

# ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В БАЗАНИТАХ ЮЖНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ (ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ)

Медведев А. Я., Каримов А. А., Беляев В. А.

## Аннотация

Изучение поведения и распределения элементов платиновой группы (ЭПГ) в совокупности с другими данными использовать их для геодинамических построений. Для одного из крупных регионов России – Забайкалье – данные по ЭПГ практически отсутствуют. В настоящей работе приведены первые данные о содержании и поведению элементов платиновой группы в внутриплитных кайнозойских щелочных базальтоидах Южного Забайкалья. Суммарные содержания ЭПГ составляют от 20 до 40 ppb. Спектр распределения элементов платиновой группы изученных базанитов сопоставим со спектром основных пород ОИВ, в том числе Гавайских островов, и пород крупных изверженных провинций: толеитовых базальтов Сибирской платформы и базальтоидов Западно-Сибирской плиты. На основе сходства распределения ЭПГ и внутриплитного положения базанитов Южного Забайкалья сделан вывод о формировании базанитовых расплавов под действием мантийного плюма.

## Ключевые слова:

ЭПГ, Базаниты, Плюм, Южное Забайкалье, Щелочные базальтоиды

УДК 550.42 + 552.313

## **ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В БАЗАНИТАХ ЮЖНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ (ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ)**

**А. Я. Медведев, А. А. Каримов, В. А. Беляев**

*Федеральное бюджетное государственное учреждение науки Институт геохимии им. А.*

*П. Виноградова СО РАН, Иркутск*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Интерес к элементам платиновой группы (ЭПГ) обусловлен несколькими причинами. Во-первых, эти элементы являются стратегическим сырьем. Во-вторых, их изучение позволяет строить петрологические модели и идентифицировать источники вещества магматических комплексов. В последние годы, в связи с развитием более прецизионных аналитических методов, интерес к ним еще более возрос.

Естественно, что большая часть исследований посвящена рудоносным объектам [Sarah et al., 2010; Wolfgang, Sarah-Jean, 2003; Дистлер, 1994; Barnes et al., 2006; Толстых и др., 2011; Singh., Manikyamba, 2017 и др.]. Также приводятся содержания ЭПГ в породах различных ультрамафит-мафитовых комплексов [Поляков и др., 2006, Изох и др., 1991; 2010; Philips et al., 2001 и др.]. Есть сведения о содержании платиноидов в базальтах различных геодинамических обстановок [Crocket, 2002; Chezey, Neal, 2005; Woodland et al., 2005, Park et al., 2012 и др.], том числе и в островодужных базальтах Камчатки [Иванов и др., 2008; Савельев и др., 2018]. Кроме того, есть данные о платиноидах в породах крупных изверженных провинций [Изох и др., 2010; Zhang et al., 2005; Наставко и др., 2012, Колотилина и др. 2016, и др.]. В последние годы опубликованы сведения о содержании и поведении ЭПГ в ультраосновных и основных вулканитах крупнейших изверженных провинций: Сибирской платформы и Западной Сибири [Изох и др., 2016; Медведев, 2013]. Достаточно крупный регион России – Южное Забайкалье является практически не изученным в отношении поведения и распределения ЭПГ в щелочных

базальтоидах и вулканитах. В настоящей работе приведены первые данные о содержании и поведению элементов платиновой группы в этих породах позволяющие использовать их для геодинамического анализа.

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ОТБОРА ПРОБ

В позднем кайнозое на южном обрамлении Сибирского кратона широко проявился вулканизм, продукты которого образовали ряд различных по размеру и продолжительности формирования полей [Новейший вулканизм..., 2008]. Практически во всех районах распространения вулканитов отмечается несколько этапов магматической деятельности, в общей сложности от 34 млн. лет до исторического возраста [Ярмолук и др., 1998; 2003; 2011]. Общим для всех регионов является преобладание лав основного состава, бóльшая часть которых, относится к щелочному и субщелочному рядам. Основная часть проявлений кайнозойского вулканизма связана с рифтогенными структурами Байкальского рифта.

Одним из районов распространения кайнозойских вулканитов, не связанных с рифтогенезом, является южное Забайкалье. Щелочные базальтоиды кайнозойского возраста, содержащие большое количество мантийных и коровых ксенолитов, достаточно давно известны в южном Забайкалье на Дауро-Хэнтэйском хребте. Они распространены в виде небольших по площади и мощности потоков и покровов в верховьях рек Чикоя и Чикокона. Первые сведения о них появились в работе Костякова и др. [1969]. Нами исследованы вулканиты трех участков. Первый участок - Бороздинский гольц, вершина которого сложена плотными вулканитами серого и черного цвета. Второй и третий это небольшие покровы, расположенные в устьях рек Харчевка и Жарничиха, являющимися притоками р. Буркал. На этих участках в основании потоков залегают вулканиты

Рис.1  
,2

аналогичные породам Бороздинского гольца. Местоположение изученных объектов показано на рис.1, 2. Для изучения были отобраны образцы без видимых ксенолитов.

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП “Изотопно-геохимических исследований” ИГХ СО РАН. Петрогенные элементы определялись рентгенофлуоресцентным методом по методике, опубликованной в работе Амосовой и др., [2015] на волноводдисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре S8-Tiger (Bruker AXS, Германия). Калибровка рентгенофлуоресцентного анализа проведена по стандартным образцам СТ-1А (трапп, Россия) и JB-1 (базальт, Япония) [Финкельштейн и др., 1984]. Определение редких элементов производилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с открытым кислотным разложением на масс-спектрометре с магнитным сектором ELEMENT-2 (Finnigan MAT, Германия) с двойной фокусировкой. Методики опубликованы в работах [Мысовская и др., 2009, Сайбаталова и др., 2010]. Содержания элементов платиновой группы (Ru, Rh, Pd, Pt, Ir, Os) определялось методом ИСП-МС на масс-спектрометре высокого разрешения Element 2 (Finnigan MAT) с использованием открытого кислотного разложения и отделением матричных элементов на катионите КУ-2-8 по методике [Меньшиков и др., 2016]. Правильность определения концентраций и дрейф прибора контролировали по стандартным образцам Ж-3, РП-1 (Ru, Rh, Pd, Pt) и ЕСО-2 (Pd, Pt), а также Jp-1 (Япония), DZE-1 (Китай) – (Ru, Rh, Pd, Pt, Ir) [Меньшиков и др., 2016]. Значения пределов обнаружения, рассчитанные с учетом величины контрольного опыта и его стандартного отклонения (при переведении навески 1 г в 50 мл) составили нг/г: для Ru – 0,13, Rh – 0,09, Pd – 1,4, Os – 0,02, Ir – 0,09, Pt – 1,0. Относительные ошибки, полученные при измерении стандартов, не превышают 10%. Определение общей серы проведено по методике НСАМ № 3 “Определение общего содержания серы в горных породах и продуктов их переработки гравиметрическим методом”.

## ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ВУЛКАНИТОВ.

Вулканиды представлены как порфировыми, так и мелкозернистыми афировыми разностями. Порфировость пород вызвана включениями в большей степени зерен оливина, реже, клинопироксена. Афировые вулканиды сложены мелкими зернами оливина, табличками пироксена, табличками и тонкими лейстами плагиоклаза и мелкими зернами окиснородных минералов. В интерстициях отмечен калиевый полевой шпат, редко нефелин и отдельные зерна апатита. Во многих образцах присутствует остаточное стекло. Основная масса порфировых образцов такая же, как и в афировых разностях. Породы практически не затронуты вторичными изменениями. На это указывают низкие потери при прокаливании. По нашим данным все изученные вулканиды относятся к базанитам (рис.

Рис.3

3). Предварительно отметим, что в породах не обнаружены сульфидные минералы и отмечены только единичные зерна хромшпинелидов [Боролдоева, Медведев, 2018].

Таб.1

Данные о химическом составе приведены в таблице 1. Все породы являются низкокремнистыми (42-45 мас.%  $\text{SiO}_2$ ), высокомагниевые (11-16 мас.%  $\text{MgO}$ ). Повышенная магнезиальность вызвана присутствием порфировых вкрапленников оливина, как фенокристов, так и ксенокристов. Ксенокристы, по имеющимся данным, являются реликтами оливина глубинных включений с магнезиальностью  $\geq \text{Fo}_{90-91}$ . [Боролдоева, Медведев, 2018]. Исследованные породы высокощелочные, сумма щелочей составляет от 4.50 до 6.25 мас.%, при этом наблюдается превышение натрия над калием. Содержания общей серы очень низко, в большинстве случаев ниже предела обнаружения. Изученные базальтоиды имеют повышенные концентрации HFSE (Nb, Ta), PЗЭ. Значения индикаторных редкоэлементных отношений составляют ( $\text{Ba/Nb} - 5.71-7.30$ ;  $\text{Nb/Zr} - 0.29-0.33$ ), что хорошо соответствует таковым в базальтах океанических островов. График распределения PЗЭ подтверждает отнесение базанитов к породам OIB (рис.4).

Рис.4

## ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

Таб.2

Содержание элементов платиновой группы приведено в таблице 2. Суммы ЭПГ в изученных породах достаточно различаются от 20 до 40 ppb. Наблюдается невысокая

Рис.5

степень фракционирования ( $Pd/Ir = 0.21 - 4.1$ ) (рис. 5). На рисунке 6 показано

Рис.6

распределение ЭПГ в вулканитах, нормированное к хондриту C1 [Horan et al., 2003]. Все полученные данные отражают относительное обогащение Pt и Pd относительно Os, Ir, Rh и Ru. Почти для всех ЭПГ не наблюдается каких-либо значимых зависимостей от

Рис.7

содержания как петрогенных, так и редких элементов (рис. 7).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Элементы платиновой группы делятся на две триады – легкие платиноиды: рутений, родий, палладий и тяжелые – осмий, иридий, платина. Кроме того эти же элементы разделяются по степени плавления элементов, иридиевая (Ir, Os, Ru) с температурой плавления выше  $2000^{\circ}C$  и платиновая (Pt, Pd, Rh) с температурой плавления ниже  $2000^{\circ}C$ . Большею частью платиноиды рассеяны в ультраосновных и основных породах. Но при этом существует более 100 их минералов. Чаще всего они образуют интерметаллические соединения со многими металлами, в том числе и между собой. Известны твердые растворы платиноидов, такие как Os-Ir-Ru сплавы. Кроме того существуют арсениды, сульфоарсениды, сульфиды и теллуриды ЭПГ, а также висмутиды, антимониды, станниды, плюмбиды и др., в том числе многочисленные промежуточные соединения. Все элементы платиновой группы практически не входят в кристаллическую решетку породообразующих силикатных минералов. Повышенные концентрации платиноидов отмечаются либо в сульфидах, как включения интерметаллидов, или включений соединений ЭПГ с многими элементами. Также существуют сульфиды платины (куперит – PtS) и рутения (лаурит RuS, осмиевый лаурит  $(RuOs)_2S_2$ ). В хромитах тугоплавкие элементы ((Ir, Os, Ru) могут входить изоморфно, а платина в виде микроскопических включения.

Данные по содержаниям ЭПГ в базальтоидах различных геодинамических обстановок (см. рис. 4) показывают, что наименьшая концентрация отмечается в базальтах срединно-океанических хребтов (N-MORB), а наибольшая в породах OIB. При этом содержание платиноидов в толеитах OIB несколько выше [Irland et al., 2009], чем в щелочных базальтах океанических островов [Day et al., 2010]. Базальты островных дуг (IAB) занимают промежуточное положение [Иванов и др., 2008]. 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]. По данным исследования содержания ЭПГ в мантийных расплавах и мантийных породах, таких как гарцбургиты и лерцолиты, сделан вывод о сульфидном контроле как главном определяющем факторе содержания элементов платиновой группы в расплаве [Barnes et al., 2015, и др.]. Коэффициенты распределения ЭПГ между сульфидным и силикатным расплавом составляют  $10^5 - 10^6$ . [Mungall, Brenan, 2014]. Следовательно, что распределение элементов платиновой группы в магмах практически полностью контролируется содержанием их в сульфидах. Таким образом, можно заключить, что на ранних этапах магмогенеза элементы платиновой группы ведут себя как несовместимые с оливином и хромшпинелидом. В отсутствие фаз концентраторов, таких как сульфиды, что наблюдается в наших породах, небольшая часть ЭПГ рассеивается в силикатном расплаве в виде микропримесей сульфидов, так как содержание серы в наших вулканитах очень низкое (см. таб.1). Кроме того ЭПГ могут частично концентрироваться в окисно-рудных фазах, таких как магнетит или хромит. Следует заметить, что коэффициенты распределения расплав-минерал для платины в магнетите (3) и хромите (3.3) выше, чем таковые у палладия (1.1 для магнетита и 1.6 для хромита) [Carobianco et al., 1994, Puchtel, Humayun, 2001].

Степень накопления элементов платиновой группы в силикатном расплаве зависит от степени частичного плавления: до 20% частичного плавления мантии в рестите

сохраняются сульфиды, а после – они начинают переходить в расплав [Barnes et al., 2015]. Для щелочных базальтов Гавайских островов степень частичного плавления была определена по содержанию палладия и иридия [Barnes, Maier, 1999]. Изученные нами базаниты по петрогенному и редкоэлементному составу наиболее близки всего к щелочным базальтам Гавайских островов, поэтому можно использовать полученные данные [Barnes, Maier, 1999] для определения степени частичного плавления субстрата базанитов Южного Забайкалья. В этой же работе показано, что при генерировании толеитовых расплавов концентрация ЭПГ в них выше, чем в щелочно-базальтовых. Содержание Pd в базанитах меняется от 0.1 до 0.87 ppb, а иридия от 0.17 до 0.58 ppb (см. таб. 2), а отношение Pd/Ir составляет - 0.21 - 4.1 (рис. 5), что сопоставимо с базальтами Гавайских островов [Tatsumi et al., 1999]. Таким образом, можно заключить, что степень частичного плавления мантийного субстрата не превышала 8%. Нами была предпринята попытка рассмотреть концентрирование ЭПГ в исследованных базанитах. В случае невысокой степени плавления, что отмечается данным случае, только небольшая часть платиноидов попадает в образующийся силикатный расплав. В зону магмообразования возможно вовлечение типичной субконтинентальной литосферы, содержащей сульфиды. В связи с большими величинами коэффициентов распределения ЭПГ в системе сульфидный-силикатный расплавы, как было показано выше, сульфидные фазы экстрагируют платиноиды из силикатного расплава. Так как сульфидные минералы в базанитах не отмечены, такой вариант представляется маловероятным.

В случае присутствия окисно-рудной фазы ЭПГ может концентрироваться в хромшпинелидах, либо в магнетитах. Коэффициенты распределения для тугоплавких платиноидов, таких как Ru, Rh и Ir в хромшпинелидах составляет от 50 до 100 [Puchtel, Humaun, 2001]. Кроме того следует отметить, что бóльшая часть тугоплавких платиноидов при плавлении остается в рестите. Однако в связи с единичными зернами хромшпинели в изученных породах, этот минерал не вносит существенную роль в

содержании платиноидов. Можно предположить, что ЭПГ растворенные в силикатном расплаве в процессе кристаллизации концентрируются в титаномагнетите. При этом содержание платины в минерале выше, чем палладия, как это следует из коэффициентов распределения этих элементов [Carobianco et al., 1994, Puchtel, Humayun, 2001].

Полученные нами данные показывают, что концентрации платиноидов несколько выше, чем кларковые содержания для основных пород [Day, 2013]. Спектр распределения элементов платиновой группы изученных базанитов сопоставим с породами OIB и породами крупных изверженных провинций: толеитовыми базальтами Сибирской платформы и базальтоидами Западно-Сибирской плиты [Изох и др., 2016; Медведев, 2013]. Особенно близко содержание ЭПГ с таковым в щелочных базальтах Гавайских островов [Day et al., 2010]. Отличие состоит в пониженных концентрациях палладия (см. рис 4). Подобные спектры распределения платиноидов, с низкими содержаниями палладия, отмечены в вулканитах Онтонг Джава [Ely, Neal, 2003] и некоторых базальтах офиолитового комплекса Камчатки [Савельев и др., 2018]. Это объясняется тем, что при низких степенях плавления сульфидная фаза остается в субстрате и вместе с ней большая часть палладия также остается в субстрате. Кроме того, как показано выше платина предпочтительнее входит в титаномагнетит по сравнению с палладием.

Для базальтов Гавайских островов показана их связь с Гавайским плюмом [Portnyagin et. al., 2008; Day, 2013]. Также предполагается влияние вещества плюма на содержание платиноидов при формировании базальтов Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты в области головки плюма [Изох и др., 2016; Медведев, 2013]. Особенно четко это проявлено для базальтов Западной Сибири, в которых повышенные концентрации ЭПГ отмечены под центральными частями рифтовых зон, где плюм подходил наиболее близко к поверхности [Медведев, 2013; Добрецов, 1997; 2008]. Механизм взаимодействия плюма с вышележащими породами до конца не ясен. Полученные нами данные по поведению и распределению платиноидов и сравнение их с

данными по другим объектами позволяет утверждать, что формирование базанитовых расплавов происходило при воздействии плюмового вещества. Ранее для этих базанитов допускалась возможность формирования под действием мантийного диапира [Ащепков и др., 1996; Litasov, Tiniguchi, 2002].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены первые данные по содержанию элементов платиновой группы в базанитах Южного Забайкалья.

Концентрации ЭПГ соответствуют таковым в щелочных базальтах Гавайских островов, в толеитовых базальтах Сибирской платформы и базальтоидах Западно-Сибирской плиты.

Сделан вывод о влиянии вещества плюма при формировании базанитовых расплавов.

Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП “Изотопно-геохимических исследований” ИГХ СО РАН.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по проекту № 0350-2019-0008 и при финансовой поддержке гранта РФФИ 20-05-00116.

## ЛИТЕРАТУРА

**Амосова А.А., Пантеева С.В., Татаринов В.В., Чубаров В.М., Финкельштейн А.Л.** Рентгенофлуоресцентное определение основных породообразующих элементов из образцов массой 50 и 110 мг // Аналитика и контроль, 2015, т. 19, (2), с. 130-138.

**Ащепков И. В., Литасов Ю. Д., Литасов. К. Д.** Ксенолиты гранатовых перидотитов из меланонефелинитов хребта Хэнтей (Южное Забайкалье): свидетельство подъема мантийного диапира // Геология и геофизика, 1996, т. 37, (1), с. 130-147.

**Боролдоева В. В., Медведев А. Я.** Минералогия щелочных пикробазальтов хребта Хэнтей (Южное Забайкалье) // Известия Сибирского отделения. Секция наук о Земле

РАЕН. Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. 2018, т. 4, № 1, с. 66-78.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист М-49 – Петровск-Забайкальский. Объяснительная записка. - СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2006. 346 с.

**Дистлер В. В.** Платиновая минерализация Норильских месторождений // Геология и генезис платиновых металлов. М., Наука, 1994, с. 7-35.

**Добрецов Н. Л.** Пермотриасовый магматизм в Евразии как отражение суперплюма // Доклады РАН, 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.

**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 // Доклады РАН, 2008, т. 420, № 1, с. 92-96.

**Изох А. Э., Вишневский А. В., Поляков Г. В., Калугин В. М., Оюунчимег Г., Шелепаев Р. Н., Егорова В. В.** Урэгнурская платиноносная вулcano-плутоническая пикрит-базальтовая ассоциация Монгольского Алтая – индикатор кембро-ордовикской крупной изверженной провинции // Геология и геофизика, 2010, т. 51, № 5, с. 665-681.

**Изох А. Э., Медведев А. Я., Федосеев Г. С., Поляков Г. В., Николаева И. В., Палесский С. В.** Распределение элементов платиновой группы в пермотриасовых базальтах Сибирской крупной изверженной провинции // Геология и геофизика, 2016, т. 57, № 5, с. 1028-1042, DOI: [10.15372/GiG20160512](https://doi.org/10.15372/GiG20160512)

**Изох А. Э., Поляков Г. В., Аношин Г. Н., Голованова Н. П.** Геохимия платиновых металлов, золота и серебра в Номгонском троктолит-анаортозит-габбровом массиве (МНР) // Геохимия, 1991, № 10. с. 114-117.

**Колотилина Т.Б., Мехоношин А.С., Орсов Д.А.** Распределение элементов платиновой группы в сульфидных рудах ультрабазитовых массивов центральной части Восточного Саяна (юг Сибири, Россия) // Геология рудных месторождений, 2016, т. 58, № 1, с. 23-40.

**Костяков Н. П., Краснов В. П., Уфимцев Г. Ф., Янковский В. М.** Кайнозойские базальты юга центрального Забайкалья // Известия Забайкальского географического общества СССР. 1969, т. V, выпуск 1, с. 11-17.

**Медведев А. Я.** Элементы платиновой группы в пермотриасовых вулканитах Западной Сибири (первые данные)// Геология и геофизика, 2013, т. 54, № 7, с. 867-875.

**Меньшиков В. И., Власова В. Н., Ложкин В. И., Сокольникова Ю. В.** Определение элементов платиновой группы в горных породах методом ИСП-МС с внешней градуировкой после отделения матричных элементов на катионите КУ-2-8 // Аналитика и контроль, 2016, т. 20, № 3, с. 190-201.

**Мысовская И. Н., Смирнова Е. В., Ложкин В. И., Пахомова Н. Н.** Новые данные по определению редких и рассеянных элементов в геологических стандартных образцах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Заводская лаборатории. Диагностика материалов, 2009, № 10, с. 60-66.

**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.

Новейший вулканизм Северной Евразии: закономерности развития, вулканическая опасность, связь с глубинными процессами и изменениями природной среды и климата / Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. В 8 томах. Пред. ред. кол.: Лаверов Н.П. М.: ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН, 2008. т. 2. 280 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.

**Сайбаталова Е. В., Куликова Н. Н., Сутурин А. Н., Парадина Л. Ф., Пахомова Н. Н., Воднева Е. Н., Семитуркина Н. А.** Влияние способов пробоподготовки на результаты определения элементного состава пресноводных губок методом ИСП-МС // Журнал аналитической химии, 2010, т. 65, № 7, с. 691-698.

**Савельев Д. П., Палесский С. В., Портнягин М. В.** Элементы платиновой группы в базальтах офиолитового комплекса п-ва Камчатский мыс (Восточная Камчатка): источники вещества // Геология и геофизика. 2018, т. 59, № 12, с. 1997-2010.

**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.

**Финкельштейн А. Л., Гуничева Т. Н., Афонин В.П.** Учет матричных эффектов методом альфа-коррекции при рентгенофлуоресцентном анализе / Журнал аналитической химии, 1984, т. 39 (3), с. 397 – 404.

**Ярмолюк В. В., Иванов В. Г., Коваленко В. И.** Источники внутриплитного магматизма Западного Забайкалья в позднем мезозое-кайнозое (на основе геохимических и изотопных данных) // Петрология, 1998, т. 6, № 2, с. 115-139.

**Ярмолюк В. В., Иванов В. Г., Коваленко В. И., Покровский Б. Г.** Магматизм и геодинамика Южно-Байкальской вулканической области (горячей точки мантии) по результатам геохронологических, геохимических и изотопных (Sr, Nd, O) исследований // Петрология, 2003, т. 11, № 1, с. 3-34.

**Ярмолюк В. В., Кудряшова Е. А., Козловский А. М., Саватенков В. М.** Позднекайнозойская вулканическая провинция Центральной и Восточной Азии // Петрология, 2011, т. 19, № 4, с. 341-362.

**Barnes S.-J., Cox K. A., Zientek M. L.** Platinum-group element, gold, silver and basemetal distribution in compositionally zoned Medvezky Creek mine, Noril'sk, Russia // Contribution to Mineralogy to Petrology, 2006, v. 152, № 1, p. 187-200.

**Barnes S.-J., Maier W. D.** The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulphide liquids. In Dynamic Processes in Magmatic Ore Deposits and their Application to Mineral Exploration (R. R. Keays, C. M. Lesher, P. C. Lightfoot, C. E. G. Farrow, eds.). Geol. Assoc. Can., Short Course Notes. 1999, v. 13, p. 69-106.

**Barnes S.-J., Mungall J. E., Maier W. D.** Platinum group elements in mantle melts and mantle samples// Lithos, 2015, v. 232, p. 395-417.

**Bezos A., Lorand J.-P., Humler E., M. Gros.** Platinum-group element systematics in Mid-Oceanic Ridge basaltic glasses from the Pacific, Atlantic, and Indian Oceans // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2005, V. 69, No. 10, p. 2613-2627,

**Capobianco C. J., Hervig R.L., Drake M.J.** Experiments on crystal/liquid partitioning of Ru, Rh and Pd for magnetite and hematite solid solutions crystallized from silicate melt. //Chemical. Geology, 1994, v. 113, p. 23-43/

**Chezey 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 // Geochimica et Cosmochimica 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 // Canadian Mineralogist, 2002, v. 40, p. 595-609.

**Day J. M. D.** Hotspot volcanism and highly siderophile elements // 2013, Chemical Geology, v. 341, p. 50-74.

**Day J. M. D., Pearson D. C., Macpherson C. G., Lowry D., Carracedo Y.-C.** Evidence for distinct proportion of subducted oceanic crust and lithosphere in HIMU-type mantle beneath El Hierro and La Palma, Canar Island // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2010, v. 74, p. 6565-6589.

**Ely J. C., Neal C. R.** Using platinum-group elements to investigate the origin of the Ontong Java Plateau, SW Pacific // *Chemical Geology*, 2003, v. 196, p. 235-257.

**Irland T. J., Walker P. J., Garcia M. O.** Siderophile elements and  $^{187}\text{O}$  isotope systematics of Hawaiian picrites: implication for parental melt composition and source heterogeneity // *Chemical Geology*, 2009, v. 260, p. 112-128.

**Horan M. F., Walker R. J., Morgan Grossman J. N., Rubin A. E.** Highly siderophile elements in chondrites// *Chemical Geology*, 2003, v. 196, p. 5-20.

**Le Bas M.J., Lemaitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. A.** Chemical Classification of Volcanic-Rocks Based on the Total Alkali Silica Diagram // *Journal of Petrology*, 1986, v 27, № 3, p. 745-750.

**Litasov K., Tiniguchi H.** Mantle evolution beneath the Baikal rift // *CHEAS Monograph Series* 5, 2002, 221 p.

**Mungall J. E., Brenan J. M.** Partitioning of platinum-group elements and Au between sulfide liquid and basalt and origin of mantle-crust fractionation of chalcophile elements // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2014, v. 125, p. 265-289.

**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 // *Geochimica et Cosmochimica 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 // *Journal of Petrology*, 2001, v. 42, № 2, p. 407-432.

**Portnyagin M., Savelyev D., Hoernle K., Garbe-Schönberg D.** Mid-Cretaceous Hawaiian tholeiites in Kamchatka//*Geology*, 2008, v. 36, p. 903-906.

**Puchtel I.S., Humayun M.,** 2001. Platinum group element fractionation in a komatiitic basalt lava lake // *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 65, p. 2979– 2993.

**Tatsumi Y., Oguri K., Shimoda G.** The behavior of platinum-group elements during magmatic differentiation in Hawaiian tholeiites // *Geochemical Journal*, 1999, v. 33, p. 237-247.

**Sun S.-S., McDonough W. F.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes // *Magmatism in the ocean basins*. Geol. Soc. Special Publ. № 2, Blackwell Scientific Publications, 1989, p. 313 – 346.

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

**Singh T., Manikyamba C.** Platinum group element geochemistry and whole-rock systematics of the Vempalle sills, Cuddapah Basin, India: Implications on sulphur saturation history, mantle processes, and tectonic setting // 2017, *Geological Journal*, DOI: 10.1002/gj.3459

**Wolfgang D. M., Sarah-Jean B.** Platinum-group elements in the Bourder Bed, Western Bushveld Complex, South Africa // *Mineral 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, Laser Antilles Arc and Izu-Bonin Arc // *Earth and Planetary Science Letters*, 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 // *Geochemical Journal*, 2005, v. 39, p. 371-382.

**Zorin Y.A., Novoselova M.R., Turutanov E.K., Kozhevnikov V.M.** Structure of the lithosphere of the Mongolian-Siberian mountainous province // *Journal of Geodynamics*, 1990, v. 11, p. 327-342.

**Zorin Y.A., Rogozhina V.A.** Mechanism of rifting and some features of the deep-seated structure of the Baikal rift zone // *Tectonophysics*, 1978, v. 1, p. 23-30.

## Подписи к рисункам

**Рис. 1.** Положение кайнозойских вулканитов в Байкало-Монгольском регионе [Litasov, Taniguchi, 2002]. 1 – кайнозойские вулканические породы, 2 – кайнозойские осадочные бассейны и впадины, 3 – мощность литосферы в км, по [Zorin et al., 1990], 4 – граница Сибирского кратона, 5 – граница распространения аномальной низкоскоростной мантии [Zorin, Rogozhina, 1978]. Расположение щелочных базальтоидов Дауро-Хэнтэйского хребта отмечено прямоугольником.

**Рис. 2.** Геологическая карта района распространения кайнозойских щелочных базальтов Дауро-Хэнтэйского хребта. Фрагмент Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1: 1000000, лист М-49 [Государственная геологическая ..., 2006], с упрощениями и дополнениями. 1 – позднекайнозойские щелочные базальты, 2 – четвертичные флювиогляциальные отложения, 3 – каменноугольные отложения ингодинской серии, 4 – гранитоиды малханского комплекса ( $PZ_1$ ), 5 – гранитоиды даурского комплекса ( $P_1$ ), 6 – гранитоиды кыринского комплекса ( $J_{1-2}$ ), 7 – гранитоиды асакан-шумиловского комплекса ( $J_{2-3}$ ). Цифрами обозначены выходы кайнозойских щелочных базальтоидов: 1 – Бороздинский гольц, 2 – Харчевка, 3 – Жарничиха.

**Рис.3.** Диаграмма щелочность-кремнекислотность [Le Bas et al., 1986] для исследованных вулканитов Южного Забайкалья. 1 – Бороздинский гольц, 2 – Харчевка, 3 – Жарничиха.

**Рис.4.** График распределения РЗЭ в вулканитах, нормированное к хондриту C1 - 1-OIB [Sun, McDonough, 1989]; 2 - базаниты Южного Забайкалья, наши данные, C1 - [Hogan et al., 2003].

**Рис. 5.** Зависимость содержания Ir от концентрации Pd.

**Рис. 6.** Распределение ЭПГ в вулканитах, нормированное к хондриту C1 [Hogan et al., 2003]. 1 – базаниты Южного Забайкалья, наши данные, 2 - толеитовые базальты Сибирской платформы [Изох и др., 2016]; 3 - базальтоиды Западно-Сибирской плиты [Медведев, 2013]; 4- MORB [Day, 2013; Bezos et al., 2005]; 5 – IAB [Иванов и др., 2008]; 6 - щелочные базальты Гавайских островов [Day et al., 2010]; 7 - толеиты Гавайских островов [Irland et al., 2009];

**Рис. 7.** Зависимость концентраций Pt от содержания Ni (А) и MgO (Б).

**Таблица 1. Химический (мас.%), редкоземельный (ppm) составы базанитов**

№ обр.	101	106-2	106-3	106-9	106-11	110	111	114	118
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	44.26	44.10	45.12	42.16	44.03	42.14	42.22	42.93	42.36
TiO <sub>2</sub>	2.88	3.27	2.79	3.10	3.09	2.49	2.47	2.57	2.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.46	11.71	11.46	12.43	11.56	10.48	10.30	10.71	10.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	13.30	13.46	12.92	14.04	13.20	13.51	13.87	13.93	13.74
MnO	0.17	0.16	0.16	0.18	0.16	0.18	0.18	0.19	0.19
MgO	11.13	12.55	12.16	10.57	12.14	16.04	15.76	14.53	15.72
CaO	8.80	8.32	8.33	10.42	8.14	9.06	9.62	9.68	9.16
Na <sub>2</sub> O	3.26	3.51	3.42	3.86	3.44	3.66	3.41	3.67	3.67
K <sub>2</sub> O	2.34	2.50	2.48	2.38	2.70	1.80	1.78	1.91	1.83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.68	0.76	0.67	0.80	0.75	0.87	0.83	0.82	0.86
Ппп	1.53	0.11	0.31	0.15	0.13	0.20	0.32	0.01	0.07
S <sub>общ.</sub>	<0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
Сумма	100.82	100.48	99.85	100.11	100.57	100.23	100.76	100.95	100.81
Sc	19	16	17	17	16	19	18	19	19
V	189	228	229	207	194	180	189	191	182
Cr	323	334	370	149	290	627	609	477	561
Co	55	68	67	57	61	66	65	64	65
Ni	269	375	387	165	397	547	519	454	514
Rb	46	67	76	53	75	40	40	42	39
Sr	834	942	863	1082	995	993	963	977	963
Y	26	24	24	28	26	29	29	29	29
Zr	235	257	246	310	274	265	254	265	262
Nb	70	88	78	97	95	85	83	81	87
Ba	514	610	596	669	674	526	513	549	519
La	43	42	43	61	50	56	53	56	54
Ce	87	83	80	117	92	111	101	106	112
Pr	9.45	9.90	9.60	13.22	11.00	12.25	11.74	12.18	11.85
Nd	39	40	38	52	44	48	47	48	46
Sm	7.99	8.40	8.00	10.37	9.10	9.91	9.77	9.81	9.56
Eu	2.74	2.49	2.41	3.54	2.70	3.26	3.19	3.19	3.03
Gd	8.11	8.80	8.50	9.29	9.60	9.49	8.81	9.18	9.54
Tb	1.05	1.04	0.92	1.25	1.02	1.30	1.27	1.28	1.22
Dy	5.65	5.20	5.20	6.49	5.80	6.46	6.52	6.84	6.24
Ho	0.96	0.87	0.89	1.09	0.95	1.14	1.10	1.13	1.13
Er	2.37	2.12	2.13	2.49	2.22	2.73	2.63	2.76	2.76
Tm	0.28	0.22	0.25	0.29	0.25	0.32	0.31	0.32	0.31
Yb	1.67	1.36	1.41	1.54	1.41	1.83	1.68	1.68	1.83
Lu	0.21	0.17	0.19	0.21	0.19	0.23	0.22	0.23	0.23
Ta	3.98	5.70	5.30	5.80	6.30	4.87	4.63	4.97	4.80
Hf	5.30	5.40	5.50	6.78	6.20	5.61	5.65	5.91	5.49
Pb	2.88	4.57	4.57	3.41	4.25	2.82	2.90	2.78	2.85
Th	6.12	7.10	7.30	8.97	8.00	7.75	7.52	7.72	7.72
U	1.41	1.64	1.93	2.03	1.85	1.82	1.80	1.79	1.79

Таблица 1. Окончание.

№ обр.	119	14-12	14-06	14-11-2	14-24	14-B
№ п/п	10	11	12	13	14	15
SiO <sub>2</sub>	42.62	44.84	43.90	44.84	44.37	43.96
TiO <sub>2</sub>	2.57	2.12	2.76	2.42	2.11	2.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.99	11.86	11.98	11.86	11.55	12.04

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	13.61	12.25	11.39	11.28	12.62	11.47
MnO	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18
MgO	15.34	14.02	13.56	14.02	14.63	12.84
CaO	9.13	9.32	9.83	9.32	9.51	9.81
Na <sub>2</sub> O	3.83	3.54	3.72	3.54	3.21	3.79
K <sub>2</sub> O	2.00	1.44	1.40	1.44	1.33	1.67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.90	0.61	0.76	0.61	0.65	0.65
ППП	0.12	0.24	0.26	0.24	0.16	0.25
S <sub>общ.</sub>	<0.02	0.02	<0.02	<0.02	0.02	<0.02
Сумма	101.29	100.45	99.75	99.76	100.35	99.23
Sc	17	26	27	26	27	25
V	169	218	225	218	224	228
Cr	519	1369	958	1022	979	729
Co	61	67	68	67	70	64
Ni	475	674	538	490	615	484
Rb	40	30	26	32	27	32
Sr	994	756	828	685	806	799
Y	29	27	32	29	30	29
Zr	255	210	238	210	197	217
Nb	80	65	78	65	64	71
Ba	561	443	441	412	441	479
La	56	32	47	39	41	41
Ce	110	76	95	77	82	77
Pr	12.20	8.70	10.50	8.70	9.30	8.80
Nd	49	36	43	36	37	35
Sm	9.86	7.30	8.80	7.30	8.00	7.80
Eu	3.33	2.57	2.99	2.57	2.62	2.63
Gd	9.34	7.70	8.30	7.70	7.50	7.90
Tb	1.25	1.08	1.06	0.96	1.11	0.98
Dy	6.60	6.20	6.50	6.20	6.30	6.30
Ho	1.14	1.13	1.19	1.13	1.20	1.11
Er	2.54	1.89	3.08	2.89	3.23	2.85
Tm	0.32	0.37	0.38	0.37	0.39	0.35
Yb	1.67	1.98	2.09	2.14	2.23	2.12
Lu	0.22	0.28	0.30	0.28	0.30	0.26
Ta	5.02	3.59	4.30	3.59	3.48	3.75
Hf	5.78	3.93	6.81	3.93	3.85	4.06
Pb	2.80	2.84	2.86	2.84	3.09	2.29
Th	8.01	5.10	5.21	4.88	5.30	5.07
U	1.85	1.32	1.52	1.33	1.36	1.38

Примечание. Аналитики: Ложкин В. И., Пахомова Н. Н., Финкельштейн А. Л. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*-железо общее. Пробы 1-5 – р. Жарничиха, 6-10 – р Харчевка, 11-15 – Бороздинский голец.

**Таблица 2.** Содержание элементов группы платины (ppb) в базанитах Южного Забайкалья

№ обр	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	∑ЭПГ
101	0.66	0.19	0.27	2.03	0.54	16.61	20.30
106-2	0.58	0.19	0.63	1.14	0.58	36.68	39.80
106-3	0.68	0.16	0.71	0.87	0.48	34.12	37.02
106-9	0.32	0.19	0.87	0.46	0.21	19.30	21.35
106-11	0.48	0.11	0.40	0.78	0.37	34.47	36.61
110	0.69	0.19	0.30	0.56	0.32	21.02	23.08
111	0.69	0.15	0.26	0.49	0.44	34.46	36.49
114	0.67	0.27	0.19	0.39	0.29	33.06	34.87
118	0.88	0.16	0.15	0.33	0.25	37.41	39.18
119	0.86	0.12	0.10	0.35	0.22	30.38	32.03
14-12	0.70	0.28	0.10	0.24	0.47	31.66	33.45
14-06	0.69	0.25	0.17	0.43	0.43	21.27	23.24
14-11-2	0.47	0.21	0.19	0.24	0.24	20.05	21.40
14-24	0.42	0.24	0.23	0.26	0.26	20.55	21.96
14-B	0.51	0.18	0.25	0.28	0.28	20.47	21.97

Аналитики: Меньшиков В. И., Власова В. Н., Ложкин В. И., Сокольникова Ю. В.













