

ИЗОТОПНЫЙ ВОЗРАСТ САМОРОДНОЙ ПЛАТИНЫ ИЗ ФЛЮИДОЛИТОВ АНДЕЗИТОВОГО СОСТАВА МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОЕ (МАЛЫЙ ХИНГАН, РОССИЯ)

**А.И. Ханчук¹, А.Г. Мочалов², И.Ю. Рассказов³, О.В. Якубович², Н.В. Бердников⁴,
В.Г. Невструев⁴**

¹ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: axanchuk@mail.ru

²ФГБУН Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, наб. Макарова 2, г. Санкт-Петербург, 199034; e-mail: mag1950@mail.ru

³ФГБУН Институт горного дела ДВО РАН, ул. Тургенева 51, г. Хабаровск, 680000; e-mail: rasskazov@igd.khv.ru

⁴ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: nick@itig.as.khb.ru

Поступила в редакцию 25 марта 2019 г.

Определен ¹⁹⁰Pt-⁴He возраст изоферроплатины из explosивно-магматических брекчий (флюидолитов) андезитового состава на месторождении Поперечное (Малый Хинган, Россия), являющихся представителями нового типа платиноносных пород. Возраст изоферроплатины 125 ± 21 млн лет коррелируется с датировкой пика магматизма на востоке Центрально-Азиатского орогенного пояса, вызванного апвеллингом астеносферы из области структуры типа слэб-виндоу в обстановке трансформной континентальной окраины.

Ключевые слова: изотопный Pt-He возраст, самородная платина, флюидолиты, Fe-Mn месторождения, Малый Хинган, Дальний Восток России.

Месторождение Поперечное – одно из многочисленных железо-марганцевых месторождений Южно-Хинганской рудоносной зоны на Малом Хингане (ЕАО, Россия, рис. 1, врезка). Полоса минерализации шириной около 40 км прослеживается в субмеридиональном направлении от правого берега р. Кимкан на севере до р. Амур на юге на расстояние около 150 км [13]. На территории Китая эта полоса продолжается на юг, включая месторождение Янсинджен и Иланьскую группу железорудных проявлений.

Изученная территория представляет собой метаморфизованную в раннем ордовике аккреционную призму [11]. Возраст протолита массива составляет 1.2–0.5 млрд лет, а время его метаморфизма в условиях амфиболитовой фации – около 490 млн лет назад [9].

Железо-марганцевые руды образуют во вмещающих доломитах мурандавской свиты (поздний рифей–венд) тела мощностью около 20 м [17]. Работами последних лет доказан гидротермальный источник железо-марганцевой минерализации [1, 2].

Крутопадающие маломощные тела флюидно-эксплозивных брекчий (флюидолитов) пересекают доломиты и Fe-Mn руды. Детальные исследования показали наличие в них самородных минералов платины и платиноидов (МПГ) [2, 12]. Высокие содержания элементов платиновой группы (ЭПГ, до 11.3 г/т) позволяют отнести месторождение Поперечное к новому перспективному коренному источнику платиновых металлов [7].

Флюидолиты имеют explosивно-магматическую природу. Состав их матрикса соответствует магматическим породам андезитового состава известково-щелочной серии. Матрикс имеет флюидальную игнимбритоподобную текстуру и насыщен фенокристами кварца, карбонатизированного полевого шпата, обломками вмещающих пород (преимущественно карбонатов) и фрагментами флюидолитов более ранних фаз.

МПГ представлены главным образом идиоморфными кристаллами, изометричными или ксеноморфными зернами размером 0.1–0.25 мм, по

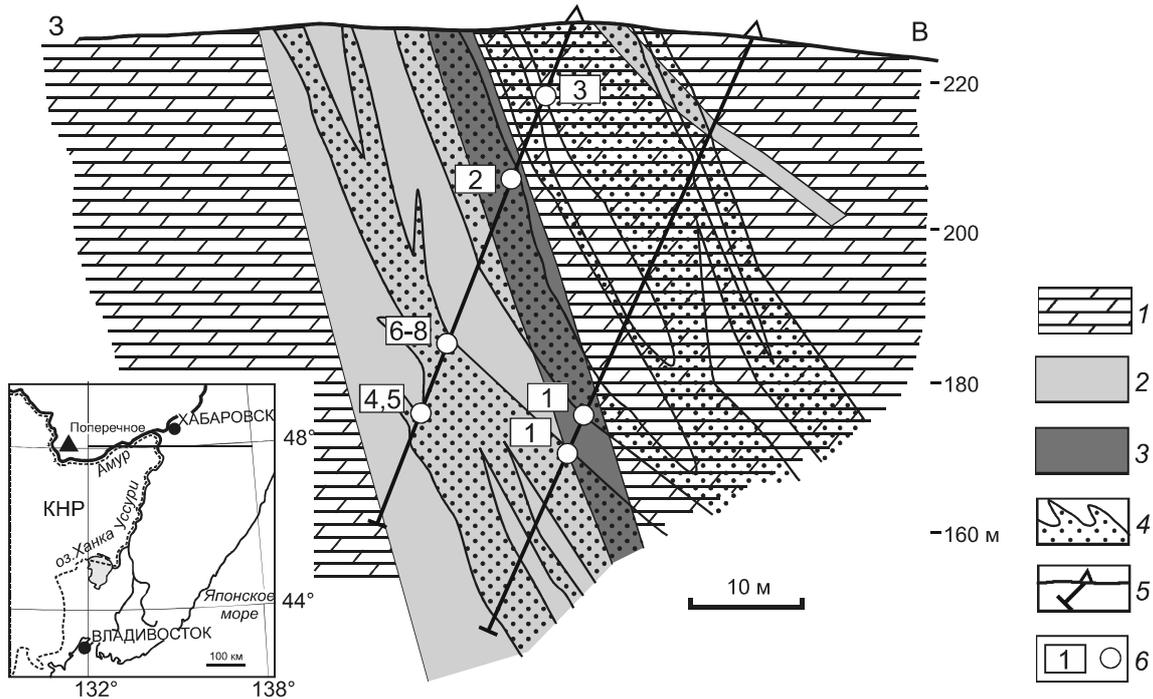


Рис. 1. Схематический геологический разрез месторождения Поперечное (с использованием материалов М.В. Чеботарева, 1955 г.) с местами выборочного опробования для выделения зерен изоферроплатины на определение изотопного возраста.

1 – доломиты мурандавской свиты (поздний рифей–венд); 2–3 – зона рудных тел с содержанием Fe_2O_3 более 10 % (2) и с содержанием MnO более 5 % (3); 4 – флюидно-эксплозивные брекчии; 5 – скважины; 6 – интервалы отбора проб (номера соответствуют номерам в таблице).

составу соответствующими изоферроплатине с небольшим дефицитом платины $\text{Pt}_{3-x}\text{Fe}_{1+x}$ (82 % зерен). 13 % зерен изоферроплатины содержат примесь Pd (в среднем 1.6 мас. %), в 5 % зерен зафиксирована примесь Ig (в среднем 5.4 мас. %). Для большинства зерен характерна примесь Cu и Ni (в среднем 0.6 и 0.1 мас. %, соответственно), в единичных зернах отмечается примесь других ЭПГ. Редко встречаются зерна тетраферроплатины $\text{Pt}_{1+x}\text{Fe}_{1-x}$ с примесью Cu (в среднем 1.4 мас. %), отдельные зерна самородного иридия с переменными количествами Ru, Pt, Os и рутениридосмина. В качестве микровключений в изоферроплатине присутствуют самородные осмий и иридий, сульфиды и сульфоарсениды платиноидов.

По минералогическим характеристикам МПГ флюидолитов можно сопоставить с таковыми из известных россыпеобразующих формаций магматогенного и магматогенно-флюидно-метасоматического платинового и палладисто-платинового минералогическо-геохимического типа ультрамафит-мафитовых интрузий и магматогенно-флюидно-метасоматического рутенплатосмиридового типа жильных пироксенидов [3, 4].

Особый тип благороднометалльной минерализации, обнаруженный на месторождении Поперечное, требует детального изучения, важнейшей частью которого, на наш взгляд, является определение возраста МПГ, содержащихся во флюидолитах. Это поможет установить генетическую связь (или отсутствие таковой) флюидолитов с вмещающими породами и геологическими событиями в регионе, а также оценить перспективы обнаружения подобного оруденения в других районах.

Насыщенность флюидолитов обломками вмещающих пород и руд исключает возможность использования классических методов для корректного определения их возраста и, соответственно, возраста платинового оруденения на данном месторождении. Решение этой проблемы найдено с помощью разработанного в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН ^{190}Pt - ^4He метода прямого определения возраста самородной платины.

МЕТОД, МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Принципиальная возможность прямого определения возраста изоферроплатины и самородной

платины впервые обоснована в [14]. Высокая сохранность радиогенного гелия в самородных минералах платины обеспечивает возможность датирования времени их кристаллизации. Для детальной разработки нового ^{190}Pt - ^4He метода использовались минералы платиновой группы россыпного месторождения Кондер с коренным источником в одноименном щелочно-ультраосновном массиве (Хабаровский край, Россия) [3]. ^{190}Pt - ^4He возраст изоферроплатины месторождения составил 129 ± 6 млн лет [5], что полностью соответствует возрасту платиноносных дунитов и их производных [18]. Значения ^{190}Pt - ^4He возраста, полученные для МПГ известных россыпных месторождений платиновых металлов Дальнего Востока (Кондер, Чад, Инагли, Гальмознан), совпали с возрастом продуцирующих их массивов [19].

Исследования сохранности ^4He при механической деформации изоферроплатины показали, что средние значения $^4\text{He}/^{190}\text{Pt}$ отношения не различаются в деформированных и недеформированных образцах [6]. Было продемонстрировано, что новый ^{190}Pt - ^4He метод прямого изотопного датирования может быть использован для самородных минералов платины как из пород, подвергшихся рекристаллизации в тектоно-метаморфических процессах, так и из «шлиховой платины», несмотря на то, что при образовании россыпей они частично разрушаются и деформируются. Это обстоятельство имеет большое значение при определении ^{190}Pt - ^4He возраста таких сложных, содержащих платину геологических объектов, какими являются флюидолиты, образование которых проходит в условиях высоких динамических нагрузок (зксплозии).

Для геохронологических исследований из навесок изоферроплатины, выделенных из проб флю-

идолитов, отобраны зерна, не содержащие вростков других минералов. Из них сформированы препараты для анализа (таблица), номера которых вынесены на разрез (рис. 1). Дублирование препарата № 1 на разрезе означает объединение в этот препарат зерен платины, выделенных из проб сближенных горизонтов, в одну пробу из-за недостаточного объема материала. С другой стороны, из богатых платиной проб сформировано несколько препаратов (№№ 4, 5, 6–8). Одно или несколько зерен заворачивались в танталовую фольгу с добавлением чистой меди. Параллельно готовился «холостой» образец, представляющий собой танталовую фольгу и медь без зерен платины. Образцы последовательно помещались в ренийевый цилиндр и нагревались в несколько этапов до температуры $1400\text{ }^\circ\text{C}$. 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. Ионизация гелия производилась за счет электронного удара. Концентрация радиогенного гелия определялась на магнитном секторном масс-спектрометрическом комплексе МСУ-Г-01-М (ИГГД РАН) с чувствительностью масс-спектрометра $\sim 5 \times 10^{-12}\text{ см}^3$. Значения, полученные на холостом опыте с пустой танталовой фольгой, не превышали $1 \times 10^{-10}\text{ см}^3\text{ }^4\text{He}$.

Результаты измерений представлены в таблице.

С помощью программы Isoplot [16] построена изохрона (рис. 2). Для препаратов 9–11 количество выделившегося гелия соизмеримо с фоновым значением.

Существует вероятность того, что часть гелия, содержащегося в изученных зернах изоферроплатины, привнесена из вмещающей породы, где он образовался за счет распада радиоактивных элементов. Среднее содержание урана в пробах флюидолитов

Таблица. Результаты изотопных исследований самородной платины из флюидолитов месторождения Поперечного.

№ препарата	Количество зерен в препарате	Вес препарата, мг	σ , %	Pt, мас. %	σ , %	$^{190}\text{Pt} \cdot 10^{12}$	σ , %	$^4\text{He} \cdot 10^9$	σ , %
1	4	0.52	0.4	89.2	0.23	185	0.26	32.8	0.14
2	3	0.377	0.5	89.2	0.22	134.1	0.21	22.4	0.12
3	9	0.753	0.3	88.1	0.25	264.5	0.33	47.1	0.17
4	6	0.519	0.4	88.5	0.26	183.2	0.25	31.2	0.14
5	9	0.601	0.3	86.7	0.28	207.8	0.28	34.4	0.15
6	12	0.55	0.4	88.1	0.24	193.2	0.26	36.1	0.15
7	8	0.516	0.4	88.2	0.25	181.5	0.25	30.3	0.14
8	11	0.462	0.4	88.7	0.27	163.4	0.23	29.8	0.14
9	1	0.236	0.8	88.8	1	83.6	0.15	13.6	0.70
10	1	0.144	1.4	88.8	1	51	0.12	11.3	0.70
11	1	0.114	1.8	88.8	1	40.4	0.11	5.6	0.67
Та-фольга, Cu	-	-	-	-	-	-	-	9.0	0.08

Примечание. $^{190}\text{Pt} \cdot 10^{12}$ и $^4\text{He} \cdot 10^9$ – количество изотопов ^{190}Pt и ^4He , выделенное из препаратов. Pt, мас. % в препаратах, состоящих из нескольких зерен, рассчитано как среднее из содержания Pt в зернах.

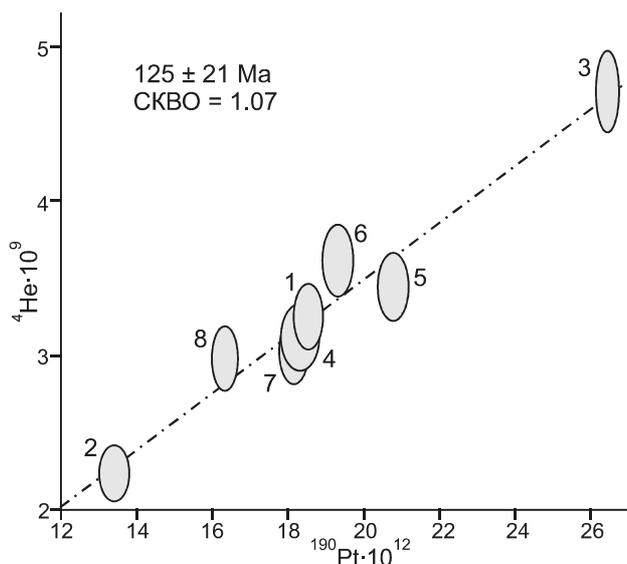


Рис. 2. ^{190}Pt - ^4He изохрона для самородной платины из флюидолитов месторождения Попереchnое.

составляет 0.5 ± 0.2 мкг/г, $\text{Th}/\text{U} = 9$. В этом случае доля привнесенного гелия может варьировать от 15 до 30 %, в результате чего ^{190}Pt - ^4He возраст может понизиться на 10–15 млн лет. На величину этой поправки существенно влияет ряд факторов (размеры зерен платины, наличие или отсутствие в них U, характер распределения U и Th в породе и др.). Степень этого влияния на результаты анализа нами не оценена, поэтому на настоящем этапе исследования следует констатировать лишь принципиальную возможность «омоложения» полученных значений.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученный ^{190}Pt - ^4He возраст изоферроплатины из флюидолитов месторождения Попереchnое 125 ± 21 млн лет соответствует времени ее кристаллизации, которая, согласно имеющимся минералогическим и петрографическим данным, происходила в условиях магматогенно-флюидно-метасоматического процесса формирования ультрамафит-мафитовых комплексов [3, 4]. Флюидолиты являются «транспортёром» кристаллизовавшихся на глубине благородных металлов.

Модели, построенные по геологическим данным [10] и по результатам глубинной томографии [20], показывают наличие под изучаемым районом структуры типа слэб-виндоу, образовавшейся в обстановке раннемеловой трансформной континентальной окраины. Два пика раннемелового (около 125 и 100 млн лет) магматизма на востоке Центрально-Азиатского орогенного пояса, для которого характерно образование мелких ультрамафит-мафитовых интрузий, по-види-

мому, обусловлены апвеллингом подслэбовой астеносферы [10]. Отражением этого процесса в пределах месторождения Попереchnое явилось формирование тел флюидолитов.

В областях развития раннемеловых вулканитов Хингано-Юринской зоны Малого Хингана выявлены контрастные литохимические аномалии палатиноидов неясного генезиса, сопровождаемые повышенными содержаниями Co, Ni и Au. [15]. Эти аномалии расположены вблизи областей развития рудно-магматических систем апт-альбского возраста, в формировании которых большую роль играют флюидно-эксплозивные образования [8].

Таким образом, ^{190}Pt - ^4He возраст изоферроплатины из нового типа платиноносных пород на месторождении Попереchnое (125 ± 21 млн лет) однозначно указывает на генетическую разнородность рифей-вендских вмещающих карбонатов мурандавской свиты и развитых в них раннемеловых эксплозивно-магматических брекчий (флюидолитов) андезитового состава с МПГ. Так как брекчиевые породы сопровождают большинство железо-марганцевых месторождений и проявлений на Малом Хингане, необходимо их дальнейшее изучение с целью уточнения геологической истории развития региона и выявления особенностей связанной с ними благороднометалльной минерализации нового типа.

Исследования выполнены в рамках тем НИР ИГГД РАН, ДВГИ, ИТиГ и ИГД ДВО РАН, при частичной финансовой поддержке Проекта 18-2-015 ДВО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников Н.В., Невструев В.Г., Саксин Б.Г. Источники и условия формирования железо-марганцевой минерализации Бурейнского и Ханкайского массивов (Дальний Восток России) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35. № 4. С. 28–39.
2. Бердников Н.В., Невструев В.Г., Саксин Б.Г. Генетические аспекты железо-марганцевой и благороднометалльной минерализации месторождения Попереchnое (Малый Хинган, Россия) // Тихоокеан. геология. 2017. Т. 36. № 6. С. 43–57.
3. Мочалов А.Г. Россыпи платиновых металлов // Россыпные месторождения России и других стран СНГ. М.: Науч. мир, 1997. С. 127–165.
4. Мочалов А.Г. Россыпеобразующие формации минералов платиновой группы Дальнего Востока России // Рудные месторождения и процессы рудообразования. М.: ИГЕМ РАН, 2005. С. 367–386.
5. Мочалов А.Г., Якубович О.В., Бортников Н.С. ^{190}Pt - ^4He возраст платинометалльных рудопоявлений щелочно-ультраосновного массива Кондер (Хабаровский край, Россия) // Докл. АН. 2016. Т. 469. № 5. С. 602–606.
6. Мочалов А.Г., Якубович О.В., Золотарев А.А. Структурные изменения и сохранность радиогенного ^4He в минера-

- лах платины при механических деформациях // Докл. АН. 2018. Т. 480. № 1. С. 85–89.
7. Невструев В.Г., Бердников Н.В., Диденко А.Н., Саксин Б.Г., Лаврик Н.А. Флюидолиты как источник коренной золото-платиноидной минерализации на примере месторождения Поперечное (Малый Хинган) // Докл. АН. 2018. Т. 482. № 2. С. 202–205.
 8. Саксин Б.Г., Усиков В.И., Невструев В.Г. Мезозойское рудное золото Малого Хингана (Дальний Восток России) и обоснование направления поисков в рамках концепции флюидно-каркасных систем // Тихоокеан. геология. 2017. Т. 36. № 3. С. 57–69.
 9. Смирнова Ю.Н., Сорокин А.А., Котов А.Б., Ковач В.П. Тектонические условия накопления и источники верхнепротерозойских и нижнепалеозойских терригенных отложений Малохинганского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24. № 3. С. 3–26.
 10. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.
 11. Ханчук А.И., Невструев В.Г., Бердников Н.В., Нечаев В.П. Петрохимические особенности углеродистых сланцев в восточной части Буреинского массива и их благородно-металлическая минерализация // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 6. С. 815–828.
 12. Ханчук А.И., Рассказов И.Ю., Крюков В.Г., Литвинова Н.М., Саксин Б.Г. О находке промышленной платины в рудах Южно-Хинганского месторождения марганца // Докл. АН. 2016. Т. 470. № 6. С. 701–703.
 13. Чеботарев М.В. Геологическое строение Южно-Хинганского марганцевого месторождения и вещественный состав его руд // Сов. геология. 1958. № 8. С. 114–136.
 14. Шуколюков Ю.А., Якубович О.В., Мочалов А.Г., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Яковлева С.З., Корнеев С.И., Гороховский Б.М. Новый изотопный геохронометр для прямого датирования самородных минералов платины (^{190}Pt - ^4He -метод) // Петрология. 2012. № 6. С. 545–559.
 15. Юрченко Ю.Ю. Геохимические критерии прогнозной оценки на благороднометаллическое оруденение закрытых и полужакрытых территорий Малого Хингана (Дальний Восток): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб., 2012. 24 с.
 16. Ludwig K.R. Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronology Center Spec. Publ. 2003. V. 4. P. 70.
 17. Rasskazov I.Yu., Saksin B.G., Potapchuk M.I., Usikov V.I. Geomechanical assessment of mining conditions in the Khingansk manganese ore body // J. Mining Sci. 2014. V. 50. N 1. P. 10–17.
 18. Savatenkov V.M., Mochalov A.G. Age and sources of dunites of Konder massive (Aldan shield) // Dokl. Earth Sci. 2018. V. 482. P. 2. P. 1331–1335.
 19. Shukolyukov Yu.A., Yakubovich O.V., Mochalov A.G. Dating platinum mineralization by the novel ^{190}Pt - ^4He method of isotope geochronology: 12th International Platinum Symposium. Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2014. P. 218–200.
 20. Zhao D., Pirajno F., Dobretsov N.L., Liu L. Mantle structure and dynamics under East Russia and adjacent regions // Russian Geology and Geophysics. 2010. V. 51. P. 925–938.

Рекомендована к печати А.А. Сорокиным

после доработки 15.07.2019 г.

принята к печати 06.09.2019 г.

A.I. Khanchuk, A.G. Mochalov, I.Yu. Rasskazov, O.V. Yakubovich, N.V. Berdnikov, V.G. Nevstruyev

Isotopic age of native platinum from andesitic fluidolites of the Poperechnoye deposit (Malyi Khingan, Russia)

The ^{190}Pt - ^4He age of the isoferroplatinum from andesitic fluid-explosive breccias (fluidolites, a new type of platinum-bearing rocks) of the Poperechnoye deposit (Malyi Khingan, Russia) estimated as 125 ± 21 Ma correlates well with the peak magmatic activity in the Bureya massif and East Asia caused by upwelling of slab-window asthenosphere in a transform continental margin setting following the cessation of subduction of the Izanagi Plate under the composite Jiamusi-Bureya-Khanka terrane in Jurassic times.

Key words: Pt-He isotopic age, native platinum, fluidolites, Fe-Mn deposits, Malyi Khingan, Russian Far East.