

УДК 550.42

¹⁹⁰Pt–⁴He-ДАТИРОВАНИЕ РОССЫПЕОБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ ПЛАТИНЫ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНОГО МАССИВА ЧАД: НОВОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧНОСТИ ПЛАТИНОМЕТАЛЬНОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ

© 2022 г. А. Г. Мочалов¹, О. В. Якубович^{1,2}, академик РАН Н. С. Бортников³

Поступило 12.01.2022 г.

После доработки 08.02.2022 г.

Принято к публикации 08.02.2022 г.

Изложены результаты ¹⁹⁰Pt–⁴He-датирования россыпеобразующих минералов группы самородной платины (РМП) из каскада россыпных месторождений платиновых металлов руч. Моховой, его притоков, элювия и пролювия поверхности выравнивания дунитов щелочно-ультраосновного массива Чад на Алданском щите (Аяно-Майский район Хабаровского края). Получены результаты измерений ¹⁹⁰Pt и ⁴He в 27 образцах. Статистическая обработка минералого-геохимических данных явилась основанием выделить три изохроны с ¹⁹⁰Pt–⁴He-возрастом: 123 ± 6, 113 ± 6, 107 ± 6 млн лет, что хорошо соответствует геологическим наблюдениям и минералогии элементов платиновой группы (ЭПГ). Диапазон изохрон ¹⁹⁰Pt–⁴He-возраста свидетельствует о формировании платинометалльного рудообразования в течение 16 млн лет. Геолого-минералогические данные и наличие разновозрастных изохрон ¹⁹⁰Pt–⁴He-возраста позволяют сделать вывод о полицикличности платинометалльного рудообразования массива Чад в течение раннемеловой эпохи. Сравнение ¹⁹⁰Pt–⁴He-возраста РМП щелочно-ультраосновных массивов Чад и Кондер свидетельствует о временных нюансах платинометалльного минералообразования и формирования самих плутонов в развитии мезозойской тектоно-магматической активизации Алданского щита.

Ключевые слова: минералы платиновой группы, минералого-геохимические типы, генезис, ультраосновные породы, щелочные породы, ¹⁹⁰Pt–⁴He-датирование, массив Чад, Алданский щит

DOI: 10.31857/S2686739722050103

ВВЕДЕНИЕ

Оценка возраста, периодичности (цикличности) и длительности минералообразующих процессов – ключевой вопрос в учении о происхождении рудных месторождений [1]. Его решение имеет не только фундаментальное значение, но и играет важную практическую роль, т. к. сведения о возрасте месторождений позволяют установить связи между рудообразующими процессами и геологическими событиями, а следовательно, улучшить критерии прогноза перспективных территорий. Представления о последовательности платинометалльного рудообразования пород ультра-

трамафитовых формаций основаны на результатах изучения агрегатов минералов платиновой группы (МПП) с силикатами, оксидами и сульфидами. Установленная последовательность развития МПП в агрегатах, как правило, соответствовала времени образования и преобразования вмещающих руды и породы. Важный шаг в решении проблемы датирования МПП был сделан в ИГГД РАН Ю.А. Шуколюковым и коллегами, благодаря разработке метода изотопного ¹⁹⁰Pt–⁴He-датирования [2]. В предлагаемой статье изложены результаты ¹⁹⁰Pt–⁴He-датирования россыпеобразующих минералов группы самородной платины (РМП) из россыпного месторождения платиновых металлов с запасами ~5 т – руч. Моховой и его аллювиальных и пролювиальных притоков, прорезающих зонально-кольцевой щелочно-ультраосновной массив Чад на Алданском щите (Аяно-Майский район Хабаровского края). При этом важно подчеркнуть, что россыпные месторождения и их коренной источник массив Чад несколько отличаются от хорошо ранее изученных, в том числе и ¹⁹⁰Pt–⁴He-методом, уникаль-

¹Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Институт рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

*e-mail: mag1950@mail.ru

ного россыпного месторождения рек Кондер-Уо-ргалан и зонально-кольцевого щелочно-ультраосновного массива Кондер¹ Алданского щита. Эта разница выражена: 1) геологическим строением коренных источников платиновых минералов – распространением ультраосновных, основных, щелочных и гранитоидных магматических и метасоматических комплексов, 2) запасами платиновых металлов; 3) распространением парагенетических ассоциаций МПГ. При этом впервые с помощью ^{190}Pt – ^{4}He -датирования получено подтверждение модели полициклического образования РМП месторождения Кондер, предложенной на основании тщательного минералогического анализа распространения и генезиса МПГ [1, 3–8].

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Массив Чад находится на севере Хабаровского края, в 180 км к западу от пос. Аян и в 120 км к югу от массива Кондер. Массив Чад расположен в Омнинско-Батомгском блоке на юго-восточной окраине Алданского щита Сибирской платформы [3, 4, 6]. Магматические породы массива прорывают эффузивно-осадочные отложения неопротерозойской эры, которые субгоризонтально залегают на кристаллических породах архея (рис. 1). Плутон контролируется пересечением двух глубинных разломов Улканского и Маймаканского, а также радиальными, кольцевыми и коническими дислокациями. Диаметр массива на дневной поверхности 3–3.5 км. Предполагается, что массив является наклонным, с падением около 60° на восток, штоком ассиметрично-зонального строения [3]. Центральная – “ядерная” часть массива, диаметром ~2 км, сложена дунитами. Они представляют собой мелко-, средне- и крупнозернистые породы. Дуниты имеют первично кумулятивную магматическую природу, в ряде мест вторично измененную в результате метасоматических и метаморфических процессов. Все они слабо серпентинизированы и сложены форстеритом (фаялитовая составляющая ~ мол. 7%). Местами зерна оливинов насыщены микровключениями хромшпинелида, магнетита и клинопироксена, что придает дунитам черный цвет. Содержание хромшпинелидов в дунитах 0.1–3%, с ограниченной встречаемостью шпировых и, очень редко, жильных хромититов. Во всех разновидностях дунитов присутствуют отдельные ксеноморфные кристаллы клинопироксена и местами небольшие шпирообразные их агрегаты. Дуниты последовательно окаймляются оливиновыми клинопироксенитами или верлитами (магматическими и

метасоматическими) и магнетитовыми пирнитами (косъевитами), мощность которых от ~200 м на северо-западном и до ~500 м на юго-восточном флангах (рис. 1). Далее их окружают “кольцо” меланогаббро и отдельные тела диоритов и монцодиоритов. Магматические породы, окружающие дуниты, образуют редкие маломощные дайки среди самих дунитов.

Считается, что формирование щелочно-ультраосновного плутона Чад происходило в период мезозойской тектономагматической активизации Алданского щита. По мнению большинства исследователей, тектономагматическая активизация обусловлена проявлением на границах Алданского щита производных плюма сейсмофокальной зоны Заварицкого-Беньюфа [9]. В частности, в Омнинско-Батомгском блоке тектономагматическая активизация вызвана субдукцией под влиянием Приморского стагнированного океанического слэба [10]. Образование дунитов и пироксенитов предполагается в раннемеловую эпоху. Согласно палеомагнитным данным ультраосновные породы находятся вблизи полюса возраста 110 млн лет [11]. Хотя, пока единичные, измерения изотопного К–Аг-возраста диоритов у внешней оторочки клинопироксенитов 160 ± 25 млн лет [4] соответствует среднеюрской эпохе. Современная Аг–Аг и U–Pb-геохронология мезозойского щелочного магматизма Тыркандинской и Амгинской тектонических зон Алданского щита ограничивают время его проявления диапазонами соответственно 121–111 и 139–117 млн лет [12].

Ультраосновному “ядру” массива в рельефе соответствует чашеобразная котловина с относительными высотами ее днища и склонов 600–1050 м, которую обрамляет кольцевой хребет Чад – 900–1080 м. Хребет и котловина воздымаются над Учуро-Батомским нагорьем, абсолютные высоты которого 550–750 м. Восточный сектор кольцевого хребта и котловины с юга на север прорезает долина руч. Моховой, правого притока р. Чад, которая, в свою очередь, является правым притоком р. Маймакан. В северо-западном секторе равнинной поверхности котловины в руч. Моховой впадают небольшие притоки (ручьи Дцз, Сухой, Рогатый). Долинные аллювиальные отложения притоков и руч. Моховой образуют каскад россыпных месторождений платиновых металлов. Основная часть “шлиховой платины” в россыпи находится в древних осадках плиоцен-раннечетвертичного возраста, которые в котловине сохранены на уровне урезов долин, а после пересечения кольцевого хребта – по всей ширине перуглубленной древней долины руч. Моховой.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

“Шлиховая платина” россыпного месторождения массива Чад наблюдалась в виде комковид-

¹ В дальнейшем зонально-кольцевые щелочно-ультраосновные массивы Чад и Кондер будут соответственно называть кратко – массив Чад и массив Кондер.

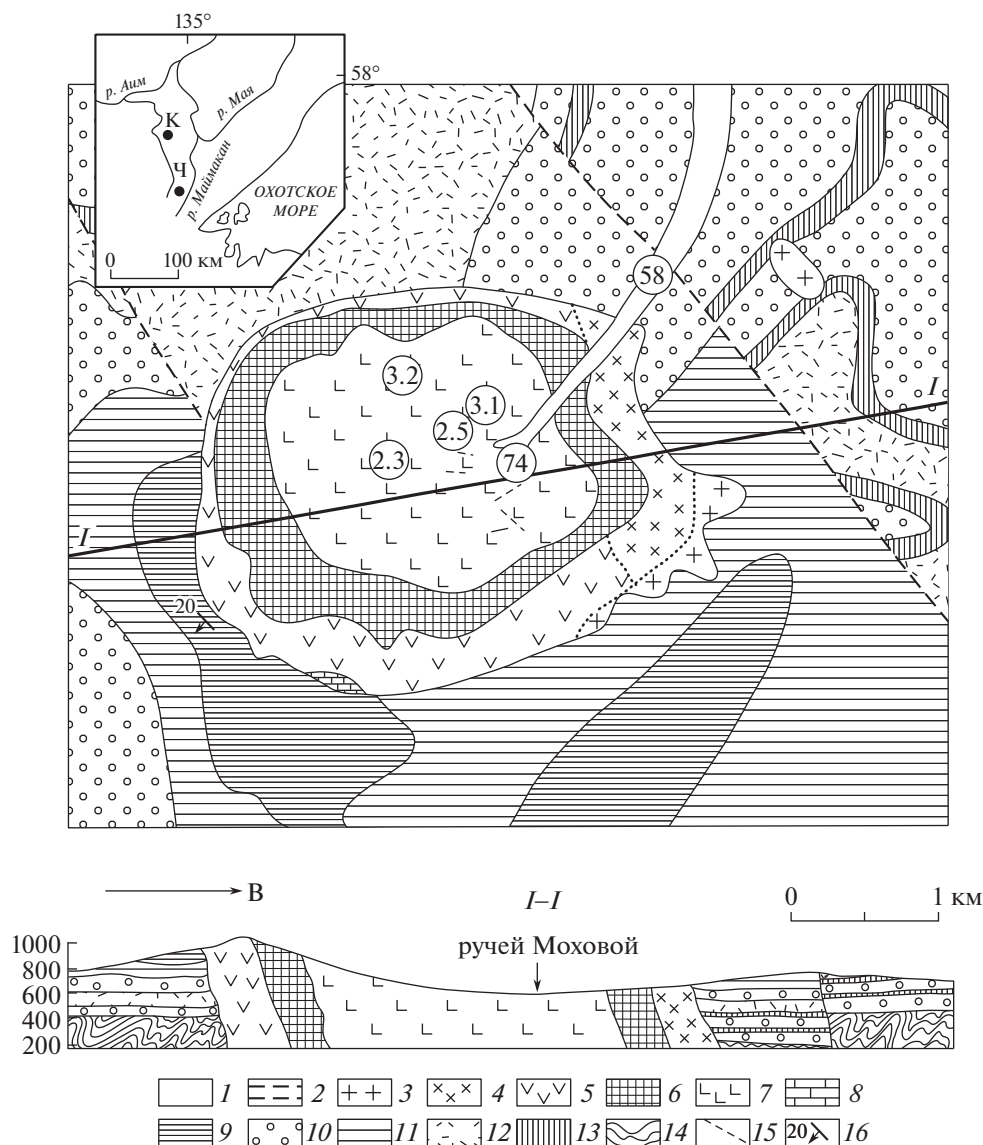


Рис. 1. Геологическая схема и разрез щелочно-ультраосновного массива Чад, на основе геологической карты, составленной М.А. Богомоловым и В.И. Кицулом (1960), с использованием материалов В.Р. Алексея (ВАГТ). Кружками с цифрами отмечены места и номера проб РМП с установленным $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -возрастом (табл. 1 и 2), 58 и 74 взяты из аллювия руч. Моховой, 3.1 и 3.2 – из аллювия руч. Рогатый, 2.3 – из аллювия руч. Сухой, 2.5 – из элювия и пролювия поверхности выравнивания дунитов. На схеме-врезке точками с буквами К и Ч показаны соответственно пункты массивов Кондер и Чад. *I-I* – четвертичные отложения; 2 – жилы аплитовидных пород и щелочных пегматитов; 3 – диориты; 4 – оливиновые габбро и габбро-нориты; 5 – щелочные габброиды и сиениты; 6 – магматические и метасоматические (аподунитовые) оливин-пироксеновые и магнетит-оливин-пироксеновые породы; 7 – магматические, метасоматически перекристаллизованные и метаморфически рекристаллизованные дуниты; 8 – карбонатные породы (мраморы, кальцифиты); 9 – песчаники и алевролиты неопротерозоя; 10 – пластовые интрузии габбро-диабазов; 11 – песчаники и конгломераты неопротерозоя; 12 – пластовые интрузии порфиров и диабазов; 13 – аркозовые песчаники неопротерозоя; 14 – гнейсы, амфиболиты, мигматиты и граниты архея; 15 – крупные тектонические нарушения; 16 – элементы залегания пород.

но-ксеноморфных зерен, редко – кубических кристаллов РМП. Зерна РМП главным образом средней и плохой степеней окатанности. Средняя масса зерен по фракциям составила (в мг): 5–3 мм – 166.1; 3–2 мм – 47.6; 2–1 мм – 16.7; 1–0.5 мм – 2.42; 0.5–0.25 мм – 0.57; <0.25 мм – 0.12. РМП главным образом представляет изоферроплатина,

второстепенное значение имеют самородная платина, тетраферроплатина, туламинит. Зерна РМП содержат включения других МПГ: распространенные – самородный иридий, самородный осмий, менее распространенные – лаурит, эрлихманит, купроиридсит, купрородсит, маланит, ирарсит, холлингвортит, сперрилит, и около

Таблица 1. Химические составы РМП щелочно-ультраосновного массива Чад различного ^{190}Pt – ^4He -возраста

№ обр.	Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	Fe	Cu	Ni	Сумма	Проба
123 ± 6 млн лет											
74–2 3.3	75.00	9.27	0.00	0.02	0.94	0.33	10.70	0.47	0.30	97.03	71
58–10.6	77.20	2.98	5.33	0.58	1.53	0.76	8.21	0.88	0.14	97.61	74
2.5.9.13	85.72	0.29	0.10	0.20	1.76	0.33	10.41	0.73	0.09	99.63	85
2.5.13.4	86.20	0.11	0.38	0.17	1.87	0.30	9.96	0.68	0.02	99.72	85.5
2.5.2.2	87.20	0.00	0.00	0.11	1.85	0.33	10.20	0.64	0.27	100.53	86.5
2.5. 16.3	86.60	0.00	0.14	0.14	1.66	0.52	10.10	0.79	0.28	100.21	86
2.5. 9.1	84.70	0.00	0.31	0.18	1.87	0.25	9.76	1.07	0.07	98.20	84
2.5.10.5	87.22	0.00	0.58	0.21	2.31	0.22	10.17	0.54	0.07	101.30	86.5
2.5.5.2	86.33	0.00	0.43	0.17	1.71	0.32	10.26	0.81	0.25	100.28	86
113 ± 6 млн лет											
58–5.5	82.90	4.43	0.74	0.00	0.66	0.10	8.48	0.46	0.10	97.90	79
2.3–3.7+9.1	83.50	3.78	0.08	0.11	1.12	0.32	9.34	0.57	0.15	98.94	80
58–6.2	83.40	1.74	0.15	0.30	1.92	0.07	9.95	0.58	0.17	98.30	80
74–1 4.2	86.40	1.35	0.00	0.00	0.42	0.22	8.80	0.30	0.10	97.59	83
3.1–2.4	83.00	0.79	0.00	0.13	1.60	0.30	11.20	0.67	0.24	97.92	82
3.2–4.17	86.60	0.06	0.25	0.23	1.50	0.65	7.06	1.95	0.02	98.35	85.5
109 ± 6 млн лет											
3.2–4.14	83.60	5.47	0.31	0.23	0.86	0.20	7.72	1.30	0.13	99.78	80
58–5.2	84.10	5.26	0.11	0.09	0.79	0.17	8.34	0.81	0.23	99.91	81
58–10.8	84.90	4.56	0.41	0.04	0.49	0.17	8.67	0.45	0.10	99.75	81
74–3 7.2	83.60	3.39	0.17	0.11	1.08	0.20	8.64	0.31	0.18	97.65	79.5
2.3–8.4+8.5	84.40	2.84	0.00	0.12	0.99	0.30	8.74	0.88	0.16	98.40	81
58–2.4	86.70	2.61	0.00	0.04	0.30	0.02	8.94	0.21	0.07	98.90	83.5
2.5.10.9	87.80	1.36	0.37	0.04	0.72	0.01	9.38	0.34	0.14	100.17	84.5
3.1–6.5	86.70	1.06	0.03	0.00	0.42	0.00	8.79	0.38	0.15	97.52	83.5
58–9.4	88.30	0.86	0.20	0.09	1.01	0.42	9.09	0.60	0.17	100.70	85
3.2–8.6	84.30	0.55	0.50	0.09	2.03	0.26	10.30	1.19	0.23	99.50	83
58–2.8	83.80	0.51	0.18	0.34	2.04	0.04	9.46	0.71	0.13	97.17	83
2.5.2.6	86.91	0.00	0.31	0.28	1.84	0.08	9.63	0.63	0.05	99.72	86

Примечание. Анализы выполнены на рентгеноспектральном микроанализаторе "Самеса". Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток 20–30 нА, диаметр зонда 2–3 мкм. В качестве эталонов использовались чистые металлы. Аналитические линии для ЭПГ (кроме Pd) – $L\alpha$, для Pd – $L\beta$, для Os в присутствии Cu – $M\alpha$, для остальных элементов – $K\alpha$; для Cu в присутствии Ir и для Rh в присутствии Ru учитывались соответствующие наложения аналитических линий по эталонам. Аналитик – Е.Н. Горячева (СВКНИИ ДВО РАН). Установлено, что суммы химических анализов менее 99 мас. % обусловлены в индивидах и агрегатах РМП наличием газовых вакуолей или дислокаций.

30 других, редких видов. В целом содержание включений МПГ достигает 8.5 мас. %, при этом большая часть самородного иридия, и, в меньшей степени, самородного осмия образуют криптоагрегаты с РМП [7, 8]. Кроме того, зерна РМП со-

держат сростания и включения силикатов (пироксен, оливин, амфиболы, флогопит и др.), хромшпинелиды и магнетит [13]. Минералы РМП в виде изоморфных примесей включают первые проценты ЭПГ, Cu и Ni. (табл. 1, рис. 2).

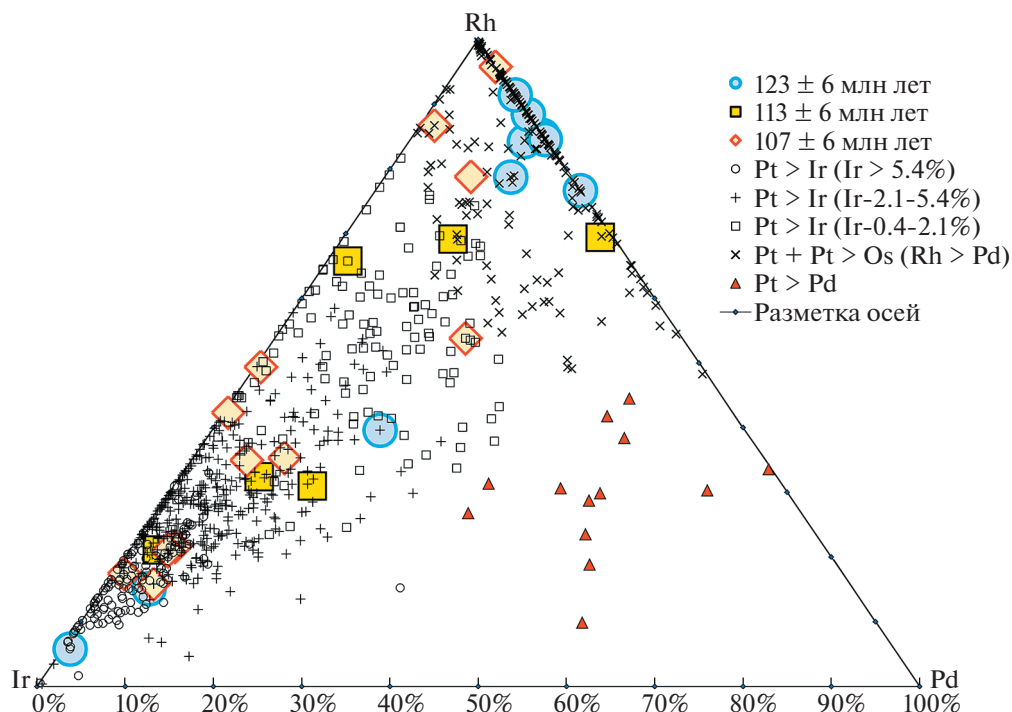


Рис. 2. Соотношения атомарных количеств Ir, Rh и Pd в РМП россыпных месторождений массива Чад. 123, 113, 107 млн лет — обозначения образцов, по которым выделен соответствующий $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -возраст. Остальные знаки образцов соответствуют минерало-геохимическим типам (расшифровка их названий в тексте), в скобках приведены содержания Ir в мас. %.

Выделены минерало-геохимические типы РМП, названия даны по их валовому химическому составу (главного и 1-го второстепенного элемента): платиновый — Pt (Rh > Pd) и осмисто-платиновый — Pt > Os; иридино-платиновый — Pt > Ir; палладисто-платиновый Pt > Pd [1, 7, 8]. На вероятностном бланке содержания Ir (мас. %) в РМП (794 химических анализов) представлены полимодальным распределением нескольких самостоятельных дисперсий: >5.4; 4.46–5.4; 3.02–4.46; 2.1–3.02; 1.09–2.1; 0.39–1.09; <0.39. При этом более 56% анализов РМП Pt > Ir-типа с Ir > 2.1 мас. %, и около 23% составляют РМП Pt (Rh > Pd-) и Pt > Os-типы (Ir < 0.4 мас. %) (рис. 2). Такие типы РМП уникального россыпного месторождения платиновых металлов Кондер-Уорган соответственно составляют 29 и 25% [1].

МЕТОД $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -ДАТИРОВАНИЯ И ИЗУЧЕННЫЕ ОБРАЗЦЫ

$^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -датирование РМП месторождения платиновых металлов Чад проведено по 27 образцам по оригинальной методике, разработанной в ИГГД РАН [2]. Зерна РМП были выделены из полированных шлифов после исследования их полного химического состава (табл. 1), они равномерно представляют распространенные минерало-геохимические типы месторождения (рис. 2).

К сожалению, РМП, которые были отнесены нами к Pt > Pd-типу, редко встречаются в виде самостоятельных зерен в массиве Чад (рис. 2). Они образуют, с одной стороны, каймы замещения вокруг прото-минералов ранних РМП, и, с другой стороны, отдельные их небольшие единичные зерна встречаются в агрегатах с васелитом и другими редкими минералами палладия. Поэтому $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -возраст отдельных зерен РМП Pt > Pd-типа нами не изучался. Концентрация радиогенного гелия определялась на магнитном секторном масс-спектрометрическом комплексе МСУ-Г-01-М (ИГГД РАН). В основном зерна РМП заворачивались в танталовую фольгу с добавлением чистой меди, несколько зерен вместо фольги “заворачивались” в кварцевые ампулы в условиях форвакуума. Параллельно готовился “холостой” образец, представляющий собой танталовую фольгу и медь без зерен РМП, и пустую кварцевую ампулу с медью. С помощью специального шлюза образцы последовательно помещались в рениевый цилиндр и нагревались в несколько этапов до температуры ~1400°C. На каждом этапе выделяющиеся газы очищались с помощью двух геттерных насосов SAES, сорбирующих H_2 , N_2 , O_2 , H_2O , CO_2 и др. Значения, полученные на холостом опыте с пустой танталовой фольгой, не превышали $1 \times 10^{-10} \text{ см}^3 ^4\text{He}$, а в случае кварцевой ампулы $8 \times 10^{-10} \text{ см}^3$. Если доля ге-

Таблица 2. Содержание платины и гелия в РМП и их расчетный ^{190}Pt – ^4He -возраст из шлиховых проб россыпного месторождения щелочно-ультраосновного массива Чад

№ п.п.	№ пробы	Проба Pt, в мас. %	Навеска, мг	$^4\text{He} \times 10^{10}$ ат	1 σ	Pt–He-возраст, млн лет	1 σ
1	3.2–8.6	83.0	0.485	2.61	0.19	109.5	1.3
2	3.2–4.17	85.5	0.72	4.19	0.22	115.1	1.3
3	3.1–2.4	81.5	1.964	10.74	0.32	113.5	1.2
4	3.1–6.5	83.5	2.075	11.17	0.30	109.1	1.1
5	58–2.4	83.0	1.371	7.25	0.20	107.8	1.1
6	58–10.6	73.5	1.158	6.13	0.19	121.9	1.3
7	58–6.2	80.5	1.501	8.10	0.31	113.4	1.2
8	58–5.5	78.0	2.081	10.98	0.29	114.5	1.2
9	58–9.4	86.5	0.825	4.38	0.24	103.9	1.1
10	58–5.2	79.0	2.95	15.56	0.18	112.9	1.1
11	58–10.8	79.0	0.648	3.36	0.18	111.1	1.2
12	3.2–4.14	78.0	0.445	2.13	0.17	104.0	1.3
13	58–2.8	83.0	2.952	15.36	0.36	106.0	1.1
14	2.3–8.4+8.5*	81.0	4.19	21.91	1.10	109.2	1.6
15	2.3–3.7+9.1*	79.0	2.41	12.79	0.64	113.7	1.3
16	74–1 4.2*	83.0	6.45	35.74	1.79	112.9	2.3
17	74–3 7.2*	79.5	5.76	27.96	1.40	103.3	1.8
18	74–2 3.3*	70.5	6.94	35.62	1.78	123.1	2.5
19	2.5.2.2	86.5	0.977	6.08	0.20	121.6	1.3
20	2.5. 16.3	85.5	1.469	9.08	0.27	122.3	1.3
21	2.5. 9.1	83.5	1.777	10.45	0.36	119.2	1.3
22	2.5.13.4	85.5	1.138	7.76	0.19	134.9	1.4
23	2.5.2.6	85.5	1.139	4.91	0.44	85.3	1.0
24	2.5.10.5	86.5	1.031	6.53	0.21	123.8	1.3
25	2.5.10.9	84.5	1.168	5.08	0.17	87.1	0.9
26	2.5.5.2	85.0	0.998	6.24	0.20	124.5	1.3
27	2.5.9.13	85.0	0.721	4.33	0.25	119.5	1.3

Примечание. * измерение He с кварцевой ампулой.

лия, выделяющаяся из зерен РМП при температуре ниже 1000°C , составляла более 5% от общего количества гелия в минерале, то такие образцы не были использованы для расчета ^{190}Pt – ^4He -возраста. Гелий, выделяющийся из зерен ниже 1000°C , не учитывался при расчете ^{190}Pt – ^4He -возраста (табл. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Статистическая обработка полученных данных (табл. 1 и 2) позволяет выделить три изохроны с ^{190}Pt – ^4He -возрастом: 123 ± 6 млн лет; 113 ± 6 млн лет; 107 ± 6 млн лет (рис. 3), что хорошо соответствует геологическим наблюдениям, а главное минералогии ЭПГ массива Чад. Это ука-

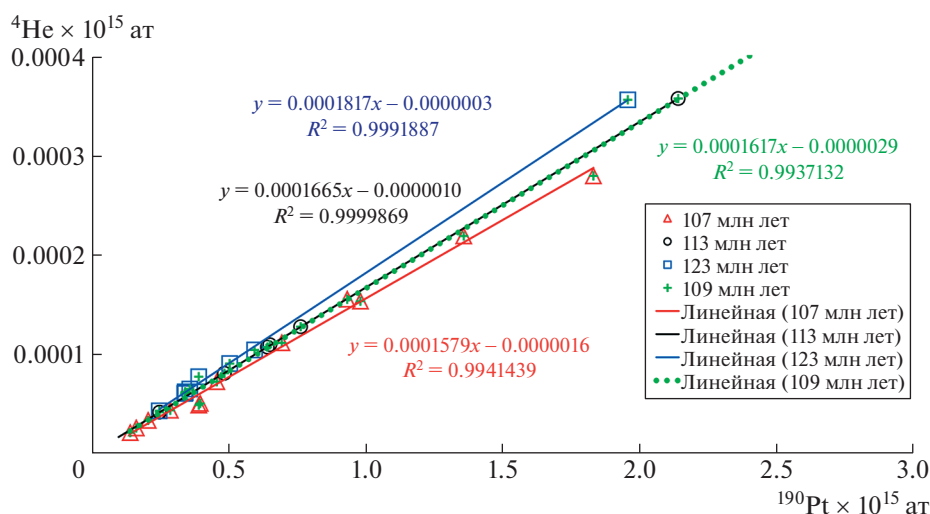


Рис. 3. $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -“изохроны” РМП россыпных месторождений платиновых металлов щелочно-ультраосновного массива Чад. Для образцов РМП (табл. 1) соответственно: 107, 113, 123, и 109 млн лет – общая для всех.

зывает, что образование РМП изученных минералого-геохимических типов массива Чад происходило в диапазоне геологического времени между барремским и альбским веками (K_1b-K_1al) раннего мела. Полученные результаты отличаются от ранних выводов об “изохронном” возрасте 112 ± 4 млн лет на основании 22 $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -датировок РМП на массиве Чад [14]. Представленные в статье данные (табл. 1 и 2) также можно изобразить одной изохроной, тангенс угла наклона которой соответствует 109 ± 6 млн лет (рис. 3). Этот результат в пределах погрешности измерений согласуется с ранее опубликованным значением 112 ± 4 млн. лет. Как показали наше датирование РМП массива Кондер [1] и минералогия ЭПГ массива Чад, — $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -возраст 109 ± 6 млн. лет представляет “усредненную датировку” всей совокупности РМП, но не время полициклического образования их минералого-геохимических типов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Диапазон изохрон $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -возраста РМП массива Чад свидетельствует о формировании платинометалльного рудообразования в течение 16 млн лет. Геолого-минералогические данные и наличие разновозрастных изохрон $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -возраста позволяют, с большой долей уверенности, сделать вывод о полициклическости россыпеобразующего платинометалльного рудообразования массива Чад в течение раннемеловой эпохи. Надо отметить, что подобное явление — россыпеобразующее полициклическое платинометалльное рудообразование в массиве Кондер — было более

продолжительным, в течение около 30 млн лет [1]. Отметим также, что 1-й и 2-й этапы платинометалльного рудообразования массива Чад в пределах погрешности датировки совпадают со временем образования 2-го и 3-го этапов образования руд, связанных с массивом Кондер, соответственно 128 ± 6 млн лет и 115 ± 6 млн лет [1]. Ранние руды массива Кондер древнее — 143 ± 6 млн лет.

Спроецированные образцы с установленным $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -возрастом на диаграмму соотношения атомарных количеств Ir, Rh и Pd РМП минералого-геохимических типов россыпных месторождений массива Чад (рис. 2) подчеркивают характер полициклического платинометалльного рудообразования. Также наблюдается омоложение $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -возраста минеральных индивидов и агрегатов РМП всех изученных минералого-геохимических типов — от 123 ± 6 млн лет, соответственно, до 113 ± 6 млн лет или до 107 ± 6 млн лет. Омоложение предполагает, как возрастное преобразование ранних РМП с $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -возрастом 123 ± 6 млн лет, так и формирование их новых молодых аналогов в периоды 113 ± 6 или 107 ± 6 млн лет. Явление омоложения возраста, в частности, подчеркивается сменой характера минералов-включений силикатов и оксидов в изоферроплатине [13], что в свою очередь обусловлено характером дифференциации инъекций породообразующих щелочно-ультраосновных расплавов в процессах формирования массивов Чад или Кондер.

Таким образом, впервые с помощью $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -датирования получено основание о полициклической модели образования РМП россыпеобразующих формаций массива Чад. Выделена следующая последовательность $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ -воз-

раста россыпеобразующего платинометаллического рудообразования:

(а) 123 ± 6 млн лет отражает время становления самого массива и ранних этапов образования МПГ Pt-типа, а также ранних этапов Pt > Os- и Pt > Ir-типов.

(б) 113 ± 6 млн лет — время омоложения ранних МПГ и формирование новых минеральных агрегатов РМП Pt-, Pt > Os- и Pt > Ir-типов.

(в) 107 ± 6 млн лет — время омоложения ранних МПГ и формирование поздних минеральных агрегатов РМП Pt-, Pt > Os- и Pt > Ir-типов, и, вероятно, образование Pt > Pd-типа.

Сравнение ^{190}Pt – ^4He -возраста РМП массивов Чад и Кондер свидетельствует о временных нюансах платинометаллического минералообразования и формирования самих плутонов в развитии мезозойской тектономагматической активизации Алданского щита. По нашему мнению, на основании исследования ^{190}Pt – ^4He -датирования проявляется новый типоморфный фактор — временного диапазона образования россыпеобразующих формаций минералого-геохимических типов и их месторождений различных щелочно-ультраосновных плутонов. Полученные результаты выдвинули новую проблему, какие же геологические процессы обусловили столь длительное пульсационное, циклическое образование платинометаллических месторождений на Алданском щите?

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность Е.Н. Горячевой и Б.М. Гороховскому за практическую помощь в проведении исследований.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-27-00342.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мочалов А.Г., Якубович О.В., Стюарт Ф.М., Бортников Н.С. Новые свидетельства полициклическости платинометаллических россыпеобразующих формаций щелочно-ультраосновного массива Кондер: результаты ^{190}Pt – ^4He -датирования // ДАН. 2021. Т. 498. № 1. С. 23–30.
2. Шуколюков Ю.А., Якубович О.В., Мочалов А.Г., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Яковлева С.З., Корнеев С.И., Гороховский Б.М. Новый изотопный геохронометр для прямого датирования самородных минералов платины (^{190}Pt – ^4He метод) // Петрология. 2012. Т. 20. № 6. С. 545–559.
3. Богомолов М.А. Некоторые особенности петрологии массивов центрального типа с дунитовым ядром на Алданском щите // Метасоматизм и другие вопросы физико-химической петрологии. М.: Наука. 1968. С. 312–363.
4. Ельянов А.А., Моралев В.М. О возрасте массивов ультраосновных-щелочных пород Алданской и Южноверхоянской провинции // Изд. ВУЗов. Геология и разведка. № 10. 1973. С. 15–23.
5. Геология, петрология и рудоносность Кондерского массива. М.: Наука. 1994. 180 с.
6. Некрасов И.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А., Залищак Б.Л., Сапин В.И. Петрология и платиносодержание кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. М.: Наука. 1994. 381 с.
7. Мочалов А.Г. Минеральные ряды минералого-геохимических типов россыпей платиноидов (основа локального прогноза) // Геология и генезис месторождений платиновых металлов. М.: Наука. 1994. С. 225–235.
8. Мочалов А.Г. “Шлиховая платина” россыпей Дальнего Востока России: Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: ИГЕМ. 2001. 296 с.
9. Максимов Е.П. Мезозойские кольцевые магматические комплексы Алданского щита // Изв. АН СССР. Сер. геол. № 3. 1972. 33–44.
10. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. Geodynamics of Late Mesozoic PGE, Au, and U Mineralization in the Aldan Shield, North Asian Craton // Ore Geology Reviews. 2015. V. 68. P. 30–42.
11. Каретников А.С. Оценка возраста Чадского массива (по палеомагнитным данным его ультрамафитов) // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения. Хабаровск. 2011. С. 558–561.
12. Пономарчук А.В., Прокопьев И.Р., Дорошкевич А.Г., Семенова Д.В., Кравченко А.А., Иванов А.И. Геохронология мезозойского щелочного магматизма для Тыркандинской и Амгинской тектонических зон (Алданский щит): новые U-Pb и Ar-Ar данные // Геосферные исследования. 2020. № 4. С. 6–24.
13. Власов Е.А., Мочалов А.Г. Включения силикатов в минералах платины — индикаторы россыпеобразующего рудогенеза в щелочно-ультраосновных массивах Чад и Кондер, Алданский щит // Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. [Электронный ресурс]. М.: ИГЕМ РАН. 2020. С. 528–531.
14. Мочалов А.Г., Якубович О.В. Россыпеобразующие минералы платины щелочно-ультраосновного массива Чад и их ^{190}Pt – ^4He возраст (Хабаровский край, Россия) // Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. [Электронный ресурс]. М.: ИГЕМ РАН. 2020. С. 617–620.

$^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ DATING OF PLACER FORMING MINERALS OF PLATINUM FROM ALKALINE-ULTRAMAFIC MASSIF CHAD: NEW EVIDENCE OF POLYCYCLIC NATURE OF ORE FORMATION

A. G. Mochalov^{a,#}, O. V. Yakubovich^{a,b}, and Academician of the RAS N. S. Bortnikov^c

^a*Institute of Precambrian Geology and Geochronology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*

^b*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation*

^c*Institute of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*e-mail: mag1950@mail.ru*

The results of $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ dating of placer-forming minerals of native platinum (PPM) from the cascade of platinum metal placer deposits of br. Mokhovaya, its tributaries and eluvium and proluvium of the peneplain surface developed on the dunites of the alkaline-ultramafic massif Chad (Aldan shield, Ayano-Maisky district of the Khabarovsk Territory) are presented. ^{190}Pt and ^4He were analyzed in 27 samples. Statistical processing of mineralogical and geochemical data allows to separate three isochrones with $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ ages: 123 ± 6 Ma; 113 ± 6 Ma; 107 ± 6 Ma, which is in good agreement with the geological observations, and most importantly with the mineralogy of the platinum group elements (PGE) of the Chad massif. The range of $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ age isochrones indicates the formation of platinum-metal ore formation was during 16 Myr. The geological and mineralogical data and the presence of $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ isochrones of different ages allow us to conclude that the platinum-metal ore formation of the Chad massif was polycyclic during the Early Cretaceous. Comparison of the $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ ages of the PPM of the alkaline-ultramafic massifs Chad and Kondyor testifies to the temporal nuances of platinum-metal mineral formation and the formation of the plutons themselves in the development of the Mesozoic tectonic-magmatic activation of the Aldan Shield.

Keywords: platinum group minerals, mineralogical-geochemical types, genesis, ultramafic rocks, alkaline rocks, $^{190}\text{Pt}-^4\text{He}$ dating, Chad massif, Aldan Shield