

УДК 549.27 (571.56)

## МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ И $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$ -ВОЗРАСТ ЖЕЛЕЗИСТОЙ ПЛАТИНЫ ИЗ РОССЫПЕЙ БАССЕЙНА Р. АНАБАР (СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

А. В. Округин<sup>1,\*</sup>, О. В. Якубович<sup>2,3</sup>, А. М. Гедз<sup>2,3</sup>,  
А. Л. Земнухов<sup>4</sup>, П. О. Иванов<sup>4</sup>

Представлено академиком РАН В.В. Ярмолюком 29.11.2016 г.

Поступило 24.10.2016 г.

Приводятся типоморфные особенности минералов платиновой группы (МПП) и результаты  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$ -датирования Fe–Pt-твёрдых растворов из комплексных золото-, платина-, алмазоносных россыпей бассейна р. Анабар с неустановленными материнскими породами. Впервые  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$ -изотопная система использована для установления возможного возраста коренного источника россыпи МПП, а в качестве минерала-геохронометра наряду с изоферроплатиной выступает и железистая платина с неупорядоченной структурой. МПП в этих россыпях представлены в основном железистой платиной и изоферроплатиной, реже сплавами Ru–Ir–Os-состава. Рассчитанный валовый состав силикатного включения иридийной Pt соответствует породам ийолит-мельтейгитового ряда. Возраст зерен Fe–Pt твёрдых растворов, определенный  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$ -методом, составляет  $261 \pm 13$  млн лет. Таким образом, полученные данные указывают на связь МПП из россыпей бассейна р. Анабар с пермо-триасовыми комплексами щелочно-ультраосновных пород.

**Ключевые слова:** минералы платиновой группы, крупные изверженные провинции,  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$ -датирование, мафит-ультрамафиты, россыпи, Сибирская платформа.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-56524846716-720>

В бассейне р. Анабар на северо-востоке Сибирской платформы известны комплексные Au-, Pt-, алмазоносные россыпи (рис. 1), источники которых не установлены [1–3]. Для определения потенциальных источников минералов платиновой группы (МПП) были изучены их типоморфные особенности и определён возраст  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$ -методом [4].

МПП представлены хорошо окатанными уплощёнными, комковатыми зёрнами размером до 3,5 мм и слабо окатанными мелкими кубическими, октаэдрическими кристаллами и табличками с гексагональными очертаниями (рис. 2а). Подавляющее большинство МПП относится к твёрдым Fe–Pt-растворам, реже встречаются минералы Ru–Ir–Os-состава. По данным рентгенографических исследований большинство минералов Pt–Fe-состава из россыпей проявлений бассейнов р. Анабар, Уэле, Буолкалаха [1, 2] обладает гранецентрированной неупорядоченной решёткой, т.е. относится к желе-

зистой Pt. Для некоторых образцов получены рентгенограммы, характерные для упорядоченной структуры изоферроплатины ( $\text{Pt}_3\text{Fe}$ ).

В Fe–Pt-сплавах из россыпей р. Маят, Эбелях (притоки р. Анабар) по данным микрозондового анализа на Camebax-Micro (ИГАБМ СО РАН) содержание Pt 64,5–90,6%, Fe 4,1–13,9%. Основные примеси: Rh, Ru, Ir, Pd. На тройной диаграмме Pt–(Ir+Os)–(Ru+Rh) составы этих Fe–Pt-сплавов расположены в основном вдоль Rh–Ru-стороны, что характерно для высокородистой Pt Виллюйского типа [3]. Меньшая часть точек отклоняется в сторону Ir-тренда, характерного для месторождений урало-алаянского [5] и алданского [3] типов. Остальные попадают в промежуточную область, которая характерна для МПП из хромитовых руд альпинотипных ультрамафитов островодужного типа Тихоокеанского подвижного пояса (Красногорский массив) [6], а также для редких Fe–Pt-сплавов из Os-россыпей Гулинского [7–10], Бор-Уряхского [11] массивов. Для зёрен железистой Pt с низким содержанием Ir, Os, Ru, Rh отмечено нарастание доли Pd до 12%.

Минералы Ru–Ir–Os-состава р. Анабар обладают в основном гексагональной кристаллической решёткой и встречаются в виде пластинчатых обломков до 1–2 мм, среди которых часто находят индивиды

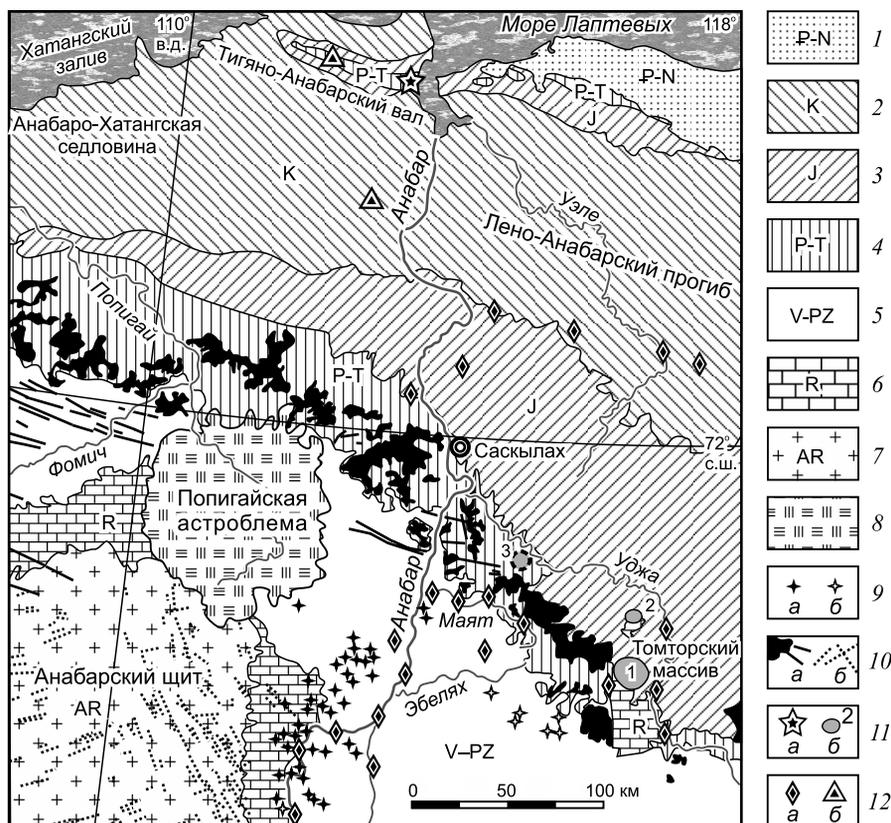
<sup>1</sup> Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской Академии наук, Якутск

<sup>2</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия Российской Академии наук, Санкт-Петербург

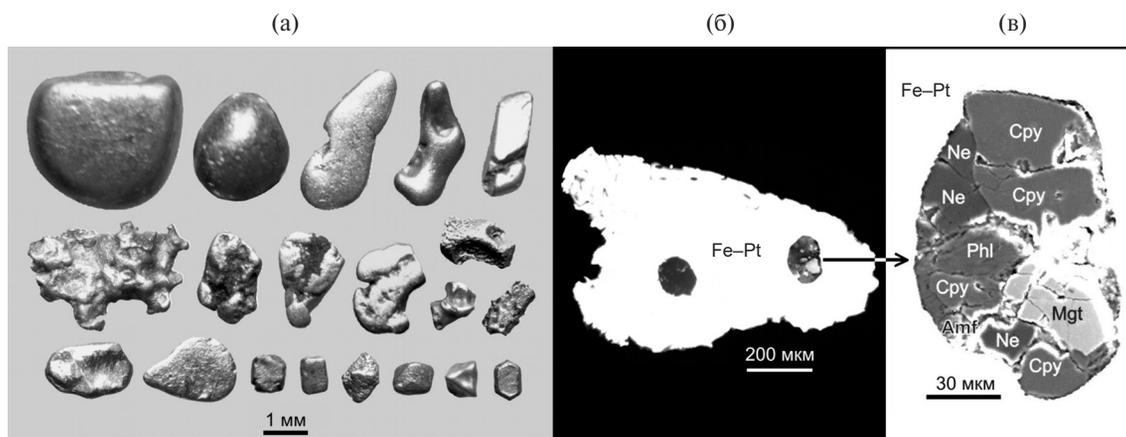
<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>4</sup> ОАО «Алмазы Анабара», Якутск

\*E-mail: [a.v.okrugin@diamond.ysn.ru](mailto:a.v.okrugin@diamond.ysn.ru)



**Рис. 1.** Схема распространения Au–Pt-россыпей в бассейне р. Анабар. 1 — неоген-палеогеновые осадки; 2 — меловые пески, алевриты, галечники; 3 — юрские конгломераты, песчаники, алевролиты; 4 — триасовые и пермские песчаники, алевролиты; 5 — венд-палеозойские карбонатно-терригенные толщи; 6 — рифейские отложения; 7 — архейские метаморфические комплексы; 8 — структура Попигайской астроблемы; 9 — мезозойские кимберлитовые (а), базитовые (б) трубки; 10 — пермо-триасовые силлы, дайки долеритов, трахидолеритов (а) и рифейские базитовые дайки (б); 11 — выходы меланефелинитов, пикритобазальтов в устье р. Анабар (а) и комплексы щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами (б) (1 — Томтор; 2 — Богдо; 3 — предполагаемый массив Чюэмпэ [14]); 12 — россыпепроявления Au с Pt (а) и Ir–Os-минералами (б).



**Рис. 2.** МПГ из россыпей р. Маят, Эбелях: а — морфология зёрен; б — полированный срез железистой Pt с силикатными включениями; в — увеличенное изображение включения в отражённых электронах на сканирующем микроскопе JSM-6480LV (ИГАБМ СО РАН).

с гексагональными очертаниями. Реже отмечены минералы с кубической кристаллической решёткой существенно Ir-состава, представленные комковатыми зёрнами. Составы анабарских Ru–Ir–Os-

сплавов в целом перекрывают поля минералов, характерных для МПГ Вилюйского, Алданского типов, Os-россыпей массива Гули и хромититов Красногорского массива. В железистой Pt часто встречаются

включения Ru–Ir–Os-состава размером 10–30, реже до 100 мкм.

В Fe–Pt-сплавах также установлены микровключения лаурита  $RuS_2$ , прассоита  $Rh_{17}S_{15}$ , василита  $(Pd, Cu)_{16}S_7$ , реже отмечены арсеносульфиды (Pt, Ir, Ru, Rh)AsS, арсениды (Rh, Ru)As, палладарсенид  $Pd_2As$ , тиошпинели маланит–купородситового ряда  $(Pt, Rh, Ru)_2CuS_4$ , котульскит  $PdTe$ , теллуropалладинит  $Pd_9Te_4$ , кейтконнит  $Pd_{20}Te_7$ , Rh–Ru-содержащий пентландит, Pt–Pd-содержащие халькопирит, ковеллин, халькозин, а также Au-содержащий интерметаллид  $PdCu$  — скаергаардит. Среди изученных минеральных включений преобладают сульфиды Rh, Ru. В то же время высокие содержания Rh, Ru в железистой Pt свидетельствуют о низкой фугитивности S в исходных магматических рудных источниках, что вызвало вхождение основной массы наиболее халькофильных платиноидов (Rh, Ru, Pd) в самородные фазы МПГ, а не в сульфидные минералы в форме изоморфной примеси, как в платиновых месторождениях сульфидного типа.

Кроме рудных минералов в Fe–Pt-сплавах иногда встречаются включения (от первых до 50 мкм) клинопироксена, флогопита, амфибола, хлорита, серпентина, полевого шпата, титаномагнетита, ильменита, рутила, кальцита и др. [3]. В одном зерне иридий Pt состава  $Pt_{78}Ir_8Os_{0,6}Rh_{3,5}Fe_{9,3}Ni_{0,6}$  обнаружено включение овальной формы, в поперечнике до 0,15 мм (рис. 2б, в). В нём присутствуют диопсид (Cpy)  $Wo_{49-51}En_{38-42}Fs_{8-12}$ , нефелин (Ne)  $Ne_{80}Ks_{15}Q_5$ , титаномагнетит (Mgt), флогопит (Phl), амфибол (Amf). Исходя из количественных соотношений минералов, в об. %: Cpy 40, Ne 30, Phl 15, Mgt 10, Amf 5 и их составов, включение имеет валовый состав, мас. %:  $SiO_2$  41,22;  $TiO_2$  1,19;  $Al_2O_3$  15,14;  $Cr_2O_3$  0,03;  $FeO_{общ}$  13,61;  $MnO$  0,12;  $MgO$  9,71;  $CaO$  10,27;  $Na_2O$  5,02;  $K_2O$  2,88, что соответствует породам ийолит–мельтейгитового ряда.

Указанные типоморфные особенности платиновых металлов и их минералов-включений свидетельствуют о том, что МПГ россыпей бассейна р. Анабар обладают широким спектром минералого-геохимических особенностей, подобных минералам из россыпей родисто-железистой Pt Вилуйского типа [2] и иридийной изоферроплатины Инаглинского дунитового массива [3], и редким минералам иридий-родиевой железистой Pt промежуточного состава Бор-Уряхского массива [11].

Для определения возраста коренных источников МПГ россыпей бассейна р. Анабар использован  $^{190}Pt$ – $^4He$ -метод прямого датирования платиновых минералов [4]. Принципиальная возможность такого подхода для решения поставленной задачи ранее продемонстрирована на примере  $^{190}Pt$ – $^4He$ -датирования изоферроплатины из месторождений Кондёр, Гальмознан [12]. Для геохронологических исследований были отобраны чистые (без включений) зёрна твёрдых Fe–Pt-растворов размером 0,5–3 мм из россыпи р. Маят, которые имеют разные содержания типоморфных элементов-примесей Rh, Ir, Pd (табл. 1).

Определение содержания радиогенного He в зёрнах твёрдых Fe–Pt-растворов проводили на масс-спектрометрическом комплексе МСУ-Г-01-М (ИГГД РАН) по методике, описанной в [12]. Ввиду того что железистую Pt ранее не использовали в качестве минерала  $^{190}Pt$ – $^4He$ -геохронометра, дополнительно была изучена кинетика термодесорбции He из этого минерала. Оказалось, что кинетика выделения He из железистой Pt с неупорядоченной структурой аналогична кинетике выделения He из упорядоченной решётки изоферроплатины. He выделяется резко, взрывообразно при плавлении металла. Низкотемпературный пик на кривой термодесорбции для всех исследованных образцов практически отсутствует. Сопоставим с уровнем фона (рис. 3). Точки состава изученных образцов железистой Pt с разными содержаниями типоморфных примесей Rh, Ir, Pd расположены на “изохроне”, угол наклона которой соответствует возрасту  $261 \pm 13$  млн лет (СКВО = 2,5%), т.е. результаты  $^{190}Pt$ – $^4He$ -датирования свидетельствуют об одно-возрастном источнике ( $261 \pm 13$  млн лет) железистой Pt россыпей р. Маят, Эбелях.

Определение содержания радиогенного He в зёрнах твёрдых Fe–Pt-растворов проводили на масс-спектрометрическом комплексе МСУ-Г-01-М (ИГГД РАН) по методике, описанной в [12]. Ввиду того что железистую Pt ранее не использовали в качестве минерала  $^{190}Pt$ – $^4He$ -геохронометра, дополнительно была изучена кинетика термодесорбции He из этого минерала. Оказалось, что кинетика выделения He из железистой Pt с неупорядоченной структурой аналогична кинетике выделения He из упорядоченной решётки изоферроплатины. He выделяется резко, взрывообразно при плавлении металла. Низкотемпературный пик на кривой термодесорбции для всех исследованных образцов практически отсутствует. Сопоставим с уровнем фона (рис. 3). Точки состава изученных образцов железистой Pt с разными содержаниями типоморфных примесей Rh, Ir, Pd расположены на “изохроне”, угол наклона которой соответствует возрасту  $261 \pm 13$  млн лет (СКВО = 2,5%), т.е. результаты  $^{190}Pt$ – $^4He$ -датирования свидетельствуют об одно-возрастном источнике ( $261 \pm 13$  млн лет) железистой Pt россыпей р. Маят, Эбелях.

**Таблица 1.** Результаты геохронологических  $^{190}Pt$ – $^4He$ -исследований твёрдых Fe–Pt-растворов из россыпи р. Маят

Номер зерна	Масса, мг	Состав минерала, мас. % в индексах	$^4He^*$ , $cm^3/g \times 10^{-6}$	$^4He^*$ , $\times 10^{-11}$	$^{190}Pt^*$ , $\times 10^{-14}$
5-156	0,68	$Pt_{86,64}Ir_{0,24}Os_{0,06}Ru_{0,00}Rh_{0,00}Pd_{0,00}Fe_{10,15}Ni_{0,87}Cu_{0,10}$	5,31	0,97	2,35
12-156	1,48	$Pt_{80,89}Ir_{0,07}Os_{0,13}Ru_{0,96}Rh_{0,98}Pd_{2,73}Fe_{9,02}Ni_{0,16}Cu_{0,64}$	4,90	1,94	4,77
13-156	1,30	$Pt_{82,82}Ir_{3,29}Os_{0,48}Ru_{0,39}Rh_{1,94}Pd_{0,06}Fe_{6,12}Ni_{0,17}Cu_{0,49}$	5,04	1,75	4,29
21-156	3,34	$Pt_{82,53}Ir_{0,62}Os_{0,65}Ru_{1,11}Rh_{2,75}Pd_{0,08}Fe_{8,58}Ni_{0,27}Cu_{0,48}$	4,98	4,45	10,99
30-156	3,95	$Pt_{85,78}Ir_{0,51}Os_{0,07}Ru_{0,10}Rh_{0,01}Pd_{0,01}Fe_{9,10}Ni_{0,12}Cu_{0,64}$	4,93	5,22	13,51

Примечание. \*Концентрация  $^4He$ , число атомов  $^4He$  и  $^{190}Pt$  соответственно.

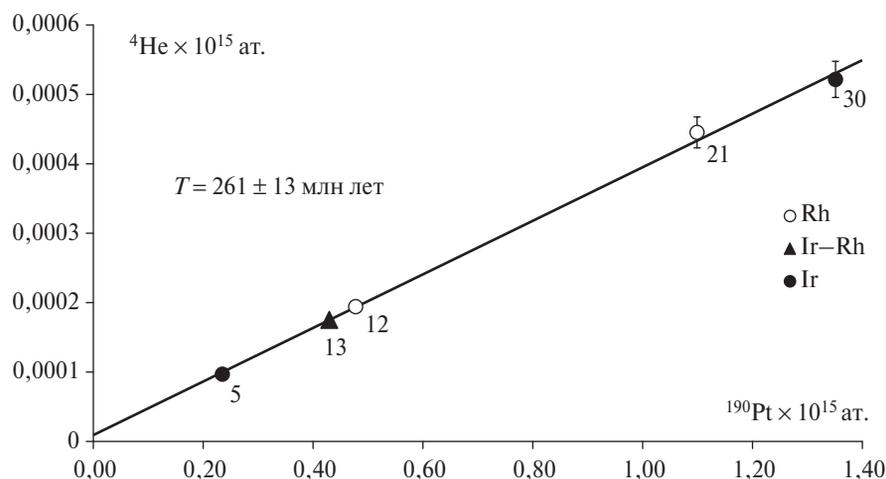


Рис. 3.  $^{190}\text{Pt}$ - $^4\text{He}$ -изохрона для железистой Pt из россыпи р. Маят. Цифры на диаграмме — номер образца.

Таким образом, результаты проведённых исследований исключают предположение о возможной связи МПГ россыпей бассейна р. Анабар с докембрийскими источниками или породами массива Томтор (U–Pb-возраст:  $391 \pm 13$ ;  $686 \pm 3$  млн лет) [13]. Учитывая присутствие в матрице Fe–Pt-сплавов россыпи р. Маят полиминерального силикатного включения, отвечающего по составу породам ийолит–мельтейгитового ряда, в качестве их наиболее вероятного источника МПГ бассейна р. Анабар можно рассматривать комплексы щёлочно-ультраосновных пород пермо-триасового возраста. В связи с этим следует отметить развитие на севере Сибирской платформы комплексных золото-платиноносных россыпей, связанных с Гулинским вулканоплутоном ультраосновных и щёлочных пород с карбонатами Маймеча-Котуйской провинции [7–11]. Имеющиеся геофизические данные [14] свидетельствуют о возможности существования подобных комплексов щёлочно-ультраосновных пород с платинометальной минерализацией под мезозойским чехлом в пределах Лено-Анабарского прогиба.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность Л.М. Поповой, Н.В. Христофоровой (ИГАБМ СО РАН) за помощь в проведении микрозондового анализа.

**Источник финансирования.** Исследования проведены в рамках НИР ИГАБМ СО РАН (проект № 0381–2016–0003) и при поддержке грантов РФФИ (проекты 13–05–00717 и 17–05–00390).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпунт Б.Р. // Геология руд. месторождений. 1970. № 2. С. 123–126.
2. Okrugin A.V. // Intern. Geol. Rev. 1998. № 8. P. 677–687.
3. Округин А.В., Зайцев А.И., Борисенко А.С. и др. // Отеч. геология. 2012. № 5. С. 11–21.
4. Шуколюков Ю.А., Якубович О.В., Мочалов А.Г. и др. // Петрология. 2012. № 6. С. 545–559.
5. Cabri L.J., Harris D.C., Weiser T.W. Mineralogy and Distribution of Platinum-Group Mineral Placer Deposits of the World // Explor. and Mining Geol. 1996. № 2. P. 73–167.
6. Дмитриенко Г.Г., Мочалов А.Г., Паладжян С.А., Горячева Е.М. Химические составы породообразующих и аксессуарных минералов альпинотипных ультрамафитов Корякского нагорья. Ч. 2. Препринт. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1985. 60 с.
7. Балмасова Е.А., Смольская Л.С., Лопатина Л.А. и др. // ДАН. 1992. Т. 323. № 4. С. 748–751.
8. Лихачев А.П., Кириченко В.Т., Лопатин Г.Г. и др. // Зап. ВМО. 1987. № 1. С. 122–125.
9. Сазонов А.М., Романовский А.Э., Гринев О.М. и др. // Геология и геофизика. 1994. № 9. С. 51–65.
10. Малич К.Н., Рудашевский Н.С. // ДАН. 1992. Т. 325. № 5. С. 1026–1029.
11. Малич К.Н., Когарко Л.Н. // ДАН. 2011. Т. 440. № 6. С. 806–810.
12. Shukolyukov Yu.A., Yakubovich O.V., Mochalov A.G. Thesis of the 12<sup>th</sup> Intern. Platinum Symp. Ekaterinburg, 2014. P. 218–219.
13. Владыкин Н.В., Котов А.Б., Борисенко А.С. и др. // ДАН. 2014. Т. 454. № 2. С. 195–199.
14. Поршнев Г.И., Степанов Л.Л. // Сов. геология. 1981. № 12. С. 103–106.

**MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL TYPES AND  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$  AGE  
OF FERROAN PLATINUM OF PLACERS OF THE ANABAR RIVER BASIN,  
NORTHEASTERN PART OF THE SIBERIAN PLATFORM**

**A. V. Okrugin, O. V. Yakubovich, A. M. Gedz, A. L. Zemnukhov, P. O. Ivanov**

Presented by Academician of the RAS V.V. Yarmolyuk November 29, 2016

Received October 24, 2016

Typical features of platinum group minerals (PGMs) and the results of  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$  dating of the Fe–Pt solid solutions are presented for complex gold–platinum–diamond placers with unidentified sources of the Anabar River basin. For the first time, the  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$  isotopic system is used for determination of the possible age of the primary source of a PGM placer from the example of ferroan platinum with a disordered structure along with isoferroplatinum. The PGMs of these placers mostly include ferroan platinum and isoferroplatinum and rare Ru–Ir–Os alloys. The calculated bulk composition of the silicate inclusion of Ir platinum corresponds to the rocks of the ijolite–melteigite series. The  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$  age of the Fe–Pt solid solution grains is  $261 \pm 13$  Ma. Thus, our data indicate the relation between placer PGMs of the Anabar River basin and Permian–Triassic complexes of alkaline–ultramafic rocks.

*Keywords:* platinum-group minerals, large igneous provinces,  $^{190}\text{Pt}$ – $^4\text{He}$  dating, mafic-ultramafic rocks, placers, Siberian platform.