ее добычи. Л. : Изд-во АН СССР, 1933. Кн. 5: Обзор месторождений платины вне Урала. 240 с.
- Жмодик С.М., Агафонов Л.В., Нестеренко Г.В., Колпаков В.В., Щербаков Ю.Г. Au-PGE россыпная минерализация в северной части Кузнецкого Алатау // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ, 2004. С. 81–84.
- Жмодик С.М., Нестеренко Г.В., Айриянц Е.В., Белянин Д.К., Колпаков В.В., Подлипский М.Ю., Карманов Н.С. Минералы металлов платиновой группы из аллювия – индикаторы коренной минерализации (на примере россыпей юга Сибири) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, №10. С. 1828–1860.
- Кривенко А.П., Толстых Н.Д., Нестеренко Г.В., Лазарева Е.В. Типы минеральных ассоциаций платиноидов в золотоносных россыпях Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. 1994. Т. 35 (1). С. 70–78.

Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200 000. 2-е изд. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово) / под ред. А.Э. Исоха. Санкт-Петербург, 2001. 159 с.

Нестеренко Г.В. Прогноз золотого оруденения по россыпям (на примере районов юга Сибири). Новосибирск : Наука, 1991. 191 с.

Нестеренко Г.В., Колпаков В.В. Аллохтонное самородное золото в предгорном аллювии юга Западной Сибири // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 5. С. 477–495.

Платонов А.Н., Санин В.Н., Аввакумов А.Е. Геологическое строение и золотоносность Кельбес-Золотокитатского района // Руды и металлы. 1998. № 2. С. 36–46.

Подлипский М.Ю., Кривенко А.П. Новые данные о геологическом строении, составе и формационном типе Кайгататского массива как коренного источника ферроплатиновой ассоциации в россыпях // Актуальные вопросы геологии и минерагении юга Сибири : (материалы науч.-практ. конф., 31 октября – 2 ноября 2001 г., пос. Елань Кемеровской обл.). Новосибирск, 2001. С. 126–132.

Сазонов А.М., Леонтьев С.И., Гринев О.М., Звягин Е.А., Чекушин В.С., Бетхер М.Я. Геология и золотоплатиноносность нефелиновых пород Западной Сибири. Томск : Изд-во ТПУ, 2000. 249 с.

Толстых Н.Д., Подлипский М.Ю. Информативность шлиховых ореолов для поисков платинометального оруденения // Геология рудных месторождений. 2010. Т. 52, № 3. С. 221–240.

Толстых Н.Д., Кривенко А.П. Минералы платиновых металлов в россыпи р. Инагли (Алданский щит) // Геология и геофизика. 1997. Т. 38 (4). С. 765–774.

Толстых Н.Д. Минеральные ассоциации платиноносных россыпей и генетические корреляции с их коренными источниками : автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Новосибирск, 2004, 33 с.

Aubut A.J. The Geology and Mineralogy of a Tertiary Buried Placer Deposit, Southern British Columbia : M. Sc. Thesis. Univ. of Alberta, 1979.

Bird J.M., Bassett W.A. Evidence of deep mantle history in terrestrial osmium-iridium-ruthenium alloys // J. Geophys. Res. 1980. V. 85, P. 5461–5470.

Pfisterer H., Schubert K. Neue Phasen vom MnP (B31) Typ // Naturwissenschaften. 1950. Bd. 37 (5). S. 112–113

Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Krivenko A.P. Platinum-Group element placers associated with Ural-Alaska type complexes // Mineralogical Association of Canada Short Course Series. 2005. V. 35. P. 113–143.

Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Kozlov A.P. Platinum-group minerals from the Olkhovaya-1 placers related to the Karaginsky ophiolite complex, Kamchatskiy Mys peninsula, Russia // The Canadian Mineralogist. 2009. V. 47 (5). P. 1057–1074.

Tolstykh N.D., Foley J.Y., Sidorov E.G., Laajoki K.V.O. Composition of the platinum-group minerals in the Salmon River placer deposit, Goodnews Bay, Alaska // The Canadian Mineralogist. 2002. V. 40, P. 463–471.

Авторы:

Гусев Виктор Александрович, младший научный сотрудник, лаборатория петрологии и рудоносности магматических формаций, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: vityansky@igm.nsc.ru

Нестеренко Глеб Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий инженер, лаборатория геохимии благородных и редких элементов, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: nesterenko@igm.nsc.ru

Жмодик Сергей Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, лаборатория геохимии благородных и редких элементов, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН; главный научный сотрудник, лаборатория корреляции геологических процессов, геолого-геофизический факультет, Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия.

E-mail: zhmodik@igm.nsc.ru

Белянин Дмитрий Константинович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, лаборатория геохимии благородных и редких элементов, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН; старший преподаватель, кафедра петрографии и геологии рудных месторождений, геолого-геофизический факультет, Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия.

E-mail: bel@igm.nsc.ru

Geosphere Research, 2020, 1, 19–33. DOI: 10.17223/25421379/14/2

V.A. Gusev¹, G.V. Nesterenko¹, S.M. Zhmodik^{1,2}, D.K. Belyanin^{1,2}

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

TWO TYPES OF PLATINUM GROUP MINERALS ASSEMBLAGES FROM THE GOLD-BEARING PLACERS OF NORTHWEST KUZNETSK ALATAU

Quaternary gold-bearing alluvial placers are widespread in the northwest of the Kuznetsk Alatau and in the Kelbes region under study. They contain a small amount of platinum group minerals (PGM). The paper presents new data on the PGMs from the placers of Kelbes region.

The purpose of the study was to search of PGMs in the alluvial sediments, reveal the shape and relationship of PGMs in inter-growths, identify their composition and the type of platinum mineralization's primary source. The objects under study were PGMs from two alluvial placers. The first is located at the confluence of the Edinis and Nikolskaya rivers. The second is in the valley of the Sukhaya River. Optical and scanning electron microscopy was used for it.

The PGMs from the placers are mainly platinum-ferrous and ruthenium-iridium-osmium alloys (20 and 11 grains respectively). They have been found both as individual grains and inclusions in each other. Grains of Fe-Pt and Ru-Ir-Os alloys are different in their morphology. The surface of Fe-Pt alloys is smooth. The shape is rounded. On the contrary, the shape of Ru-Ir-Os alloys is tabular. The grains are often highly flattened. The minor PGMs of placers are braggite and sperrylite. We found only one individual grain of each mineral. Irarsite and laurite as well as unknown phase of $Rh_{1.00}(Sb_{0.95}As_{0.05})_{1.00}$ were found as inclusions in the grains of Ru-Ir-Os alloys.

A ratio of Fe-Pt and Ru-Ir-Os alloys is various in Sukhaya and Edinis-Nikolskaya placers (3:2 and 5:1 respectively), and it isn't constant in the other placers of Kelbes region. This fact indicates that PGMs of the placers has different primary sources, at least two types.

Mineral paragenesis in Fe-Pt and Ru-Ir-Os alloys are characteristic features of the primary sources. Two paragenesis in PGMs of Sukhaya placer were found. They are isoferroplatinum inclusions in one of ruthenium grain (isoferroplatinum-ruthenium paragenesis) and osmium inclusion in one of isoferroplatinum grains (osmium-isospheroplatinum paragenesis). The first is a characteristic feature of ophiolite hyperbasites, the second is a feature of Ural-Alaskan-type intrusions.

Most Ru-Ir-Os alloys of Sukhaya placer are of Ru-rich to form the ruthenium trend on the Ru-Ir-Os diagram. There are inclusions of irarsite and laurite in Ru-Ir-Os alloys. These are characteristic features of the PGMs assemblage from ophiolite hyperbasites.

Fe-Pt alloys of Sukhaya placer prevail over Ru-Ir-Os (their ratio being 3:2). This is typically for the placers, produced by Ural-Alaskan-type intrusion. Braggite (Pt, Pd, Ni)S is in the placer. Platinum sulfides are typical for the post-magmatic stage development of Ural-Alaskan-type intrusion. Braggite in ferroplatinum placers may be interpreted as a part of PGMs assemblage from Ural-Alaskan-type complexes.

The features of the PGMs assemblage from Edinis-Nikolskaya placer are characteristic only for Ural-Alaskan massifs. Native osmium is of Ru-poor. Fe-Pt alloys also prevail over Ru-Ir-Os, their ratio being 5:1. Well-faceted sperrylite is presented in the placer. Such sperrylite is typical for the post-magmatic stage development of Ural-Alaskan-type intrusions, it's finding in ferroplatinum placers may indirectly point to the intrusions as a type of primary source. No mineral paragenesis was found.

Thus, the two different primary sources have formed the studied placers of the Kelbes region.

There are several large hyperbasite-basite massifs in the Kelbes region. The Kaygadat and the Uspensky massifs are closest to the studied placers. The Kaygadat massif belongs to the intrusion of the Ural-Alaska type according to M.Yu. Podlipsky and A.P. Krivenko. It may be the primary source of the PGMs in the placer of Edinis-Nikolskaya and Sukhaya. The Uspensky massif belongs to the ophiolite type to the geological map data. It may be the primary source of the PGMs in the placer of Sukhaya River.

The data obtained supplement the available information on the PGMs bearing placers of the Kelbes region. They are also important for predicting primary mineralization both in the northwest Kuznetsk Alatau and beyond it.

Keywords: alluvial placers, platinum group minerals, Kuznetsk Alatau, primary sources, Altai-Sayan region.

REFERENCES

- Akhmetov R.N., Balykin P.A., Bognibov V.I., Buchko I.V., Glazunov O.M., Glotov A.I., Gongal'skiy B.I., Datsenko V.M., Izokh A.E., Kislov E.V., Konnikov E.G., Krivenko A.P., Mekhonoshin A.S., Nesterenko G.V., Orsoev D.A., Podlipskiy M.Yu., Tolstykh N.D., Tsypukov M.Yu. *Platinonosnost' ul'trabazit-bazitovykh kompleksov yuga Sibiri* [Platinum Potential of the Ultramafic – Mafic Complexes of southern Siberia] / Pod red. G.V. Poljakova, V.I. Bognibova. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, NIC OIGGM SO RAN, 1995. 151 p. In Russian;
- Vysotskiy N.K. *Platina i rayony eye dobychi. Kn. 5. Obzor mestorozhdeniy platiny vne Urala* [Platinum and Areas of Its Mining. Book. 5. Overview of platinum deposits outside the Urals]. Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1933. 240 p. In Russian;
- Zhmodik S.M., Agafonov L.V., Nesterenko G.V., Kolpakov V.V., Shcherbakov Yu.G. *Au-PGE rossypnaya mineralizatsiya v severnoy chasti Kuznetskogo Alatau* [Au-PGE placer mineralization in northern Kuznetsk Alatau] // *Zoloto Sibiri i Dal'nego Vostoka: geologiya, geokhimiya, tekhnologiya, ekonomika, ekologiya*. Ulan-Ude, 2004. pp. 81–84. In Russian;
- Zhmodik S.M., Nesterenko G.V., Airiyants E.V., Belyanin D.K., Kolpakov V.V., Podlipskiy M.Yu., Karmanov N.S. Alluvial platinum group minerals as indicators of primary PGE mineralization (placers of southern Siberia) // *Russian Geology and Geophysics*. V. 57 (10). 2016. pp. 1437–1464. DOI: 10.1016/j.rgg.2016.09.002
- Krivenko A.P., Tolstykh N.D., Nesterenko G.V., Lazareva E.D. *Tipy mineral'nykh assotsiatsiy platinoidov v zolotonosnykh rossypnykh Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Types of Platinum-Group Mineral Assemblages in Gold Placers of the Altai-Sayan Fold Region] // *Geologiya i geofizika*, 1994. V. 34(1). pp. 70–78. In Russian
- Kurtigeshev V.S., Bychkov A.I., Shatilova G.A., Skrebkov A.V., Efremova N.M. *Ob'yasnitel'naya zapiska k gosudarstvennoy geologicheskoy karte Rossiyskoy Federatsii mashtaba 1:200 000. Izdaniye vtoroye. Seriya Kuzbasskaya. List N-45-III (Kemerovo)* [Explanatory note to the state geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 200 000. Second edition. Series Kuzbass. Sheet N-45-III (Kemerovo)] / edit by A. Je. Izokh. St-Petersburg, 2001. 159 p. In Russian
- Nesterenko G.V. *Prognoz zolotogo orudneniya po rossypyam (na primere rayonov yuga Sibiri)* [Prognosis of Gold Mineralization Based on Placers] // Novosibirsk: Nauka, 1991. 191 p. In Russian
- Nesterenko G.V., Kolpakov V.V. Allochthonous native gold in piedmont alluvium in the southern West Siberia // *Lithology and mineral resources*. 2010. V. 45 (5). pp. 425–442. DOI: 10.1134/S0024490210050032
- Platonov A.N., Sanin V.N., Avvakumov A.E. *Geologicheskoye stroeniye i zolotonosnost' Kel'bec-Zolotokitatskogo rayona* [Geological Structure and Gold Potential of the Kel'bes-Zolotokitatsk Region] // *Rudy i Metally*. 1998. No. 2. pp. 36–46. In Russian
- Podlipskiy M.Y., Krivenko A.P. *Novyye dannyye o geologicheskoy stroenii, sostave i formatsionnom tipe Kaygadatskogo massiva kak korennogo istochnika ferroplatinovoy assotsiatsii v rossypnykh* [New data on geological structure, lithology, and formational type

of the Kaigadat massif as a primary source of Pt- and Fe-bearing PGM in placers]// Aktual'nyye voprosy geologii i mineragenii yuga Sibiri (Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 31 oktyabrya – 2 noyabrya 2001 g., pos. Elan' Kemerovskoy obl.). Novosibirsk, 2001. pp. 126–132. In Russian

Sazonov A.M., Leont'ev S.I., Grinev O.M., Zvyagin E.A., Chekushin V.S., Betkher M.Ya. *Geologiya i zolotoplatinonosnost' nefelinovykh porod Zapadnoy Sibiri* [Geology and Gold-Platinum Potential of Nepheline Rocks in West Siberia]. Tomsk: Izd-vo TPU, 2000. 249 p. In Russian

Tolstykh N.D., Podlipskij M.Ju. Heavy concentrate halos as prospecting guides for PGE mineralization // *Geology of ore deposits*, 2010. V. 52(3). pp. 196–214. DOI: 10.1134/S1075701510030025

Tolstykh N.D., Krivenko A.P. *Mineraly platinovykh metallov v rossypi r. Inagli (Aldanskij shhit)* [Platinum-group minerals in the Inagli placer (Aldan shield)] // *Geologiya i geofizika*. 1997. V. 38 (4). pp. 765–774; In Russian;

Tolstykh N.D. *Mineral'nyye assotsiatsii platinonosnykh rossypey i geneticheskiye korrelyatsii s ikh korennyimi istochnikami: Avtoref. dis. dok-ra geol.-mineral. nauk* [Mineral Assemblages from Pt-Bearing Placers and Genetic Correlations with Their Bedrock Sources. Extended Abstract of Doct. Sci. (Geol.-Min.) Dissertation]. Novosibirsk: OIGGM SO RAN, 2004. 33 p. In Russian;

Aubut A.J. The Geology and Mineralogy of a Tertiary Buried Placer Deposit, Southern British Columbia // M.Sc. thesis, Univ. of Alberta, 1979.

Bird J.M., Bassett W.A. Evidence of deep mantle history in terrestrial osmium-iridium-ruthenium alloys // *J. Geophys. Res.*, 1980. V. 85. pp. 5461–5470. DOI: 10.1029/JB085iB10p05461

Pfisterer H., Schubert K. Neue Phasen vom MnP (B31) Typ // *Naturwissenschaften*, 1950. V. 37 (5). pp. 112–113.

Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Krivenko A.P. Platinum-Group element placers associated with Ural-Alaska type complexes // *Mineralogical Association of Canada Short Course Series*. 2005. V. 35. pp. 113–143.

Tolstykh N.D., Sidorov E.G., Kozlov A.P. Platinum-group minerals from the Olkhovaya-1 placers related to the Karaginsky ophiolite complex, Kamchatskiy Mys peninsula, Russia // *The Canadian Mineralogist*. 2009. V. 47(5). pp. 1057–1074. DOI: 10.3749/canmin.47.5.1057

Tolstykh N.D., Foley J.Y., Sidorov E.G., Laajoki K.V.O. Composition of the platinum-group minerals in the Salmon River placer deposit, Goodnews Bay, Alaska // *The Canadian Mineralogist*. 2002. V. 40. pp. 463–471. DOI: 10.2113/gscanmin.40.2.463

Authors:

Gusev Victor A., Junior Researcher, Laboratory of petrology and ore potential of the igneous rocks assemblages, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: vityansky@igm.nsc.ru

Nesterenko Gleb V., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Lead Engineer, Laboratory of noble and rare elements geochemistry, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: nesterenko@igm.nsc.ru

Zhmodik Sergey M., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Chief Researcher, Laboratory of noble and rare elements geochemistry, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Chief Researcher, Geological Processes Correlation Laboratory, Department of Geology and Geophysics, Novosibirsk State University, Russia.

E-mail: zhmodik@igm.nsc.ru

Belyanin Dmitriy K., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, Laboratory of noble and rare elements geochemistry, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Senior Lecturer, Section of Petrography and Ore Deposits Geology, Department of Geology and Geophysics, Novosibirsk State University, Russia.

E-mail: bel@igm.nsc.ru