

## ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В ПЕРМОТРИАСОВЫХ ВУЛКАНИТАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (*первые данные*)

А.Я. Медведев

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия*

Приводятся первые данные по содержанию ЭПГ в вулканических породах Западно-Сибирской плиты. Определено, что в большинстве исследованных пород изученные элементы находятся на кларковом уровне. Отмечается повышенное содержание (мг/т) суммы платиноидов (2.0—32.0) и особенно Pt (0.1—24.2) и Pd (0.3—8.0) в породах из центральных частей палеорифтовых долин. Предположено, что повышенные концентрации суммы ЭПГ, платины и палладия связаны с воздействием вещества плюма. Магматический тренд распределения ЭПГ подтверждает сделанный ранее вывод о мантийном происхождении изученных пород.

*Элементы платиновой группы, базальты, Западная Сибирь.*

## PLATINUM GROUP ELEMENTS IN PERMO–TRIASSIC VOLCANICS IN WEST SIBERIA (*the first data*)

A.Ya. Medvedev

The first data on PGE contents in the volcanic rocks of the West Siberian Plate are presented. Analysis has shown that most of the studied rocks have clark contents of these elements. Rocks from the central areas of paleorift valleys are enriched in  $\Sigma$ PGE (2.0–32.0 ppb), particularly in Pt (0.1–24.2 ppb) and Pd (0.3–8.0 ppb), which might be related to the action of plume. The magmatic PGE pattern confirms the earlier conclusions about the mantle genesis of the studied rocks.

*Platinum group elements, basalt, West Siberia*

### ВВЕДЕНИЕ

В современной литературе достаточно активно обсуждается проблема геохимии элементов платиновой группы (ЭПГ) в процессах формирования коры и мантии Земли, в дифференцированных магматических комплексах и при локализации ЭПГ в месторождениях. Однако большая часть исследований посвящена изучению рудоносных объектов [Дистлер и др., 1980; Дистлер, 1994; Wolfgang, Sarah-Jean, 2003; Barnes, Cox, Zientek, 2006; Sarah et al., 2010; Толстых и др., 2011; и др.]. Также известны данные по концентрации ЭПГ во вмещающих породах рудоносных массивов платиноносного пояса Урала [Волченко и др., 2007] и вулканиках Терфорд офиолитов Канады [Osin, Crocet, 1986]. Кроме того, приводятся содержания ЭПГ в породах различных ультрамафит-мафитовых комплексов [Изох и др., 1991; Philips et al., 2001; Поляков и др., 2006; и др.]. В последние годы появились сведения о содержании платиноидов в базальтах различных геодинамических обстановок [Crocket, 2002; Chazey, Neal, 2005; Woodland et al., 2005; Park et al., 2012; и др.], в том числе и в островодужных базальтах Камчатки [Иванов и др., 2008]. Достаточно много сведений о платиноидах в породах крупных изверженных провинций, например, [Zhang et al., 2005; Isoh и др., 2010; Наставко и др., 2012; и др.]. Меньше повезло территории России, так содержания о ЭПГ в вулканиках Сибирской платформы опубликованы в нескольких работах [Naldrett, Duke, 1980; Lightfoot et al., 1990; Brugman et al., 1993; Рябчиков, Когарко, 2012]. Для одной из крупнейших изверженных провинций, которой является Западная Сибирь, концентрации платиноидов в вулканиках неизвестны. В основном это обусловлено сложностью определения низких концентраций данных элементов. В данной работе приводятся первые сведения по содержанию ЭПГ в вулканиках Западно-Сибирской плиты.

### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ОТБОРА ПРОБ

Западно-Сибирская низменность в тектоническом отношении является плитой, входящей в состав северной части Урало-Монгольской эпигерцинской платформы, сформировавшейся в мезозое. Складчатые орогенные комплексы раннего докембрия, рифея и палеозоя выходят на поверхность по периферии плиты, образуя щиты, хребты и кряжи. На самой плите они погружены и перекрыты чехлом платфор-

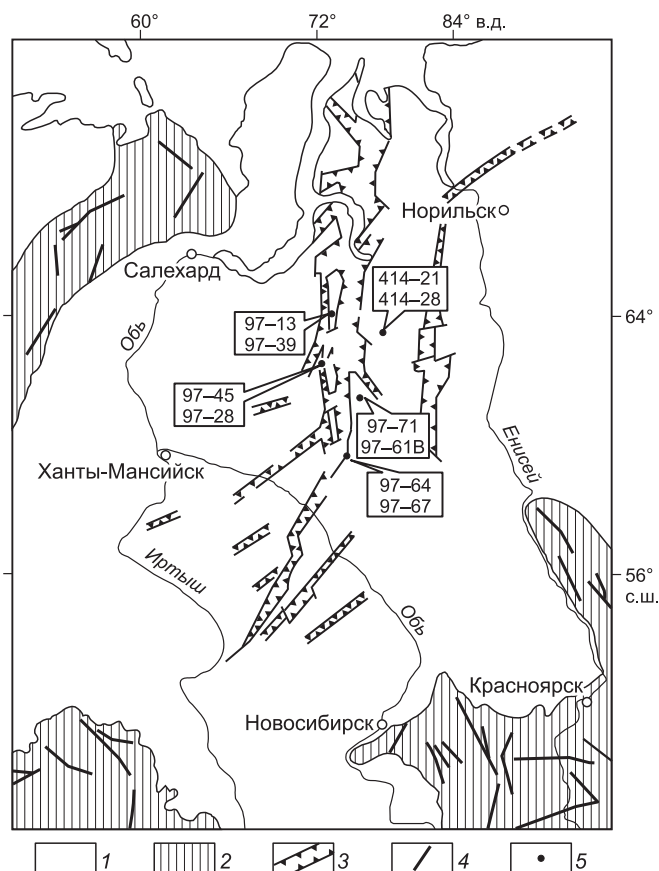
менных мезокайнозойских отложений начиная с юры. В доюрском фундаменте выделены породы палеозоя и триаса, большей частью они представлены осадочными комплексами. Вулканогенные породы обнаружены в силуре, девоне, карбоне, перми и триасе [Журавлев, 1986; Нефтегазоносные..., 1994; Бибенина, 1996; Альмухамедов и др., 1998; Казанский и др., 2000; Альмухамедов и др., 2000].

Установлено, что доюрское основание Западно-Сибирской плиты разбито сетью глубоких рифтов, между которыми располагаются приподнятые блоки фундамента [Нефтегазоносные..., 1994; Сурков и др., 1997; и др.]. Особо выделяется роль эпохи пермотриасового периода в рифтогенезе и как следствие вулканизма. Именно к этому времени приурочен массовый вулканизм на Сибирской платформе [Альмухамедов и др., 2004; и др.] и широкое площадное развитие вулканогенно-осадочных пород в Западной Сибири [Сурков и др., 1982, 1997]. В связи с этим большой интерес представляет собой погребенный вулканогенно-осадочный комплекс пермотриасового возраста. Долгое время возраст вулканогенно-осадочной толщи определялся по геологическим или палинологическим данным и только в последнее десятилетие были получены корректные Ar/Ar датировки абсолютного возраста [Медведев и др., 2003а; Сараев и др., 2009, 2011]. На основе имеющихся данных сделан вывод о довольно протяженном интервале магматизма — от 272 до 247 млн лет. При этом базальтовый вулканизм оказался несколько более древним. На основе данных по изучению керн скважин и геофизических данных определено, что вулканический ареал Западно-Сибирской плиты (геосинеклизы) занимает площадь не меньше, чем траппы Сибирской платформы. Хотя на территории Западно-Сибирской плиты обнаружен широкий спектр пород (от базальтов до риолитов), как было показано ранее, большую часть вулкаников составляют базальты [Медведев и др., 2003б; Сараев и др., 2011].

Ранее было доказано, что вулканизм Западно-Сибирской синеклизы [Медведев и др., 2003б; Альмухамедов и др., 2004] связан с влиянием суперплюма [Добрецов, 2008]. Базиты рифтовых зон имеют повышенные содержания некогерентных элементов, а по химизму близки к базитам океанических плато [Симонов и др., 2004]. При общем диаметре Сибирского суперплюма 2—3,5 тыс. км [Добрецов, 2010], вероятнее всего, существовали две проекции головок этого суперплюма. Одна из них находилась под центральной частью Западно-Сибирской плиты и вызвала массовый рифтогенез, а вторая, возможно, располагалась под западной частью Енисейско-Хатангского прогиба, где предполагается рифтогенная зона.

На территории Западной Сибири обнаружены вулканы широкого спектра по своему составу от базальтов до риолитов, включая щелочные породы — трахибазальты и фonoлиты [Медведев и др., 2003б]. Следует отметить, что аналогичная ситуация наблюдается на южной окраине Западной Сибири,

в районе Семейтау (устное сообщение А. Э. Изова). Еще раз подчеркнем, что все пермотриасовые вулканы Западной Сибири являются производными рифтогенного магматизма. Это хорошо согласуется с наличием в доюрском фундаменте грандиозной системы рифтовых структур, которые завершили свое развитие в триасе [Сурков и др., 1997]. Выяснено, что все вулканы Западной Сибири приурочены либо к рифтовым зонам, либо к межрифтовым поднятиям и все относятся к рифтогенному этапу. Отметим, что, несмотря на большое разнообразие вулканических пород, преобладают базальты. К настоящему времени какой-либо зональности в распределении вулкаников на территории Западной Сибири не выявлено.



**Рис. 1. Схема расположения скважин, из которых были отобраны образцы.**

1 — осадочный и вулканогенный чехол фанерозоя; 2 — складчатые пояса и выступы докембрийского фундамента; 3 — проекция на дневную поверхность выявленных и прогнозируемых грабен-рифтовых структур доюрского основания Западно-Сибирской плиты; 4 — основные тектонические нарушения; 5 — скважины, вскрывшие вулканогенные комплексы триаса, из которых отобраны образцы. Номера образцов на рисунке соответствуют номерам в таблице.

Исследованные образцы были отобраны из скважин, пройденных в центральных и бортовых частях палеорифтовых долин, а также в межрифтовых поднятиях по вулканогенно-осадочным толщам пермотриасового возраста. Расположение скважин, из которых отобраны образцы пород, показано на рис. 1.

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ

Анализ пород проводился в аналитических лабораториях Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Иркутск). Силикатный анализ выполнен рентгенофлуоресцентным методом (аналитик А.Л. Финкельштейн), FeO — классическим химическим (аналитик Т.Н. Ожогина), Ni, Cr, Ag — атомно-эмиссионным методом (аналитик С.С. Воробьева). В связи с трудностью определения низких содержаний ЭПГ была применена специальная методика, разработанная сотрудниками института к.х.н. В.И. Меньшиковым, В.Н. Власовой и В.И. Ложкиным [Власова и др., 2007]. Она заключается в определении элементов методом ICP-MS на масс-спектрометре Element-2 с использованием открытого кислотного разложения и отделением матричных элементов на отечественном катионите КУ-2-8. Анализировались образцы массой 1 г при наименьшем разбавлении раствора образца деионизированной водой, равном 200 мл/г. Использованные ультрачистые реактивы позволили определять элементы в диапазоне от тысячных до целых мг/т. Правильность методики подтверждена результатами анализа российских государственных стандартных образцов Ж-3, РП-1 (Ru, Rh, Pd, Pt, Ir, Au) и ЕСО-2 (Pd, Pt) и образцов Jp-1 (Япония), OZE-1 (Китай) — (Ru, Rh, Pd, Pt, Ir, Au).

### ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ИССЛЕДОВАННЫХ ВУЛКАНИТОВ

В связи со значительным преобладанием базальтов над остальными типами пород было исследовано шесть образцов базальтов, два феолиита и два трахиандезитобазальта. Петрография и геохимия вулканитов Западной Сибири была рассмотрена детально ранее [Медведев и др., 2003б], поэтому здесь приводятся только необходимые данные по исследованным образцам.

Исследованные базальты представлены темно-серыми до черными порфировыми породами. Вкрапленники представлены преимущественно плагиоклазом или плагиоклазом и моноклинным пироксеном. Степень вторичных изменений в образцах незначительная, и она выражается в слабой пелитизации и серицитизации плагиоклазов, хлоритизации и эпидотизации пироксенов. Основная масса породы складывается теми же минералами и достаточно редко раскристаллизованным стеклом в переменных количествах. Следует отметить, что во всех исследованных образцах не наблюдается как сульфидов, так и хромитов.

Трахиандезитобазальты характеризуются массивной текстурой и порфировой структурой. Вкрапленники размером 4—5 мм представлены моноклинным пироксеном и плагиоклазом. Их количество варьирует в незначительных пределах — 10—20 об. %. Вкрапленники отмечаются как в виде мономинеральных, так и полиминеральных гломеропорфировых сростков, образующих фрагменты пойкилоофитовой структуры. Степень вторичных изменений вкрапленников незначительна. Пироксены частично замещены по трещинам спайности и реже по границам зерен эпидот-хлоритовым агрегатом, плагиоклазы замутнены и слегка сосюритизированы. Основная мелкозернистая масса состоит из тех же минералов, магнетита, плохо диагностируемого калиевого полевого шпата и редко витрифицированного стекла.

Исследованные феолииты — коричнево-серые до темно-серых, массивные породы с большим (до 45 %) количеством порфировых вкрапленников размером 4—10 мм. Они представлены калиевым поле-

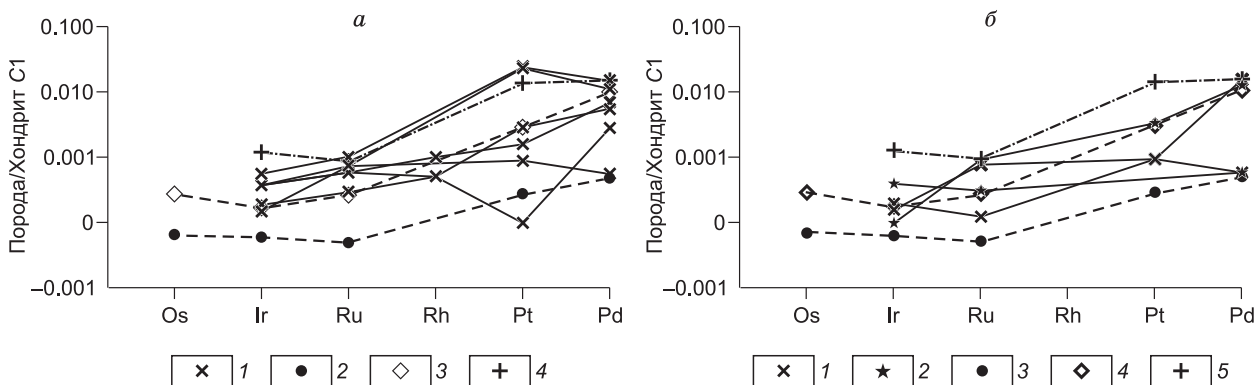


Рис. 2. Распределение ЭПГ в вулканитах, нормированное к хондриту C1 [Naldrett, Duke, 1980].

*a* — (1 — исследованные базальты, 2 — N-MORB, 3 — IAB, 4 — OIB); *б* — (1 — феолииты, 2 — трахиандезитобазальты, 3 — N-MORB, 4 — IAB, 5 — OIB). N-MORB — [Crockett, 2002]; IAB — [Woodland et al., 2005]; OIB — [Chazey, Neal, 2005].

**Химический состав и местоположение исследованных образцов**

Компонент	Базальты						Трахиандезибазальты		Фонолиты		MORB
	центр рифта		борт рифта		межрифтовое поднятие		межрифтовое поднятие		борт рифта		
	(97-13)	(97-39)	(97-45)	(97-28)	(97-71)	(97-61B)	(414-21)	(414-28)	(97-64)	(97-67)	
SiO <sub>2</sub>	47.92	49.45	48.99	49.61	47.12	49.22	55.63	53.57	57.19	50.70	49.76
TiO <sub>2</sub>	1.10	1.043	1.033	1.054	0.696	0.971	1.04	1.03	0.609	0.561	1.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.49	16.56	17.15	16.69	15.84	16.20	15.03	14.86	19.02	19.59	14.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.25	3.167	4.312	3.967	3.434	3.556	2.64	2.48	0.522	3.101	1.85
FeO	6.74	7.27	6.20	6.55	6.37	7.09	4.04	4.85	3.50	3.86	9.35
MnO	0.18	0.16	0.162	0.161	0.213	0.192	0.11	0.13	0.107	0.184	0.21
MgO	5.83	5.706	5.661	6.021	9.801	6.975	6.18	6.83	0.632	1.243	8.43
CaO	6.03	8.79	8.933	8.577	11.45	6.417	5.17	5.98	3.868	5.197	12.12
Na <sub>2</sub> O	3.18	3.366	3.338	3.326	2.073	3.623	5.84	4.06	0.865	5.52	1.99
K <sub>2</sub> O	0.29	1.327	1.243	1.339	0.786	1.692	1.68	3.31	8.434	4.93	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.28	0.333	0.331	0.343	0.152	0.228	0.41	0.44	0.096	0.094	0.08
П.п.п.	4.67	3.01	3.09	2.67	2.81	3.82	2.41	2.61	4.95	4.76	—
Сумма	99.14	100.182	100.443	100.308	100.34	99.984	100.18	100.15	99.739	99.74	99.62
Cr	230	66	83	80	320	160	400	440	20	50	370
Ni	100	240	170	150	280	86	140	150	4.4	16	136
Cu	26	24	36	26	41	35	27	32	7.3	10	139
Ag	0.05	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.15	0.08	< 0.02	0.09	—
Ru	0.7	0.5	0.4	0.4	< 0.05	0.2	0.6	0.2	0.08	0.5	0.0337
Rh	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.2	< 0.05	0.1	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	—
Pd	8.0	6.0	3	3.7	0.3	1.5	6.5	0.3	8.0	< 0.05	0.26
Os	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.0334
Ir	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.05	0.05	0.1	0.08	0.032
Pt	24.2	23.3	2.9	1.6	1.1	0.1	3.2	< 0.1	0.9	0.9	0.28
Σ ЭПГ	32.3	30.0	6.5	6.1	1.5	2.0	10.35	0.55	9.08	1.48	0.9424

Примечание. Петрогенные элементы — мас. %, Cr, Ni, Ag — г/т, остальные — мг/т. MORB — по данным [Crockett, 2002]. Прочерк — не определялись. В скобках — номер образца.

вым шпатом, плагиоклазом, калийсодержащим нефелином и реже эгирином. Основная масса мелкозернистая полнокристаллическая, сложена плагиоклазом, калиевым полевым шпатом, реликтами пироксена, рудным минералом. Очень редко наблюдаются зерна апатита.

Химический состав образцов приведен в таблице. Видно, что содержания ЭПГ изменяются в широких интервалах. Наибольшие концентрации отмечаются для платины (в базальтах). Уровень содержания осмия для всех типов пород ниже предела обнаружения. Все полученные данные отражают обогащение Pt и Pd относительно Os, Ir, Rh и Ru. Такой характер распределения характерен для пород магматического генезиса. Это подтверждается данными рис. 2. При рассмотрении средних составов платиноидов в базальтах различных геодинамических обстановок (см. рис. 2, а) можно заключить, что наибольшие концентрации отмечаются в породах OIB, а минимальное в MORB. Базальты островных дуг занимают промежуточное положение. Считается, что обогащение ЭПГ базальтов островных дуг по сравнению с N-MORB объясняется процессом переноса платиноидов водным флюидом из субдуцирующего слэба [Иванов и др., 2008].

В изученных базальтах содержание ЭПГ выше, чем в N-MORB и в основном близко к содержанию в базальтах IAB. При этом концентрации Pt и Pd достигают величин соответствующих концентраций в породах OIB. Для вулкаников Западной Сибири мало вероятно наличие субдуцирующего слэба, следовательно, наличие относительно повышенных концентраций ЭПГ в базальтах вызвано какой-то другой причиной.

Из-за малой выборки аналитических данных о поведении ЭПГ в трахиандезибазальтах и фонолитах сложно что-то сказать (см. рис. 2, б).

Рассмотрим поведение ЭПГ в процессах кристаллизационной дифференциации базальтов. Из исследованных элементов только Ru и Ir показывают отрицательную корреляцию с содержанием магния и

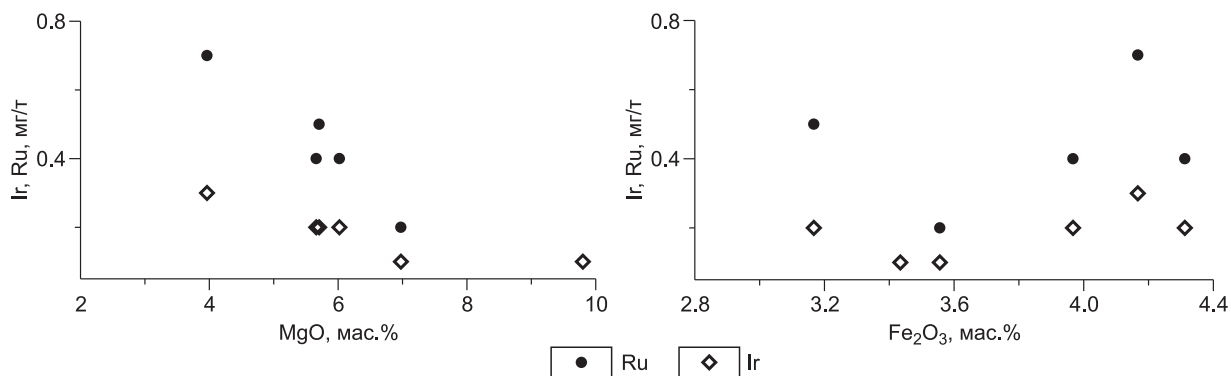


Рис. 3. Зависимость концентраций Ru и Ir от содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MgO в базальтах.

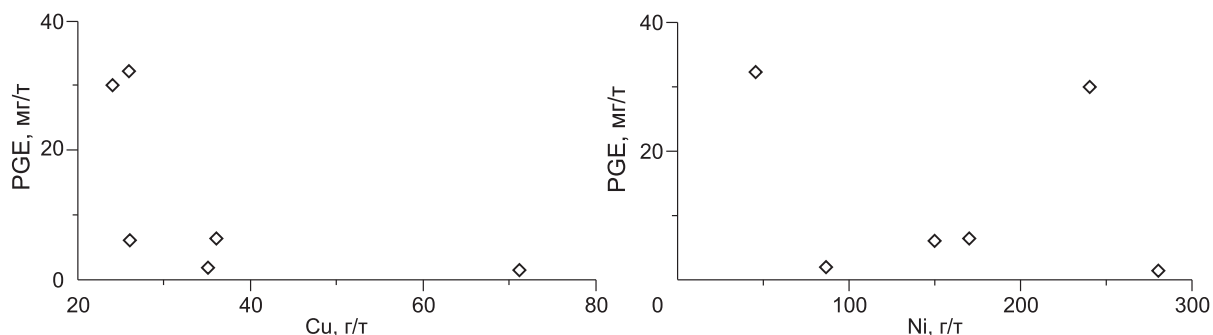


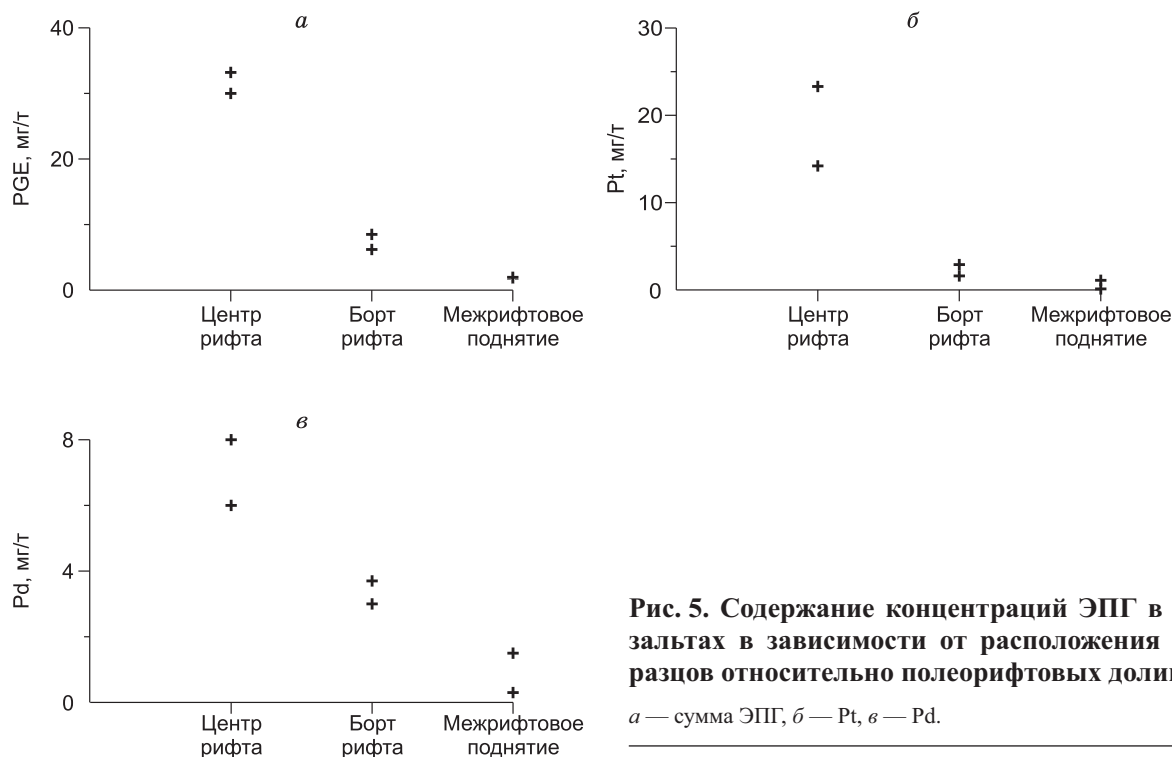
Рис. 4. Зависимость концентраций ЭПГ от содержания Cu и Ni в базальтах.

слабую положительную с железом, как показано на рис. 3. Это можно объяснить тем, что либо указанные элементы обладают большим сродством к железу, чем к магнию, либо небольшой степенью плавления мантийного субстрата. Для остальных ЭПГ такой зависимости не наблюдается. Во всех исследованных образцах не наблюдается какой-либо зависимости между ЭПГ и никелем, медью и серебром (рис. 4). Отмечена интересная зависимость между суммарным содержанием элементов платиновой группы и особенно платины и палладия с положением образцов относительно палеорифтовых долин. Так, в центральной части рифтов наблюдается резкое повышение концентрации элементов. По степени удаления от центра содержание суммы ЭПГ существенно уменьшается (рис. 5, а). Наиболее ярко это проявлено для Pt и Pd (см. рис. 5, б, в).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Платиноиды делятся на две группы: триада легких — рутений, родий, палладий и триада тяжелых — осмий, иридий, платина. Эти же элементы разделяются по степени плавления элементов, иридиевая (Ir, Os, Ru) с температурой плавления выше 2000 °С и платиновая (Pt, Pd, Rh) с температурой плавления ниже 2000 °С. ЭПГ обычно рассеяны в ультраосновных и основных породах, хотя насчитывается около 50 их минералов. Чаще всего это самородные формы Pt, Ir и Pd. Они образуют интерметаллические соединения с Fe, Cu, Ni, Sn, Au, Zn, Ag и, конечно, между собой. Все элементы платиновой группы практически не входят в кристаллическую решетку породообразующих минералов. Повышенные концентрации платиноидов отмечаются либо в сульфидах, либо в хромитах, где они находятся в виде интерметаллов или сульфидных включений. Попробуем рассмотреть сценарии концентрирования ЭПГ в базальтах Западной Сибири.

В случае невысокой степени плавления, что отмечается в данном случае, платиноиды не попадают в образующийся силикатный расплав. Невысокая степень плавления подтверждается отсутствием оливины в исследованных базальтах. Все изученные образцы являются кварц-нормативными. При вовлечении в зоны магнообразования вещества типичной субконтинентальной литосферы, содержащей серосодержащие фазы, что возможно в Западной Сибири, могут образовываться сульфиды, которые интенсивно экстрагируют ЭПГ из силикатного расплава. При этом коэффициенты распределения в системе сульфид-



**Рис. 5. Содержание концентраций ЭПГ в базальтах в зависимости от расположения образцов относительно полеорифтовых долин.**

*a* — сумма ЭПГ, *б* — Pt, *в* — Pd.

фидный—силикатный расплавы составляют значения нескольких тысяч [Fonseca et al., 2009]. Более тяжелая сульфидная жидкость должна скапливаться в мантийном рестите, тогда как формирующийся силикатный расплав будет обеднен ЭПГ. Отсутствие сульфидных минералов в наших породах могут указывать на возможность такого варианта. Аналогичный сценарий предложен нами ранее для серебра [Медведев, Альмухамедов, 2012].

Для случая с хромитами возможен другой путь. Обогащение хромитов элементами платиновой группы возможно двумя способами. Либо вхождение ЭПГ в кристаллическую решетку хромшпинелида, либо путем захвата наночастиц металлических сплавов ЭПГ растущими хромшпинелидами [Рябчиков, Когарко, 2012; Park et al., 2012]. Первый вариант маловероятен, так как коэффициенты распределения ЭПГ, например Ir и Ru, между силикатным расплавом и хромитом составляют величины около единицы даже в высокомагнезиальных расплавах [Brugman et al., 1987]. Второй вариант кажется более предпочтительным, хотя, как показывают экспериментальные исследования, образование металлических сплавов ЭПГ может происходить только при высоких температурах [Finnigan et al., 2008].

Как было показано выше, в изученных базальтах не отмечено как сульфидов, так и хромитов. Следовательно, рассмотренные выше варианты маловероятны для рассматриваемого нами случая. Поэтому можно предполагать, что исследуемые элементы находятся в рассеянном виде. Наши исследования показали, что во всех изученных типах пород концентрации платиноидов близки к кларковым содержаниям. Исключение составляют две пробы базальтов (платина). Как показано на рис. 5, отмечаются повышенные концентрации суммарного содержания ЭПГ, платины и палладия в породах, расположенных в центральной части рифта и уменьшение содержаний по мере удаления от нее. Минимальные концентрации этих элементов отмечены в пробах из межрифтовых поднятий. Вероятнее всего, это вызвано влиянием вещества плюма, проекция головки которого располагается именно под рифтовыми долинами [Добрецов, 1997; Добрецов, 2008]. Механизм взаимодействия плюма с вышележащими породами до конца неясен. Некоторые авторы предполагают, что при взаимодействии поднимающейся «плюмовой» магмы, обогащенной некоторыми элементами, в том числе и ЭПГ, с архейской литосферой происходит перенос данных элементов [Zhang et al., 2008; Begg et al., 2010].

С этой точки зрения находят объяснение повышенные содержания ЭПГ в рифтовых долинах, так как мощность коры здесь меньше, чем в межрифтовых поднятиях, и, вероятно, процесс привноса элементов проявлен сильнее.

Отсутствие зависимости между ЭПГ с медью, никелем и серебром может указывать на слабое влияние флюидов, так как, по данным А.А. Маракушева с соавторами [Маракушев и др., 2001], показано, что при флюидном переносе происходит разделение ЭПГ. Палладий вместе с Cu, Ag, Au концентрируется в более восстановительной обстановке, Pt с Ni — в менее восстановительной, а Ir, Os, Rh — в окислительной.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе приведены первые данные о содержании ЭПГ в пермотриасовых вулканитах Западной Сибири. Определено, что в большинстве исследованных пород изученные элементы находятся на кларковом уровне. Предположено, что повышенные концентрации суммы ЭПГ, платины, палладия связаны с воздействием вещества плюма. Магматический тренд распределения ЭПГ подтверждает сделанный ранее вывод о мантийном происхождении изученных пород [Медведев и др., 2003б].

Работа завершена при поддержке ГК № 16.515.12.507 и ИП СО РАН № 87.

## ЛИТЕРАТУРА

- Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Кирда Н.П., Батурина Т.П.** Триасовый вулканогенный комплекс Западной Сибири // ДАН, 1998, т. 362, № 3, с. 372—377.
- Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Кирда Н.П.** Риолиты — составляющая часть вулканогенно-осадочного комплекса Западно-Сибирской плиты // ДАН, 2000, т. 371, № 2, с. 200—203.
- Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Золотухин В.В.** Вещественная эволюция пермотриасовых базальтов Сибирской платформы во времени и пространстве // Петрология, 2004, т. 12, № 4, с. 339—353.
- Бебенина Т.С.** Петрохимический состав пермотриасовых базальтов в разрезе скважины СГ-6 // Научное бурение в России, 1996, вып. 12, с. 155—159.
- Власова В.Н., Сокольников Ю.В., Краснощекова Т.С., Меньшиков В.И., Ложкин В.И.** Определение металлов платиновой группы и золота в геологических материалах методом масс-спектрокопии с индукционно-связанной плазмой с отделением мешающих элементов катионно-обменной хроматографией // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды. Иркутск, 2007, т. 2, с. 212—214.
- Волченко Ю.А., Иванов К.С., Коротеев В.А., Оже Т.** Структурно-вещественная эволюция платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений уральского типа // Литосфера, 2007, № 3, с. 3—27.
- Дистлер В.В.** Платиновая минерализация Норильских месторождений // Геология и генезис платиновых металлов. М., Наука, 1994, с. 7—35.
- Дистлер В.В., Филимонова А.А., Гроховская Г.Л., Лапутина И.П.** Платиновые металлы в медно-никелевых рудах Печенгского рудного поля // Геология рудных месторождений, 1980, т. XXI, № 6, с. 3—18.
- Добрецов Н.Л.** Пермотриасовый магматизм в Евразии как отражение суперплюма // ДАН, 1997, т. 354, № 2, с. 220—223.
- Добрецов Н.Л.** Геологические следствия термохимической модели плюмов // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (7), с. 587—604.
- Добрецов Н.Л.** Глобальная геодинамическая эволюция Земли и глобальные геодинамические модели // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (6), с. 761—784.
- Журавлев Е.Г.** Трапповая формация Западно-Сибирской плиты // Изв. АН СССР, Сер. геолог., 1986, № 7, с. 26—32.
- Иванов А.В., Перепелов А.Б., Палесский С.В., Николаева И.В.** Первые данные по распределению элементов платиновой группы (Ir, Os, Ru, Pt, Pd) в островодужных базальтах Камчатки // ДАН, 2008, т. 420, № 1, с. 92—96.
- Изох А.Э., Поляков Г.В., Аношин Г.Н., Голованова Н.П.** Геохимия платиновых металлов, золота и серебра в Номгонском троктолит-анортозит-габбровом массиве (МНР) // Геохимия, 1991, № 10, с. 114—117.
- Изох А.Э., Вишневский А.В., Поляков Г.В., Калугин В.М., Оюунчимэг Т., Шелепаев Р.Н., Егорова В.В.** Урэгнурская платиноносная вулканоплутоническая пикрит-базальтовая ассоциация Монгольского Алтая — индикатор кембро-ордовикской крупной изверженной провинции // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (5), с. 665—681.
- Казанский А.Ю., Казанский Ю.П., Сараев С.В., Москвин В.И.** Граница перми и триаса в вулканогенно-осадочном разрезе Западно-Сибирской плиты по палеомагнитным данным (по материалам изучения ядра скважины Тюменской сверхглубокой скважины СГ-6) // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (3), с. 327—339.
- Маракушев А.А., Панях Н.А., Зотов И.А.** Специализация ультрабазитов и связанных с ними месторождений сульфидных руд на металлы группы платины // ДАН, 2001, т. 379, № 4, с. 537—543.
- Медведев А.Я., Альмухамедов А.И.** Геохимия серебра в пермотриасовых траппах Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (7), с. 876—882.

**Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Рейчов М.К., Сандерс А.Д., Вайт Р.В., Кирда Н.П.** Абсолютный возраст базальтов доюрского основания Западно-Сибирской плиты (по  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  данным) // Геология и геофизика, 2003а, т. 44 (6), с. 617—326.

**Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Кирда Н.П.** Геохимия пермотриасовых вулканитов Западной Сибири // Геология и геофизика, 2003б, т. 44 (1—2), с. 86—100.

**Наставко А.В., Бородина Е.В., Изох А.Э.** Петролого-минералогические особенности вулканитов центральной части Кузбасса (Южная Сибирь) // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (4), с. 435—449.

**Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири.** Вып. 2. Западно-Сибирский бассейн / А.Э. Конторович, В.С. Сурков, А.А. Трофимук, В.Е. Андрусевич, С.А. Афанасьев, Е.А. Гайдебурова, В.В. Гребенюк, В.П. Данилова, Н.П. Запывалов, И.А. Иванов, Ю.П. Казанский, Ю.Н. Карагодин, В.Н. Каштанов, В.А. Контарович, В.И. Краснов, М.А. Левчук, В.Н. Меленевский, В.И. Москвин, Л.В. Смирнов, В.С. Старосельцев, А.Н. Фомин, А.С. Фомичев. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1994, 201 с.

**Поляков Г.В., Изох А.Э., Кривенко А.П.** Платиноносные ультрамафит-мафитовые формации подвижных поясов Центральной и Юго-Восточной Азии // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (12), с. 1227—1242.

**Рябчиков И.Д., Когарко Л.Н.** Кислородный потенциал и геохимия платиноидов в ультраосновных-щелочных комплексах // Геология рудных месторождений, 2012, т. 34, № 4, с. 291—304.

**Сараев С.В., Батурина Т.П., Пономарчук В.А., Травин А.В.** Пермьтриасовые вулканиты Колтогорско-Уренгойского рифта Западно-Сибирской геосинеклизы // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (1), с. 4—20.

**Сараев С.В., Батурина Т.П., Травин А.В.** Петрология, седиментология, геохимия и абсолютный возраст осадочно-вулканогенных отложений триаса на юго-западе Западно-Сибирской геосинеклизы (Курганская область) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (8), с. 1107—1128.

**Симонов В.А., Ковязин С.В., Альмухамедов А.И., Медведев А.Я.** Петрогенез базальтовых серий подводного плато Онтонг-Джава-Науру // Петрология, 2004, т. 12, № 12, с. 191—205.

**Сурков В.С., Трофимук А.А., Жеро О.Г., Конторович А.Э., Смирнов Л.В.** Триасовая рифтовая система Западно-Сибирской плиты, ее влияние на структуру и нефтегазоносность платформенного мезозойско-кайнозойского чехла // Геология и геофизика, 1982 (8), с. 3—15.

**Сурков В.С., Казаков А.М., Девятков В.П., Смирнов Л.В.** Нижнесреднетриасовый рифтогенный комплекс Западно-Сибирского бассейна // Отечественная геология, 1997, № 3, с. 31—37.

**Толстых Н.Л., Телегин Ю.М., Козлов А.П.** Коренная платина Светлоборского и Каменушинского массивов платиноносного пояса Урала // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (6), с. 775—793.

**Barnes S.-J., Boyd R., Kornelinssen A., Nilsson L.-P., Often M., Pedersen R.B.** The use of mantle normalization and metal ratio in discrimination between the effect of partial melting, crystal fractionation and sulphide segregation on platinum-group elements, gold, nickel and copper: examples from Norway // Geo-Platinum Symposium Volume, London, 1987, p. 113—143.

**Barnes S.-J., Cox K.A., Zientek M.L.** Platinum-group element, gold, silver and base metal distribution in compositionally zoned Medvezhy Creek mine, Noril'sk, Russia // Contr. Miner. Petrol., 2006, v. 152, № 1, p. 187—200.

**Begg G.C., Hronsky J.A.M., Arndt T.N., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Hayward N.** Lithospheric, cratonic, and geodynamic setting of Ni-Cu-PGE sulfide deposits // Econ. Geol., 2010, v. 105, № 6, p. 1057—1070.

**Brugman G.E., Arndt N.T., Hofman A.W., Tobchall H.J.** Noble metal abundances in komatiite suites from Alexo, Ontario, and Gorgona Island, Columbia // Geochim. Cosmochim. Acta, 1987, v. 21, № 5, p. 2159—2169.

**Brugman G.E., Naldrett A.J., Asif M., Lightfoot P.C., Gorbachev N.S., Fedorenko V.A.** Siderophile and chalcophile metals as tracer of the evolution of Siberian Trap in the Noril'sk region, Russia // Geochim. Cosmochim. Acta, 1993, v. 57, № 8, p. 2001—2018.

**Chazey III W.J., Neal C.R.** Platinum-group element constraints on source composition and magma evolution of Kergelen plateau using basalts from ODP leg 183 // Geochim. Cosmochim. Acta, 2005, v. 69, № 12, p. 4685—4701.

**Crocket J.S.** Platinum-group elements in basalts from Maui, Hawai'i: low abundances in alkali basalts // Canad. Miner., 2002, v. 40, p. 595—609.

**Finnigan C.S., Brenan J.M., Mungallo J.E., McDonough W.F.** Experiments and model bearing on the role of chromite as collector of platinum group minerals by local reduction // J. Petrol., 2008, v. 49, № 9, p. 1647—1655.



**Fonseca R.O.C., Campbell I.H., O'Neill H.S.C., Allen C.M.** Solubility of Pt in sulphide mattes: implication for the genesis of PGE-rich horizons in layered intrusions // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2009, v. 73, p. 5764—5777.

**Lightfoot P.C., Naldrett A.J., Gorbachev N.S., Doherty W., Fedorenko V.A.** Geochemistry of the Siberian Trap of the Noril'sk area, USSR, with implication for the relative contributions of the crust and mantle to flood basalt magmatism // *Contr. Miner. Petrol.*, 1990, v. 104, p. 631—644.

**Naldrett A.J., Duke J.M.** Platinum metals in magmatic sulfide ores // *Science*, 1980, № 208, p. 1417—1424.

**Park J-W., Campbell I.H., Eggins S.M.** Enrichment of Rh, Ru, Ir and Os in Cr spinels from oxidized magmas: evidence from the Ambae volcano, Vanuatu // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2012, v. 78, № 1, p. 28—50.

**Philips H., Eckhardt J.-D., Puchelt H.** Platinum-group elements (PGE) in basalts of the seaward-dipping reflector sequence, SE Greenland Coast // *J. Petrol.*, 2001, v. 42, № 2, p. 407—432.

**Osin I.O., Crocet J.H.** Noble metals in the Therford Mines Ophiolites, Quebec, Canada, Part II; Distribution of gold, silver, iridium, platinum and palladium in the Lac de l'Est volcano-sedimentary section // *Econ. Geol.*, 1986, v. 81, № 4, p. 931—945.

**Sarah A.S., Sarah-Jean B., Hazel M.R.** The distribution of platinum group element (PGE) and other chalcophile elements among sulfides from the Creighton Ni-Cu-PGE sulfide deposit, Sudbary, Canada and origin of palladium in pentlandite // *Miner. Deposita*, 2010, v. 45, p. 765—793.

**Wolfgang D.M., Sarah-Jean B.** Platinum-group elements in the Bourder Bed, Western Bushveld Complex, South Africa // *Miner. Deposita*, 2003, v. 38, p. 370—380.

**Woodland S.J., Pearson D.G., Thirlwall M.F.** A platinum group element and Re-Os isotope investigation of siderophile element recycling in subduction zones: comparison of Grenada, Lesser Antilles Arc and Izu-Bonin Arc // *Earth Planet Sci. Lett.*, 2005, v. 235, № 3—4, p. 528—548.

**Zhang M., Mao J., Mahoney J.J., Wang F., Qu W.** Platinum group elements in the Emeishan large igneous province, SW China: implications for mantle sources // *Geochem. J.*, 2005, v. 39, p. 371—382.

**Zhang M., O'Reilly S.Y., Wang K-L., Hronsky J.A.M., Griffin W.L.** Flood basalts and metallogeny: the lithospheric mantle connection // *Earth Sci. Rev.*, 2008, v. 86, p. 145—174.

*Рекомендована к печати 26 декабря 2012 г.  
А.Э. Изохом*

*Поступила в редакцию 6 июня 2012 г.,  
после доработки — 21 декабря 2012 г.*