

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 552.3

УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ  
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ДОКЕМБРИЙСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ  
(южное обрамление Сибирского кратона): возраст, особенности состава,  
происхождения и рудоносности

Г.В. Поляков<sup>1</sup>, Н.Д. Толстых<sup>1</sup>, А.С. Мехоношин<sup>2,3</sup>, А.Э. Изох<sup>1,5</sup>,  
М.Ю. Подлипский<sup>1</sup>, Д.А. Орсов<sup>4</sup>, Т.Б. Колотилина<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

<sup>2</sup> Институт геохимии им. В.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А, Россия

<sup>3</sup> Иркутский государственный технический университет, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

<sup>4</sup> Геологический институт СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, ба, Россия

<sup>5</sup> Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

На основании новых данных о возрасте и минералого-геохимических особенностях ультрамафит-мафитовых комплексов докембрийских структур южного обрамления Сибирской платформы выделяется Восточно-Сибирская металлогеническая (ЭПГ-Cu-Ni) провинция, включающая Енисейский кряж, Канский докембрийский выступ, Алхадырский террейн с прилегающими структурами Бирюсинского блока и Северное Прибайкалье (Йоко-Довыренский и другие массивы Байкало-Патомского прогиба). Установлено, что U-Pb и Ar-Ar возраст рудоносных комплексов, принадлежащих к дунит-перидотит-пироксенит-габбровой формации, отвечает в этих районах позднему рифею (728—710 млн лет). Минералого-геохимическое сходство рудоносных комплексов различных ареалов свидетельствует о генетической их общности. Исходные расплавы во всех случаях были близки к пикритам. Расчетные данные, а также обогащенность пород и руд ЭПГ указывают на высокие степени плавления мантийного источника, что согласуется с плюмовой моделью формирования рудно-магматической системы. Выделенная провинция по характеру магматизма и времени его проявления сопоставляется с Франклинской LIP на севере Канады. Она относится к числу весьма перспективных рудных районов Восточной Сибири.

ЭПГ-Cu-Ni месторождения, дунит-перидотит-пироксенит-габбровая формация, поздний рифей, минералогия, геохимия, ЭПГ-Cu-Ni металлогения, пикритовидные исходные расплавы, Восточно-Сибирская провинция.

ULTRAMAFIC-MAFIC IGNEOUS COMPLEXES OF THE PRECAMBRIAN EAST SIBERIAN  
METALLOGENIC PROVINCE (southern framing of the Siberian craton):  
AGE, COMPOSITION, ORIGIN, AND ORE POTENTIAL

G.V. Polyakov, N.D. Tolstykh, A.S. Mekhonoshin, A.E. Izokh, M.Yu. Podlipskii, D.A. Orsoev, and T.B. Kolotilina

Based on new data on the age, mineralogy, and geochemistry of ultramafic-mafic complexes in the Precambrian structures of the southern periphery of the Siberian Platform, the East Siberian metallogenic (PGE-Cu-Ni) province is recognized. It includes the Yenisei Ridge, Precambrian Kan uplift, Alkhadyr terrane with the adjacent structures of the Biryusa block, and northern Baikal region (Yoko-Dovyren and other massifs of the Baikal-Patom basin). We have established that the U-Pb and Ar-Ar ages of ore-bearing complexes of dunite-peridotite-pyroxenite-gabbro association correspond to the Late Riphean (728–710 Ma). The mineralogical and geochemical similarity of ore-bearing complexes in different areas testifies to their genetic entity. All parental melts were similar in composition to picrites. The calculation results and the PGE enrichment of rocks and ores show high degrees of melting of the mantle source, which agrees with the plume model of formation of the ore-magmatic system. The recognized province is similar in the type of magmatism and time of its occurrence to the Franklin LIP in northern Canada. It is one of the highly promising ore districts of East Siberia.

PGE-Cu-Ni deposits, dunite-peridotite-pyroxenite-gabbro association, Late Riphean, mineralogy, PGE-Cu-Ni geochemistry, metallogeny, parental picrite melts, East Siberian province

## ВВЕДЕНИЕ

Исследованиями последнего десятилетия в докембрийских структурах южного обрамления Сибирского кратона выделена и активно изучается Восточно-Сибирская металлогеническая провинция (ВСП) с многочисленными, в том числе промышленными, платинометалльно-медно-никелевыми месторождениями и рудопроявлениями, связанными с ультрамафит-мафитовыми магматическими комплексами докембрийского возраста [Глазунов и др., 2003; Гертнер и др., 2005; Поляков и др., 2006; Мехоношин и др., 2011]. В нее (рис. 1) входят Енисейский кряж и месторождения Кингашской группы (Канский супертеррейн) — на западе, месторождения Барбитайского и Гутаро-Удинского рудных узлов (Алхадырский террейн (по [Мехоношин и др., 2012]) — на востоке. В последнее время появились основания для включения в эту провинцию месторождений Йоко-Довыренской группы (Байкало-Патомский перикратонный прогиб), расположенных еще восточнее и также связанных с докембрийскими ультрамафит-мафитовыми комплексами [Поляков, Изох, 2011; Polyakov et al., 2011; Ernst et al., 2012; Юричев и др., 2013].

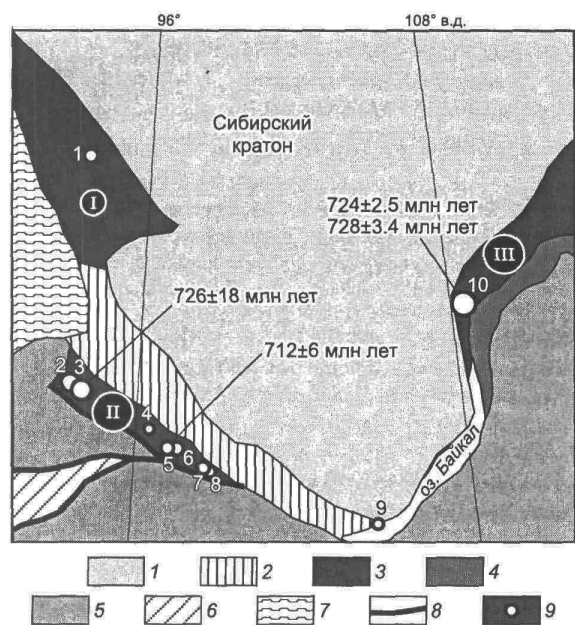
Несмотря на многолетнее изучение рудоносных комплексов отдельных рудных районов ВСП, вопросы их генезиса и взаимосвязи в масштабах всей провинции остаются пока во многом еще нерешенными. Это обусловлено в основном двумя обстоятельствами. Во-первых, недостаточными сведениями об их радиологическом возрасте, что, в свою очередь, сопряжено с особенностями состава и высокой степенью метаморфизованности пород этих комплексов. Во-вторых, неодинаковой и в общем еще далеко не полной петрологической и минералого-геохимической изученностью этих образований, а также отсутствием сопоставимых моделей их формирования. Имеющиеся же модели, построенные для отдельных массивов (Йоко-Довыренский), затруднительно использовать для решения общей задачи в рамках всей провинции в силу недостатка данных о возрасте и, соответственно, генетической общности территориально весьма разрозненных рудно-магматических систем.

К настоящему времени получены новые геохронологические и минералого-геохимические данные, позволяющие провести корреляцию рудоносных комплексов различных ареалов. В статье сопоставляются рудопродуктивные комплексы всех составных частей ВСП, рассматриваются их возрастные соотношения, минералого-геохимические и генетические особенности.

## ВОЗРАСТ РУДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВСП

Геологические данные о возрасте рудоносных ультрамафит-мафитовых комплексов Восточно-Сибирской провинции весьма фрагментарны и до недавнего времени были явно недостаточны для возрастной их корреляции. Крайне не хватало и надежных радиологических определений. Имеющиеся датировки характеризовались большим разбросом возрастных оценок и их несогласованностью как между собой, так и с геологическими данными. Для расположенной в западной части провинции (Канский блок) Кингашской группы ЭПГ-Cu-Ni месторождений, с которой начиналось изучение Саянской зоны ВСП, возраст рудоносных дунит-перидотит-пироксенит-габбровых массивов первоначально был

оценен на основании геологических данных как протерозойский, достигающий 2.1 млрд лет [Глазунов и др., 2003]. В последующем время формирования Кингашской рудно-магматической системы



**Рис. 1.** Схема размещения рудоносных комплексов Восточно-Сибирской металлогенической провинции.

1 — континенты и микроконтиненты; 2 — выходы докембрийского фундамента Сибирского кратона; 3—7 — складчатые области: 3 — рифейские; 4 — рифей-вендские; 5 — раннекаледонские; 6 — позднекаледонские; 7 — чехол Западно-Сибирской плиты; 8 — сутурные зоны; 9 — ультрамафит-мафитовые массивы, содержащие ЭПГ-Cu-Ni месторождения и рудопроявлениями: 1 — Шумихинский; 2 — Кингашский; 3 — Верхнекингашский; 4 — Голумбейский; 5 — Тартайский; 6 — Огнитский; 7 — Желос; 8 — Токты-Ой; 9 — Малозадовский; 10 — Йоко-Довыренский.

I — Енисейский кряж, II — Саянская зона (Канский и Алхадырский террейны), III — Байкало-Патомский перикратонный прогиб.

оценивается тем же автором [Глазунов, Радомская, 2010] в 1460—1410 млн лет. В коллективной публикации [Гертнер и др., 2005] в становлении Кингашского массива выделено три значительно разделенных по времени этапа: (1) раннерифейские ( $1410 \pm 49$  млн лет) ультраосновные интрузии, с которыми О.М. Глазунов связывает главное оруденение; (2) позднерифейские ( $874 \pm 70$  млн лет и  $873 \pm 38$  млн лет) габброидные интрузии; и (3) значительно более поздний раннепалеозойский этап ( $491 \pm 45$  млн лет), близкий по времени к позднеордовикскому метаморфизму и внедрению раннепалеозойских гранитоидов (500—480 млн лет).

Приближенные оценки возраста опубликованы в эти же годы для метаморфических и магматических комплексов Гутаро-Удинского и Барбитайского рудных районов средней части ВСП [Мехоношин, Колотилина, 2006]. Согласно этим данным, Ar-Ar возраст метаморфизма, наложенного на породы рудоносного дунит-перидотит-пироксенитового комплекса Алхадырского террейна, составляет 600 млн лет, а еще более поздних гранитоидов — 450 млн лет. Тем самым определена, притом лишь приблизительно, верхняя возрастная граница рудопродуктивного магматизма этого района.

Более согласующиеся между собой датировки получены при изучении рудоносного ультрабазит-базитового комплекса Байкало-Патомского перикратонного прогиба на восточном фланге ВСП. Этот комплекс представлен хорошо изученным Йоко-Довыренским и другими расслоенными плутонами Северного Прибайкалья, принадлежащими к дунит-перидотит-троктолит-габбровой формации. Они приурочены к Сыннырско-Патомской рифтогенной структуре и связаны с выполняющими ее рифейскими пикробазальтами и базанитами сыннырской и иняйтукской свит. В нижней, существенно ультрабазитовой части Йоко-Довыренского плутона установлена сульфидная Cu-Ni минерализация, а в средней, преимущественно габброидной, — малосульфидные платинометалльные рудопроявления. Оценки радиологического возраста комплекса варьируют в интервале 740—700 млн лет, в частности, уран-свинцовые датировки вулканических пород сыннырской и иняйтукской свит составляют  $700 \pm 20$  млн лет [Неймарк и др., 1991]. Близкие значения характерны и для пород Йоко-Довыренского массива: —  $700 \pm 35$  млн лет, Sm-Nd метод [Неймарк и др., 1989] и  $740 \pm 35$  млн лет, Rb-Sr метод [Кислов и др., 1989]. Сопоставление ранее полученных радиологических датировок по рудоносным комплексам Восточно-Сибирской провинции в целом свидетельствует о широком диапазоне их значений и трудностях корреляции. В связи с этим особого внимания заслуживают недавно полученные геохронологические данные по всем трем главным районам их проявления.

Для Тартайского массива рудоносного комплекса Алхадырского террейна средней части ВСП нами получен U-Pb возраст SHRIMP методом по цирконам из слабо измененного оливинового меланогаббро. Исследованы несколько зерен циркона, по которым рассчитана конкордия, отвечающая 712 млн лет, что соответствует позднему рифею (рис. 2). Исследованные цирконы характеризуются Th/U отношением (0.9—1.9), свойственным для базитовых систем. По отдельным точкам зональных зерен цирконов получены более молодые датировки (670—630 млн лет), отвечающие времени более позднего наложенного метаморфизма. Такой возраст получен Ar-Ar методом и по биотиту из перидотитов, подверженных наложенному метаморфизму примерно того же времени.

По последним сведениям [Ernst et al., 2012] близкие, позднерифейские датировки получены для габброидов Верхнекинашского (Канский блок) и Йоко-Довыренского (Байкало-Патомский прогиб) плутонов, представляющих рудоносные комплексы, соответственно западного и восточного флангов Восточно-Сибирской провинции. В том и другом ареалах это первые U-Pb датировки по бадделеиту, выделенному из относительно свежих габброидов средней и верхней частей расслоенных интрузивов, несущих ЭПГ-Cu-Ni минерализацию и являющихся эталонными для рудоносных комплексов ВСП. Для Верхнекингашского интрузива возраст по бадделеиту составил  $726 \pm 18$  млн лет (4 фракции), а для габброидов Йоко-Довыренского плутона —  $724 \pm 2.5$  млн лет (5 фракций). На основании этих определений авторы [Ernst et al., 2012] выделяют на юге Сибири крупную магматическую провинцию (Dovyren-Kingash LIP), которая сопоставляется ими с Франклинской LIP, проявившейся на севере Канады и в Западной Гренландии на рубеже 725—710 млн лет. Эти значения хорошо согласуются с приведенной выше нашей датировкой по Тартайскому массиву.

Столь же недавними геохронологическими исследованиями U-Pb методом локального анализа цирконов с помощью лазерной абляции [Арискин и др., 2012] установлен возраст безоливинового габбронорита из прикровельной зоны Йоко-Довыренского плутона, который составил  $730 \pm 6$  млн лет (33 зерна из 3 обр.). Это определение согласуется с возрастом  $731 \pm 4$  млн лет (56 зерен из 5 обр.), полученным для перидотитового силла, расположенного ниже подошвы плутона, и перекрывается значениями возраста находящегося в теле интрузива роговика —  $723 \pm 7$  млн лет (10 зерен), а также габбронорита из приподошвенной дайки —  $725 \pm 8$  млн лет (15 зерен). На основании этих данных наиболее вероятное значение возраста Йоко-Довыренского массива составляет  $728.4 \pm 3.4$  млн лет, что соответствует уран-свинцовым датировкам по метаморфиритам из иняйтукской вулканической свиты —  $729 \pm 14$  млн лет (8 зерен). Полученные датировки для вулканитов и интрузивных пород довыренского

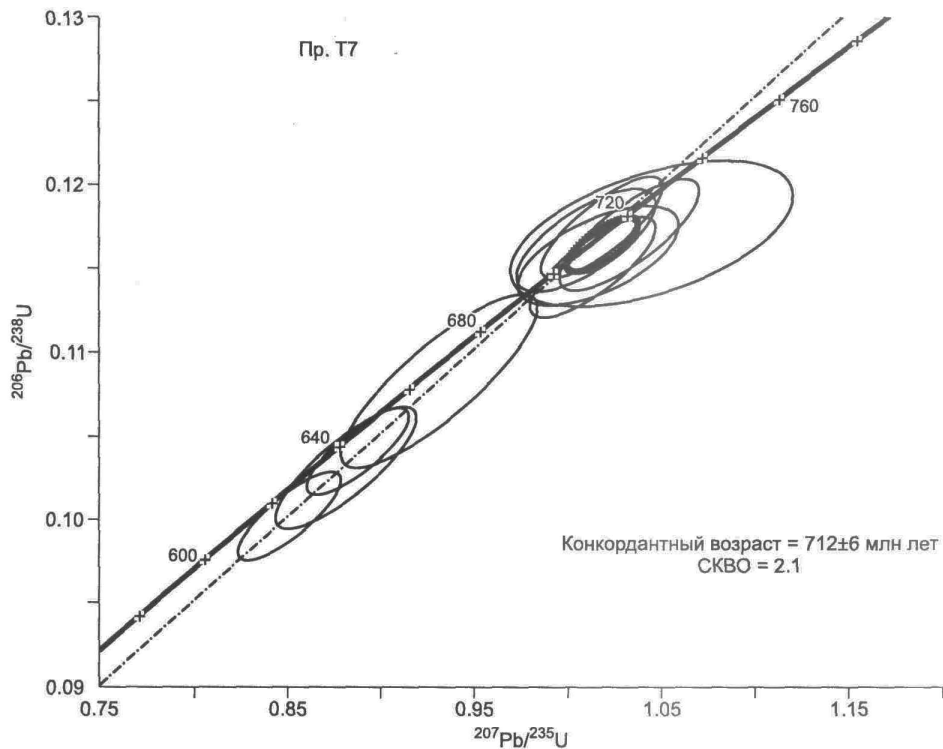


Рис. 2. Возрастная (U-Pb) конкордия по Тартайскому массиву.

комплекса свидетельствуют также в пользу синхронности проявления иняптукско-сыннырской фазы вулканизма и интрузивных процессов (Йоко-Довыренский плутон), которые сопровождали раскрытие Сыннырско-Патомского рифта.

Ближние геохронологические датировки получены Д.П. Гладкочубом и Е.В. Склярным для неопротерозойских базитовых даек нерсинского комплекса в южной части Сибирского кратона [Sklyarov et al., 2003; Gladkochub et al., 2006; Гладкочуб и др., 2007]. По химическому составу эти дайки отвечают базальтам нормальной щелочности или умеренно-щелочным базальтам и по геохимическим особенностям соответствуют мантийным расплавам обстановок внутриплитного растяжения. По мнению Д.П. Гладкочуба, формирование Йоко-Довыренского массива могло осуществляться на развитой стадии рифтогенеза (после массового внедрения даек), а его возрастная позиция может быть сопоставлена с широко проявившимся на севере Лаврентии Франклиным рифтогенным событием [Гладкочуб и др., 2007].

В целом основанная на новых геохронологических данных возрастная корреляция позволяет рассматривать рудоносные комплексы всех трех основных ареалов ВСП как единые во времени образования, относящиеся к одной рудно-магматической системе. Это подтверждается проведенными авторами настоящей статьи минералого-геохимическими исследованиями рудоносных магматических комплексов и связанных с ними ЭПГ-Cu-Ni рудопроявлений Алхадырского террейна и сопоставлением этих данных с известными оценками состава рудоносных комплексов Канского (Кингашский ареал) и Байкало-Патомского (Йоко-Довыренский плутон) блоков.

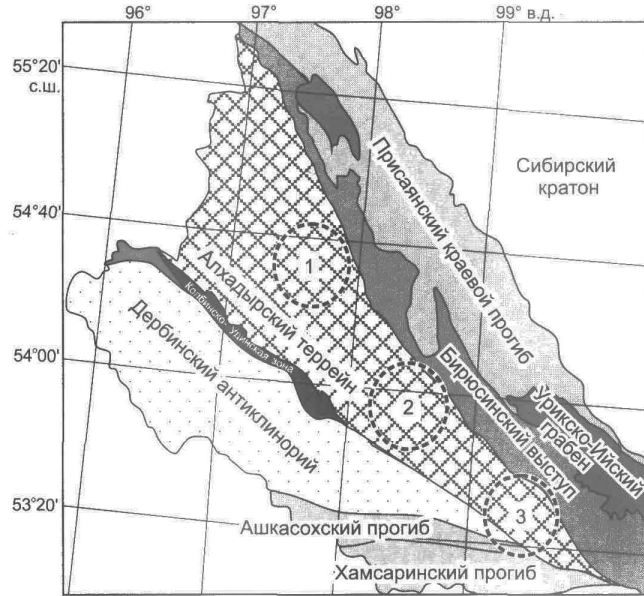
### ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА РУДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Особенности состава рудоносных комплексов рассматриваются на основе минералого-геохимических данных, полученных авторами статьи по рудным районам Алхадырского террейна средней части ВСП (рис. 3). Эти данные сопоставляются с соответствующими характеристиками рудопродуктивных комплексов западного (Кингашская группа МПГ-Cu-Ni месторождений) и восточного (Йоко-Довыренский плутон) флангов провинции.

На площади Алхадырского террейна (по [Мехоношин и др., 2013]) выделяются три крупных ареала проявления рудопродуктивного (МПГ-Cu-Ni) ультрабазит-базитового магматизма: Барбитайский

**Рис. 3. Схема размещения рудных районов в средней части ВСП.**

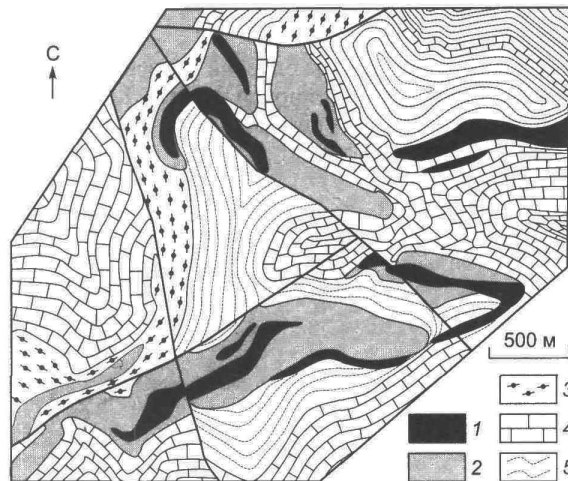
Кружками отмечено положение рудных районов: 1 — Бирусинско-Тагульский; 2 — Удинско-Бирусинский (массивы Огнитский, Тартайский, Медвежий Лог, Эльгедекский); 3 — Барбитайский (массивы Желос, Токты-Ой).



(массивы Желос, Токты-Ой и др.), Удинско-Бирусинский (массивы Огнитский, Тартайский; Медвежий лог, Эльгедекский, Мало-Шитинский) и Бирусинско-Тагульский (см. рис. 3). Рудоносные массивы принадлежат к дунит-перидотит-пироксенит-габбровой формации. Они представляют собой относительно небольшие по размерам линзовидные интрузивные тела, в значительной степени деформированные и метаморфизованные, нередко подверженные пликативным дислокациям и будинированию. Контакты с вмещающими породами тектонически нарушены. Наиболее представительными и лучше изученными в Барбитайском ареале являются интрузивы Желос и Токты-Ой, а в Удинско-Бирусинском районе — Тартайский и Огнитский (Медек) массивы. На участке Желос наблюдаются выходы порядка десятка будинообразных тел различной формы (рис. 4). Они сложены серией ультраосновных пород, варьирующих по составу от перидотитов до оливиновых пироксенитов. Породы в разной степени амфиболитизированы, но почти не серпентинизированы. В них выявлено несколько рудных зон с Cu-Ni-PGE минерализацией протяженностью до 100 м при ширине до 50 м. Массив Токты-Ой характеризуется большей степенью измененности пород. Он сложен преимущественно в разной степени серпентинизированными перидотитами и дунитами, переходящими в апоперидотитовые и аподунитовые серпентиниты, в которых обнаруживаются зоны густовкрапленной медно-никелевой сульфидной и платинопалладиевой минерализации.

Массивы Удинско-Бирусинского ареала обладают более крупными размерами по сравнению с телами Барбитайского района, небудинированы и во многом сохранили элементы внутреннего строения и морфологию тел. Они сложены дифференцированной серией пород, меняющихся по составу от дунитов и перидотитов до меланократовых оливиновых габбро. В зависимости от уровня эрозионного среза в них преобладают те или иные разновидности пород.

Относительно лучше изученный в этом ареале Тартайский массив (рис. 5) представляет собой субмеридионально ориентированное линзовидное тело размером 3.0 × 0.5 км. Серпентинизированные дуниты и верлиты слагают большую его часть. Вблизи контактов верлиты нередко амфиболитизированы.



Магнезиальность доминирующего оливина изменяется в интервале 83—90 %, содержание NiO колеблется в пределах 0.18—0.36 % (рис. 6). Клинопироксены отвечают по составу субкальциевому авгиту. Их магнезиальность варьирует от 75.7 до 89.7 %, содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет 2.0—4.7 %, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0.27—1.7 %. Ортопироксены образуют крупные ойкокристаллы (редко), а чаще фиксируются в виде коронитовых кайм на границах зерен оливина и плагиоклаза. Отдельные кристаллы пла-

**Рис. 4. Схема геологического строения участка Желос.**

1 — тела ультраосновных пород: перидотиты и пироксениты; 2 — амфиболиты; 3 — гнейсы гранат-биотитовые; 4 — мраморы; 5 — гнейсы биотитовые.

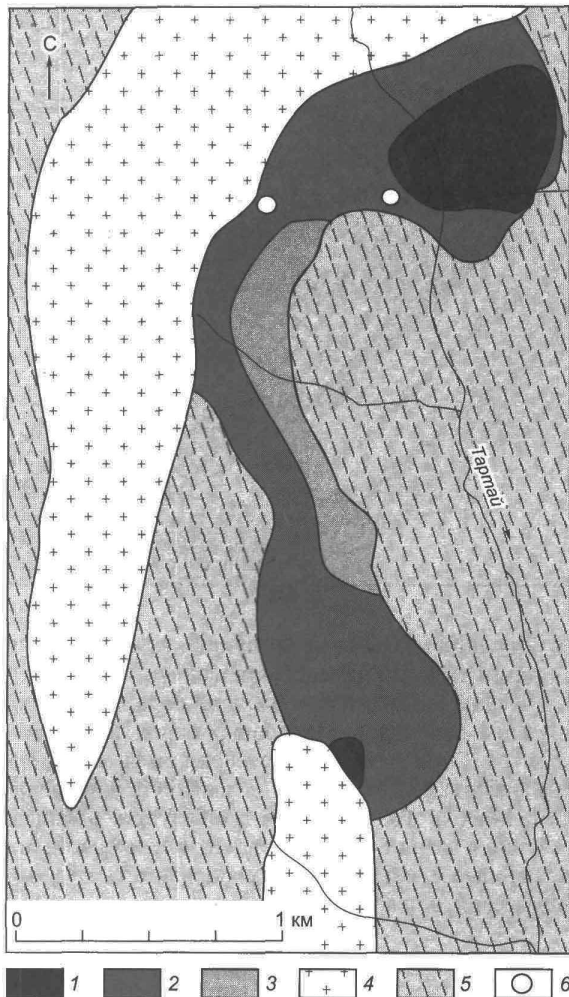


Рис. 5. Схема геологического строения Тартайского массива.

1 — дуниты; 2 — верлиты; 3 — плагиоперидотиты и оливковые габбро; 4 — граниты огнитского комплекса; 5 — алхадырская свита; 6 — точки проявления Pt-Pd минерализации.

гиоклаза встречаются редко и характеризуются высокой основностью (до 77—86 % An). В относительно небольших количествах присутствует первично-магматическая роговая обманка повышенной магнезиальности и вторичные амфиболы (эденит и тремолит). Весьма характерны хромшпинелиды, которые попадают, как это будет показано ниже, в поле типичных составов хромитов платиноносных расслоенных ультрамафит-мафитовых массивов, существенно отличаясь от хромитов офиолитовых комплексов.

Сопоставление петрохимических и минералогических характеристик рудоносных ультрамафит-мафитовых комплексов различных ареалов свидетельствует об их сходстве. На диаграмме  $MgO-Al_2O_3$  составы пород этих комплексов образуют отчетливо выраженный единый тренд, обусловленный фракционированием оливина (рис. 7). Составы главных породообразующих минералов также близки. Особенно показательны в этом отношении хромшпинелиды (рис. 8). Характерными для хромшпинелидов всех исследованных массивов являются повышенные содержания в них  $TiO_2$  (3—4 %) и наличие структур распада с обособлением ильменитовой фазы. Концентрации титана в них положительно коррелируют с содержаниями железа. Эти элементы накапливаются, по всей вероятности, в остаточном расплаве по мере развития рудоформирующей системы.

Повышенная титанистость хромитов отмечается для Кингашского [Корнев и др., 2001] и Йоко-Довыренского [Кислов, 1998] массивов. Такая особенность состава хромшпинелидов объясняется взаимодействием кумулюсного хромита с обогащенной титаном интеркумулюсной жидкостью, из которой в дальнейшем кристаллизуется ильменит [Barnes, Kunilov, 2000]. Наиболее вероятно, исходя из экспериментальных данных, что образование феррохромитов связано с субликвидусными реакциями [Ewers et al., 1976]. Составы исследованных хромитов сопоставимы с составами хромитов из мафитов континентальных ультрабазит-базитовых комплексов [Barnes, Roeder, 2001], в том числе платиноносных расслоенных и зональных плутонов (см. рис. 8).

Кроме того, для пород и руд рассматриваемых комплексов характерны близкий уровень содержания и характер распределения редкоземельных элементов и элементов платиновой группы. Концентрации РЗЭ в породах рудоносных массивов Алхадырского террейна характеризуются двух-, десятикратным обогащением легкими элементами. Кривые их распределения имеют слабый отрицательный наклон. В Гутаро-Удинском районе они отличаются более пологими трендами и отсутствием европиевых аномалий. Дуниты и перидотиты Йоко-Довыренского плутона обогащены редкими землями в меньшей степени. Однако в целом спек-

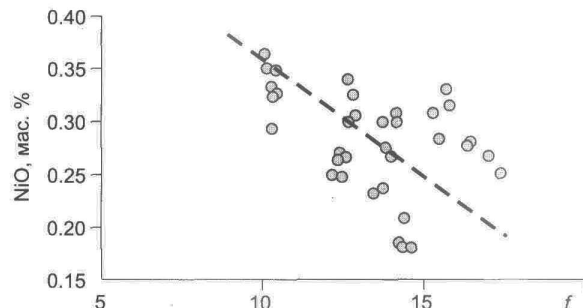
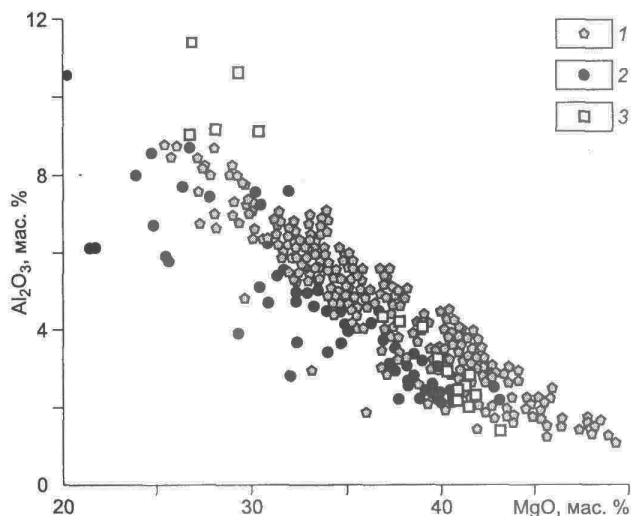


Рис. 6. Содержания Ni и железистость оливина в породах Тартайского массива.

Рис. 7. Составы пород дунит-перидотит-пироксенит-габбровых интрузий Алхадырского террейна (1), Кингашского (2) [Глазунов и др., 2003] и Йоко-Довыренского (3) [Толстых и др., 2008] плутонов.



тры распределения РЗЭ рудоносных комплексов Алхадырского террейна, Канского и Байкало-Патомского ареалов вполне сопоставимы (рис. 9). Рудоносные дунит-перидотит-пироксенит-габбровые массивы Алхадырского террейна и других ареалов их проявления на территории ВСП характеризуются в целом повышенными концентрациями ЭПГ с отчетливо выраженным преобладанием Pd над Pt. Отношение  $(Pd + Pt)/(Os + Ir + Ru + Rh)$  варьирует в пределах 10—15. Для рудопроявлений Барбитайского ареала характерны несколько повышенные содержания тугоплавких ЭПГ, особенно Ru. В них установлены минеральные формы концентрирования Os, Ir и Ru, кратко рассмотренные ниже. В целом распределение ЭПГ в рудоносных комплексах Алхадырского террейна аналогично их соотношениям в породах и рудах Кингашского и Йоко-Довыренского плутонов (рис. 10).

Сульфидные руды в массивах Алхадырского террейна относятся к никелевому типу, что свойственно для рудопроявлений и других ареалов ВСП, в том числе Кингашского и Йоко-Довыренского (табл. 1). Соответствующим образом проявлена и рудная минерализация. Во вкрапленных рудах пентландит обычно уступает в количественном отношении пирротину, тогда как в массивных и густо-вкрапленных рудах его роль возрастает, и он нередко доминирует среди сульфидов. Халькопирит же имеет второстепенное значение. Выявляются некоторые общие особенности состава рудных минералов. Минералы группы пирротина характеризуются широкой вариацией содержания Ni (0.04—1.4 %). При этом минимальные концентрации Ni в массивах Алхадырского террейна, как и во всех месторождениях мира, отмечаются в троилитах, а максимальные — в моноклинных пирротинах, соответственно, меняется и состав сосуществующего пентландита. При смене ассоциаций в ряду троилит—гексагональный пирротин—моноклинный пирротин железистость пентландита уменьшается с увеличением содержания Ni. В целом отношения Fe/Ni в пентландитах массивов Желос, Токты-Ой и Огнитский (Медек) варьируют в пределах 1.0—1.71, а в Тартайском — 0.68—1.66. Близким составом, в частности, повышенными сернистостью и железистостью, характеризуются также пентландиты Кингашского и Йоко-Довыренского плутонов (рис. 11).

Во всех исследованных массивах ВСП установлены и сходные минеральные формы концентрирования ЭПГ (рис. 12). При этом для отдельных массивов Алхадырского террейна выявляются некоторые индивидуальные их особенности. Если для интрузива Желос ведущей является арсенидная составляющая и характерно преобладание сульфоарсенидов тугоплавких элементов, то в Огнитском и Тартайском массивах более существенная роль принадлежит сперрилиту. Соединения Pd с Bi и Sb свойственны всем массивам, но в Тартай-

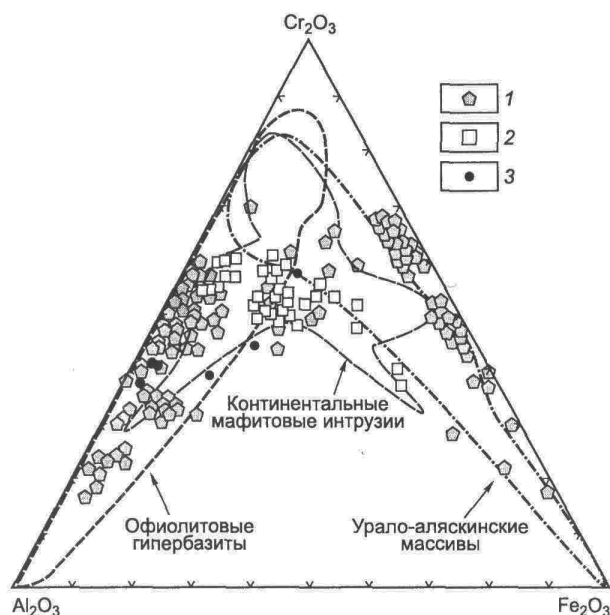
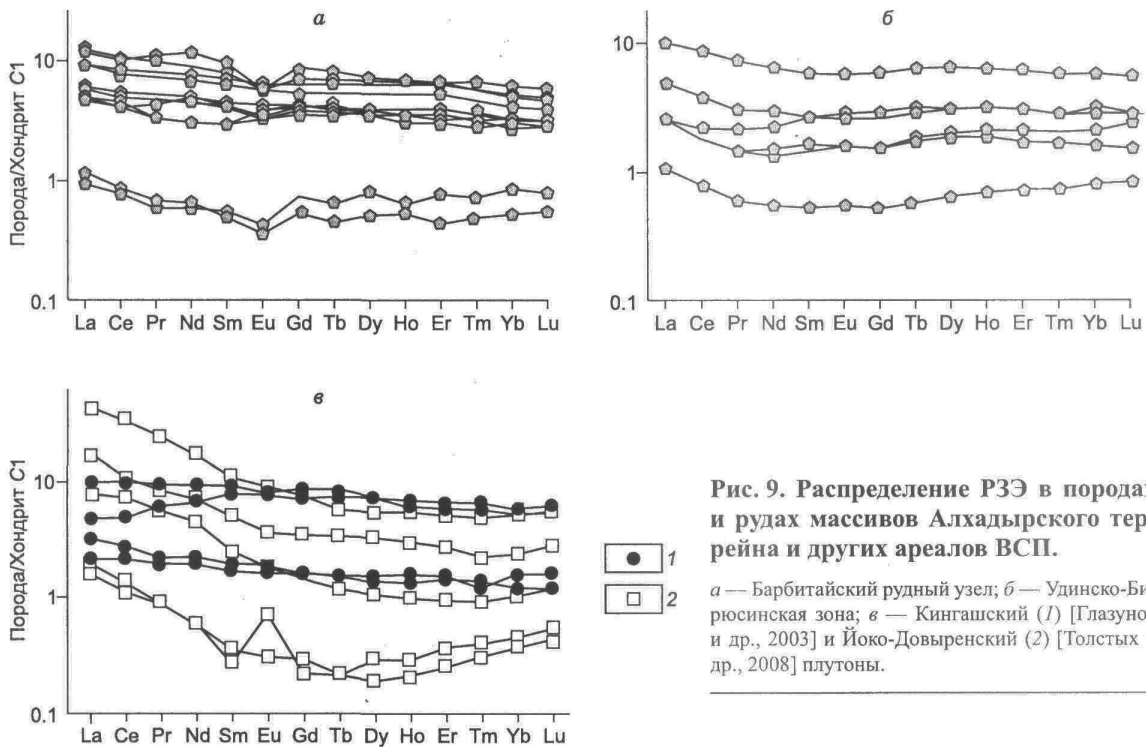


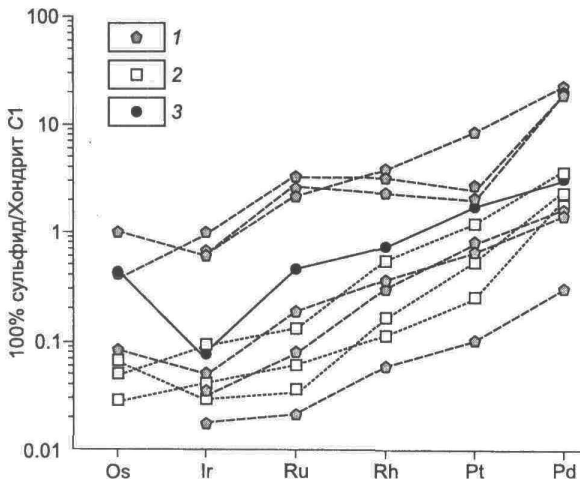
Рис. 8. Составы хромшпинелидов в породах и рудах массивов Алхадырского террейна (1), Кингашского (2) [Глазунов и др., 2003] и Йоко-Довыренского (3) [Толстых и др., 2008] плутонов.



**Рис. 9. Распределение РЗЭ в породах и рудах массивов Алхадырского террейна и других ареалов ВСП.**

*а* — Барбитайский рудный узел; *б* — Удинско-Бирюсинская зона; *в* — Кингашский (1) [Глазунов и др., 2003] и Йоко-Довыренский (2) [Толстых и др., 2008] плутоны.

ском они замещены вторичными фазами Pd-Cu-Sb состава. Сходство платинометалльной минерализации в масштабах всей ВСП проявляется прежде всего в том, что сперилит присутствует в переменных количествах во всех рудных районах. Специфической его особенностью является наличие примесей тугоплавких платиноидов (Os, Ir, Ru), а также повышенных содержаний Fe и Ni (рис. 13). Характер рудной минерализации в массивах Алхадырского террейна позволяет высказать предположение об образовании на собственно магматическом этапе развития рудно-магматической системы несмешивающейся равновесной с силикатным расплавом окисно-сульфидной жидкости, обогащенной специфическими для этой системы рудными компонентами. Изменение состава равновесных фаз пирротина и пентландита происходило, судя по всему, по следующей схеме: в связи с ранним высокотемпературным троилитом образуется наиболее железистый пентландит, тогда как в ассоциации с поздним гексагональным и моноклинным пирротинном он более богат никелем. Развитие рудоформирующей системы идет в таком случае по пути последовательного обогащения образующихся минеральных парагенезисов никелем. Эта тенденция сопровождается повышением активности серы. Отношение Ni/(Ni + Fe) в пентландите отражает также условия его формирования. В массиве Токты-Ой оно варьирует от 0.41 до 0.50, указывая на его формирование в интервале легучести серы ( $\lg f_{S_2}$ ) от -12 до -10 при температуре, близкой к 600 °С [Воган, Крейг, 1981]. Железистый пентландит массивов Барбитайского рудного узла (Желос и Токты-Ой) близок по составу к пентландитам рудопроявлений Гутаро-Удинского ареала, а также Кингашского [Глазунов и др., 2003] и Йоко-Довыренского [Конников, 1990] плутонов.



**Рис. 10. Распределение ЭПГ, нормированных на хондрит, для массивов Алхадырского террейна (1) (Желос, Токты-Ой и Огнитский [Мехоношин, Колотилина, 1999]) в сравнении с Йоко-Довыренским (2) [Толстых и др., 2008] и Кингашским (3) [Глотов и др., 2004] плутонами.**



Таблица 1. Составы руд в массивах различных ареалов ВСП, мас. %

Массив	Ni	Co	Cu	S	Ni/Co	Ni/Cu
Желос	2.15	0.08	0.50	14.15	26.9	4.3
	2.78	0.18	2.77	31.65	15.44	1.00
	2.00	0.08	0.27	—	24.39	7.41
Токты-Ой	0.93	0.03	0.29	1.76	36.61	3.21
	1.01	0.02	0.27	2.38	43.91	3.74
	1.12	0.02	0.24	1.69	48.70	4.67
	3.84	0.13	0.03	28.02	29.31	147.69
Кингаш	6.2	0.10	0.38	26.94	62	16.32
	0.72	0.02	0.28	1.30	36	2.57
Йоко-Довырен	1.78	0.09	0.41	15.3	19.34	4.34
	0.23	0.02	0.053	1.70	11.5	4.34

Примечание. Кингашский массив [Глотов и др., 2004], Йоко-Довыренский плутон [Толстых и др., 2008].

Вместе с тем он отличается от пентландитов из норильских и печенгского рудных комплексов, которые являются существенно более никелистыми.

Имеются некоторые индивидуальные особенности минерализации ЭПГ в рассмотренных выше рудоносных массивах Алхадырского террейна. В частности, в массиве Желос содержатся сульфидные руды, несущие ЭПГ минерализацию с повышенной долей тугоплавких платиноидов (Os, Ir, Ru) и Rh, которые образуют в ряде случаев свои минеральные фазы, в том числе омейит  $(Os,Ru)As_2$ , ирарсит  $IrAsS$  и холлингвортит  $RhAsS$ . Обращает на себя внимание, что по обогащенности тугоплавкими эле-

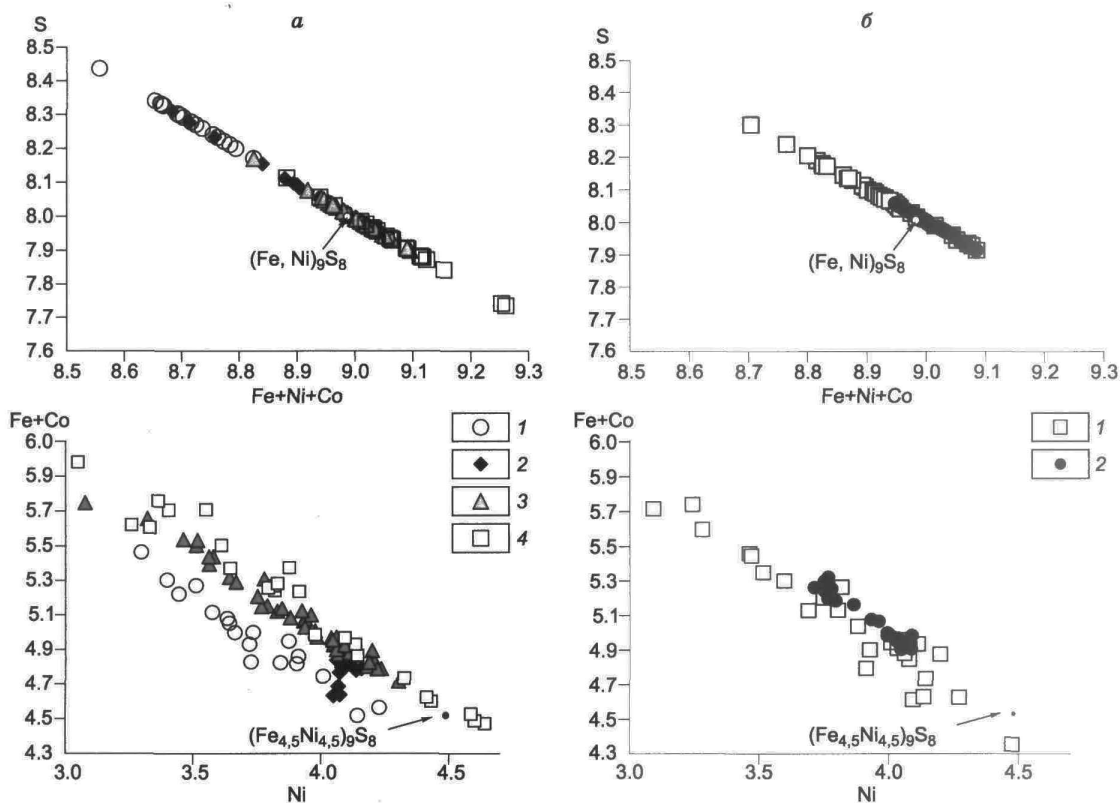


Рис. 11. Составы пентландита из массивов Алхадырского террейна (а), Довыренского и Кингашского плутонов (б).

а: 1 — Токты-Ой, 2 — Желос, 3 — Огнитский, 4 — Тартайский; б: 1 — Йоко-Довырен, 2 — Кингаш. По осям х и у — формульные коэффициенты.

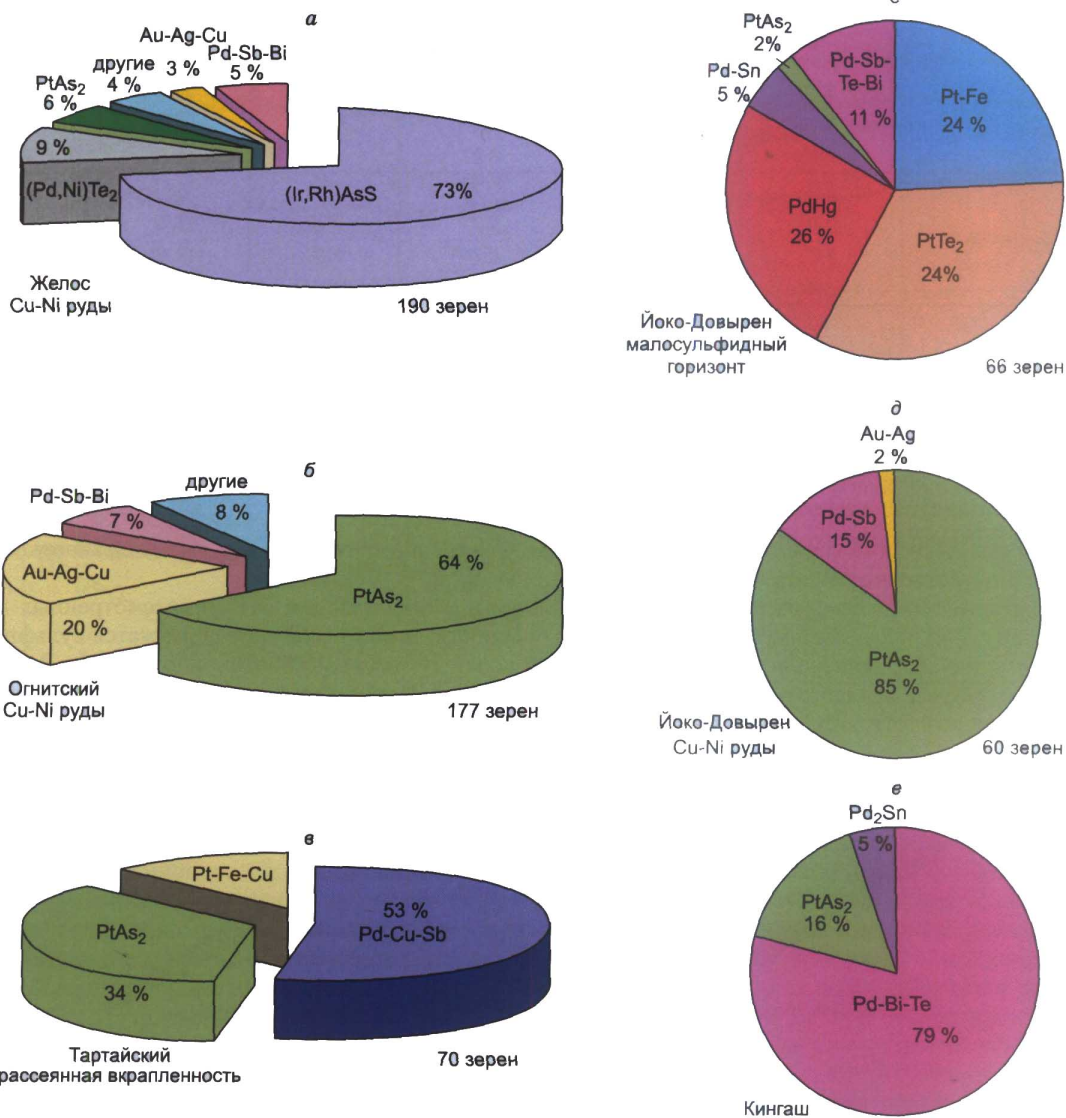


Рис. 12. Соотношения минералов ЭПГ в рудах из массивов Алхадырского террейна (а—в), а также Йоко-Довыренского (г, д) [Толстых, Подлипский, 2010] и Кингашского (е) [Шведов и др., 1997] плутонов.

ментами массив Желос приближается к офиолитам, но отличается от них характером рудной минерализации, поскольку в офиолитах тугоплавкие элементы присутствуют в форме самородных Os-Ir-Ru сплавов или сульфидов Os и Ru. Повышенная активность As в образовании сульфидных руд массива Желос обусловила широкое развитие в нем арсенидов и сульфоарсенидов ЭПГ. Взаимоотношения минералов свидетельствуют о наиболее ранней (совместно с пирротинном) кристаллизации ирарсита, сменяющегося холингвортитом, который, в свою очередь, замещается кобальтином. Все палладиевые минералы, а именно, его соединения с Ni, As, Sb, Te и Bi, формировались, судя по всему, на завершающей стадии развития рудообразующей системы.

Огнитский и Тартайский массивы Удинско-Бирюсинского ареала весьма сходны между собой по минералого-геохимическим особенностям, включая платинометалльную минерализацию [Мехоношин и др., 2013]. В обоих массивах ассоциации МПГ характеризуются относительно небольшим разнообразием видового состава. Для них характерно отсутствие тугоплавких платиноидов и свойственных для Желоса сульфоарсенидов Ir и Rh, что, вероятно, связано с более фракционированным составом выплав-

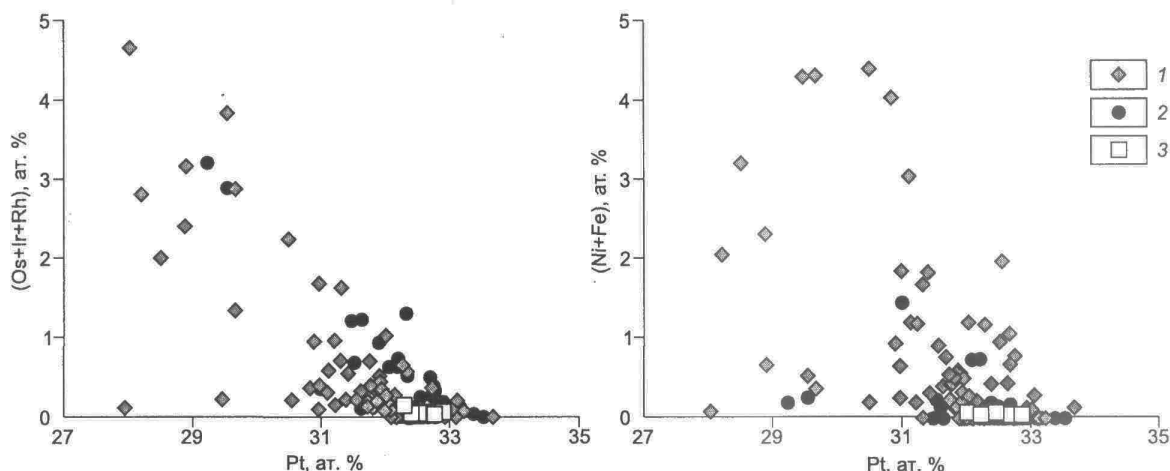


Рис. 13. Примеси тугоплавких платиноидов и Fe, Ni в сперрилитах из руд Алхадырского террейна (1), Кингашского (2) и Йоко-Довыренского (3) плутонов.

ки единого расплава в промежуточной камере, из которой формировались массивы Удинско-Бирюсинской зоны. Ведущим же среди МПГ рудоносных массивов Алхадырского террейна, как и в других ареалах ВСП (Кингаш, Йоко-Довырен и другие), является сперрилит, нередко в ассоциации с вторичным орселитом и восстановленными интерметаллическими сплавами Pt и Cu. Для МПГ массивов Удинско-Бирюсинского ареала характерны также примеси Cu и Ni в сперрилите, достигающие 9.13 и 13.86 мас. % соответственно. Установленные в Тартайском массиве относительно высокие содержания Ir в сперрилите характерны также и для Кингашского месторождения западного фланга ВСП [Толстых, Подлипский, 2010] (см. рис. 13). Сопоставление минералов ЭПГ основных и ультраосновных пород Алхадырского террейна с платинометалльной минерализацией других ареалов ВСП (Кингаш, Йоко-Довырен) свидетельствует об очевидном их сходстве. Наличие минералов тугоплавких платиноидов в массиве Желос, а также обнаружение Ir в качестве изоморфной примеси в сперрилитах Огнитского, Тартайского и Кингашского массивов может быть обусловлено высокой степенью плавления мантийного субстрата при генерации исходных магм.

#### УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ РУДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВСП, СОСТАВ И ЭВОЛЮЦИЯ ИСХОДНЫХ МАГМ

Принадлежность охарактеризованных выше комплексов к единой рудно-магматической системе позволяет рассматривать вопросы их генезиса, включая состав исходных магм, на основе совокупных данных по различным, в том числе весьма удаленным друг от друга, ареалам. Сопоставление этих данных свидетельствует о том, что во всех случаях состав исходных расплавов для рудоносных комплексов был высокомагнезиальным и соответствовал пикритам.

Кингашская группа месторождений, с которой начиналось обоснование и изучение ВСП, сопоставляется О.М. Глазуновым [Глазунов и др., 2003; Глазунов, Радомская, 2010] с печенгским типом сульфидных существенно никелевых месторождений, связанных с расслоенными ультрамафит-мафитовыми интрузиями габбро-клинопироксенит-верлитовой формации. Для этого типа интрузий исходными считаются ультраосновные расплавы пикритоидного состава. В несколько более поздней публикации [Гертнер и др., 2005] в формировании ультрамафит-мафитовой серии интрузивов Кингашского ареала выделяются два этапа. К первому, раннерифейскому относятся преимущественно ультраосновные интрузии, которые соответствуют нижним рудовмещающим горизонтам Кингашского массива. Во второй, поздне-рифейский этап внедрялись габброидные интрузии, сопровождавшиеся контактово-реакционной серией верлит-клинопироксенитового состава. Образование первой (существенно ультрабазитовой) ассоциации связывается с пикритоидной, а второй — с базитовой магмами.

Пикритоидный состав рудоносных магм устанавливается и для ультрамафит-мафитовых комплексов Алхадырского террейна средней части ВСП. Минералого-геохимические исследования [Мехоношин и др., 2006, 2011] показали, что рудоносные интрузии Барбитайского ареала Алхадырского террей-

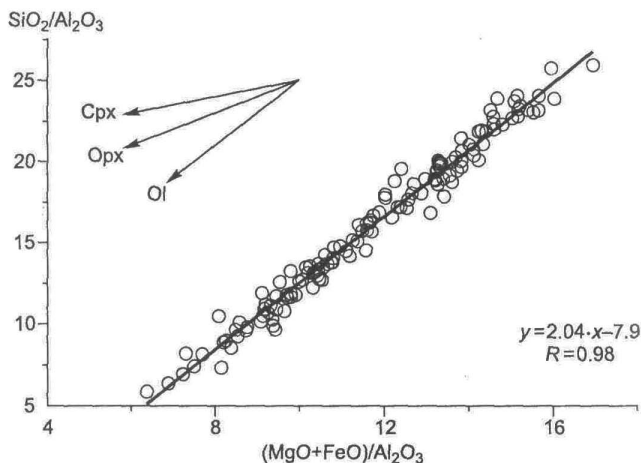


Рис. 14. Вариационная диаграмма составов ультраосновных и основных пород рудоносных комплексов Барбитайского рудного узла.

на, представленные дунит-верлит-клинопироксенит-габбровой серией пород, являются производными в разной степени дифференцированной пикритоидной магмы. Получены свидетельства того, что разные по составу породы этой ассоциации образовались за счет эволюционирующей при кристаллизации и кумуляции оливина пикритовой магмы. Об этом свидетельствует, в частности, диаграмма  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ — $(\text{MgO} + \text{FeO})/\text{Al}_2\text{O}_3$

(рис. 14), на которой составы пород ультрамафит-мафитовой ассоциации Барбитайского ареала образуют отчетливо выраженный тренд, параллельный вектору фракционирования оливина. В результате анализа коэффициентов Fe-Mg обмена между оливином и расплавом получен состав исходного расплава, отвечающий пикритам. Кроме того, этими же авторами обнаружены в хромшпинелидах ультраосновных пород Барбитайского ареала каплевидные включения, состав которых близок, по данным микрозондовых анализов, к пикритоидному составу. Об этом же свидетельствует и состав пород закалочных фаций интрузивов Барбитайского рудного узла (табл. 2).

Для относительно хорошо изученного Йоко-Довыренского плутона пикритоидный состав исходной магмы определен на основании данных о составах закалочных фаций и средневзвешенного состава основного тела плутона и приподошвенных силлов [Конников, 1986; Кислов, 1998]. В связи с исследованием проблем фазовой расслоенности в ультрамафит-мафитовых массивах, для Йоко-Довыренского массива рассчитана модель его формирования [Арискин и др., 2003, 2009]. Расчеты показали, что к моменту заполнения камеры и становления плутона исходная магма, температура внедрения которой составляла 1185 °С, испытывала значительную надкритическую кристаллизацию и состояла на 40—50 % из твердой фазы (в основном оливина) и близкого к составу бонинита расплава, что отвечает в усредненном виде магмам ультраосновного состава, приближающимся к пикритам.

Авторами настоящей статьи проведено исследование условий образования Тартайского интрузива, характеристика которого приведена выше при рассмотрении рудоносных комплексов Алхадырского

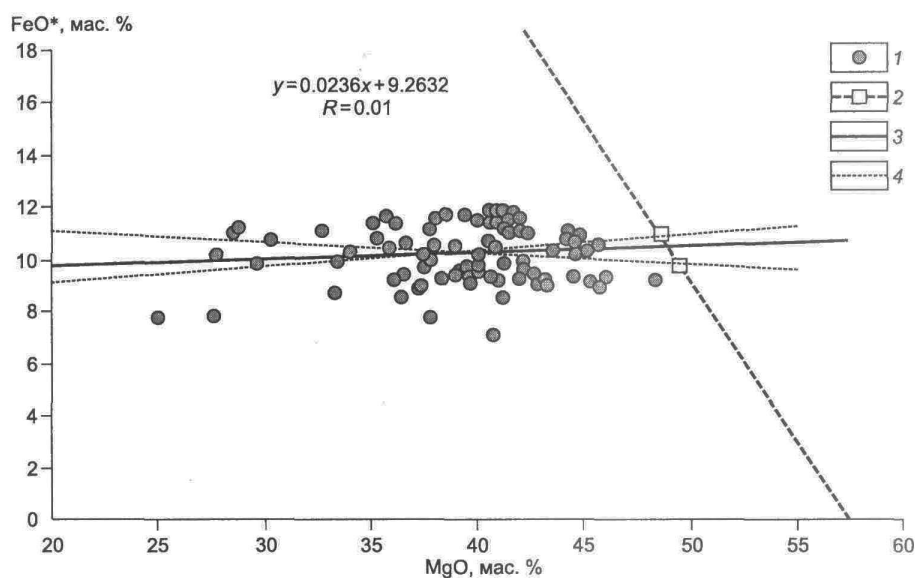
Таблица 2. Рассчитанный состав (мас. %) исходного расплава для массивов Барбитайского ареала в сравнении с составами пород из закалочной фации и силикатных включений в хромшпинелидах

№	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>общ</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Mg/(Mg + Fe)
<i>Расчетный состав расплава</i>											
1	47.53	0.56	7.85	—	11.62	—	27.49	6.71	—	—	0.808
<i>Закалочный образец (№ 262)</i>											
2	43.42	0.52	7.53	—	11.2	—	27.8	6.74	—	—	0.815
<i>Состав силикатного включения в хромшпинелиде</i>											
3	51.24	0.35	6.71	1.32	4.58	0.11	25.94	8.13	1.19	0.34	0.910

Таблица 3. Оценки составов (мас. %) родоначальных расплавов для Тартайского массива

№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	49.5	0.50	9.3	9.14	0.5	17.00	12.86	0.66	0.22	0.11
2	47.83	0.68	11.68	11.25	0.50	16.56	10.34	0.89	0.16	0.09
3	50.19	0.85	14.58	8.34	0.62	11.08	12.92	1.11	0.19	0.11

Примечание. 1 — состав родоначального расплава, рассчитанный по уравнениям линейных регрессий для содержания MgO = 17 %; 2, 3 — составы родоначального расплава, рассчитанные по трендам фракционирования наиболее магнезильного (2) и наиболее железистого (3) оливинов с контролем программой «Комагат».



**Рис. 15.** Расчет состава раннего оливина в породах Тартайского массива.

1 — точки анализов; 2 — линия оливина с точками оценок состава; 3 — линия линейного тренда; 4 — 95 %-й доверительный интервал линии тренда.

террейна. Этот массив относится к типичным представителям дунит-перидотит-пироксенит-габбровой формации ВСП и сопровождается малосульфидной платинопалладиевой минерализацией. Минералогическое геохимическое исследование свидетельствует о том, что слагающая его ассоциация пород образовалась в результате фракционирования в ультраосновном расплаве раннего оливина. Модельные расчеты позволили оценить состав расплава равновесного с реальным составом оливина из наиболее меланократовых пород. Состав оливина варьирует от форстерита ( $\leq 10\%$  Fa) в дунитах и верлитах до хризолита (около  $17\%$  Fa) в меланогаббро, что сопровождается заметным понижением содержания в нем NiO (см. рис. 6). В то же время ликвидусный оливин очень быстро приходит в равновесие с более железистым остаточным расплавом. Поэтому его магнезиальность зачастую занижают, что приводит к ошибочным оценкам родоначального расплава.

Во избежание ошибки при расчете состава ликвидусного оливина нами была проведена независимая оценка его состава по методике А.А. Арискина. На диаграмме (рис. 15) отчетливо видно, что вариации составов пород обусловлены только фракционированием оливина, присутствовавшего во внедрившейся магме. Железистость интрателлурического оливина для ультраосновных пород Тартайского массива, рассчитанная на основании уравнения линейной регрессии (см. рис. 15), находится в интервале  $10\text{--}12\%$  Fa, что отвечает реальным составам оливина в дунитах и перидотитах. Исходя из состава раннего оливина и расчета коэффициента распределения FeO/MgO между оливином и расплавом, содержание MgO в расплаве, равновесном с этим оливином, варьировало в диапазоне от  $17$  до  $11\%$ . За основу нами принято максимальное значение, поскольку концентрация MgO в породах Тартайского массива превышает  $15\%$ . С учетом этого по уравнениям линейной регрессии MgO с другими порообразующими компонентами были рассчитаны остальные параметры исходного расплава, они приведены в табл. 3. Таким образом, и здесь, как и для рудоносных комплексов других рассмотренных ареалов ВСП, исходные магмы отвечают по составу пикритоидам, что согласуется с повсеместно проявляющейся повышенной платиноносностью главенствующих типов пород исследованной ассоциации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Приведенные данные свидетельствуют об очевидном сходстве и, соответственно, генетической общности рудоносных (ЭПГ-Cu-Ni) комплексов различных ареалов Восточно-Сибирской провинции по всему ее простиранию. К таким значительно удаленным друг от друга ареалам относятся Кингашский (Канский докембрийский выступ) и Енисейский кряж на западе ВСП [Ножкин и др., 2013], Алхадьерский терреин и соседние структуры Бирюсинского блока — в центре, и Йоко-Довыренский плутон (Байкало-Патомский перикратонный прогиб) — на востоке.

2. Радиологический (U-Pb и Ar-Ar) возраст рудоносных комплексов во всех ареалах ВСП находится в интервале 728—710 млн лет, что отвечает позднему рифею. Эти данные согласуются с возрастом рифогенных дайковых поясов персинского комплекса и позволяют коррелировать время проявления рудоносных комплексов ВСП с формированием Франклинской LIP, сопряженной с распадом микроконтинента Родиния в позднерифейскую эпоху.

3. Рудоносные интрузии принадлежат к дунит-перидотит-пироксенит-габбровой формации, характеризующейся преобладанием ультраосновных пород при второстепенной роли габброидов. Исключение составляет Йоко-Довыренский плутон Северо-Байкальского ареала, в котором габброиды доминируют. Минералого-геохимические тренды слагающих рудоносные массивы дифференцированных серий пород аналогичны во всех рассмотренных ареалах, что свидетельствует о близости составов исходных для них магм. Сходными характеристиками обладает и рудная минерализация, включая минералы платиноидов.

4. Исходные расплавы во всех случаях близки по составу к пикритам или пикробазальтам. Об этом свидетельствуют приведенные в статье геологические, минералого-геохимические и расчетные данные, а также обогащенность пород и руд элементами платиновой группы, что, в свою очередь, указывает на высокие степени плавления мантийного источника.

5. Полученные результаты свидетельствуют о правомерности выделения ВСП как высокоперспективной в отношении ЭПГ-Cu-Ni месторождений позднерифейской LIP. Восточнее в южном складчатом обрамлении Сибирского кратона и Алданского щита выделяется [Гонгальский, 2012] еще более древняя, протерозойская Удокан-Чинейская металлогеническая провинция с широким спектром рудных месторождений, включая ЭПГ-Cu-Ni. Таким образом, эта обширная приплатформенная область докембрийских структур на юге Сибири может рассматриваться как крупный рудный район первостепенной важности.

Работа выполнена при поддержке по программе ОНЗ-2 РАН, а также грантов РФФИ: № 12-05-00435 и № 12-05-00112.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Арискин А.А., Конников Э.Г., Кислов Е.В.** Моделирование равновесной кристаллизации ультрамафитов в приложении к проблеме формирования фазовой расслоенности Довыренского плутона (Северное Прибайкалье, Россия) // *Геохимия*, 2003, № 2, с. 131—155.

**Арискин А.А., Конников Э.Г., Данюшевский Л.В., Кислов Е.В., Николаев Г.С., Орсоев Д.А., Бармина Г.С., Бычков К.А.** Довыренский интрузивный комплекс: проблемы петрологии и сульфидно-никелевой минерализации // *Геохимия*, 2009, № 5, с. 451—480.

**Арискин А.А., Конников Э.Г., Данюшевский Л.В., Мак-Нил Э., Николаев Г.С., Костицын Ю.А., Кислов Е.В., Орсоев Д.А.** Довыренский интрузивный комплекс: геохимия, петрология и история сульфидного насыщения исходных магм // *Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и их минералогия. Материалы IV Международной конференции и III молодежной школы-семинара. Улан-Удэ, ИД «Экос», 2012, с. 17—20.*

**Воган Д., Крейг Дж.** Химия сульфидных минералов / Ред. И.Я. Некрасов. М., Мир, 1981, 575 с.

**Гертнер И.Ф., Глазунов О.М., Морикио Т., Тишин П.А., Чернышов А.И., Краснова Т.С., Врублевский В.А.** Изотопно-геохимические ограничения модели формирования Кингашского ультрамафит-мафитового массива (Восточный Саян) // *Петрология магматических и метаморфических комплексов. Материалы Всероссийской научной конференции, вып. 5. Томск, ТГУ, 2005, с. 61—72.*

**Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Мазукабзов А.М., Станевич А.М., Скляров Е.В., Пономарчук В.А.** Комплексы-индикаторы процессов растяжения на юге Сибирского кратона в докембрии // *Геология и геофизика*, 2007, т. 48 (1), с. 22—41.

**Глазунов О.М., Радомская Т.А.** Геохимическая модель генезиса Кингашского платиноидно-медно-никелевого месторождения // *ДАН*, 2010, т. 430, № 2, с. 222—226.

**Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г.** Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение / Ред. Г.В. Поляков. Иркутск, ИГТУ, 2003, 192 с.

**Глотов А.И., Кривенко А.П., Лавренчук А.В.** Геохимия платиновых металлов и физико-химические особенности формирования Кингашского сульфидного платиноидно-медно-никелевого месторождения (Восточный Саян) // *Платина России. Проблемы развития, оценки, воспроизводства и комплексного использования минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Сборник научных трудов. М., ООО «Геоинформмарк», 2004, т. 5, с. 195—204.*

**Гонгальский Б.И.** Протерозойская металлогения Удокан-Чинейского рудного района (Северное Забайкалье): Автореф. дис. ... д.г.-м.н. М., 2012, 43 с.

- Кислов Е.В.** Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ, БНЦ СО РАН, 1998, 265 с.
- Кислов Е.В., Конников Э.Г., Посохов В.Ф., Шалагин В.Л.** Изотопные свидетельства коровой контаминации в Йоко-Довыренском плутоне // Геология и геофизика, 1989 (9), с. 140—144.
- Конников Э.Г.** Соотношение медистых песчаников Кодаро-Удоканской зоны с докембрийским базитовым магматизмом // Геология и геофизика, 1986 (3), с. 28—33.
- Конников Э.Г., Качаровская Л.Н., Загузин Г.Н., Постникова А.А.** Особенности состава главных минералов сульфидных руд Байкальского медно-никелевого месторождения // Геология и геофизика, 1990, т. 31 (2), с. 59—66.
- Корнев Т.Я., Романов А.П., Князев В.Н., Шарифулин С.К., Шведов Г.И., Третьяков Н.А., Резников И.Г., Некос В.В.** Путеводитель по Кингашскому месторождению медно-никелевых и благороднометалльных руд. Красноярск, КНИИГиМС, 2001, 72 с.
- Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б.** Платиноносные ультрамафиты Бирюсинского выступа Сибирской платформы // Платина России, т. III, кн. 1. М., Геоинформмарк, 1999, с. 97—106.
- Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б.** Петролого-геохимические особенности ультрабазитов южного обрамления Сибирского кратона и критерии поисков сульфидно-никелевых руд // Руды и металлы, 2006, № 6, с. 26—30.
- Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б.** Сульфидно-платиноидно-никелевое оруденение массивов Гутаро-Удинской металлогенической зоны (юг Сибири) // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Материалы Третьей Международной конференции. Екатеринбург, 2009, т. 2, с. 49—54.
- Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б., Дорошков А.А.** Формационные типы и рудоносность ультрабазит-базитовых комплексов Алхадырского террейна // Изв. Сиб. Отд. секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, 2011, т. 38, № 1, с. 40—47.
- Мехоношин А.С., Волкова Н.И., Колотилина Т.Б.** Метаморфизм Алхадырского террейна (Восточный Саян) // Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология и металлогеническое прогнозирование. Материалы Российско-Казахстанского научного совещания. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2012, с. 47—50.
- Мехоношин А.С., Толстых Н.Д., Подлипский М.Ю., Колотилина Т.Б., Вишневский А.В., Бенедюк Ю.П.** Платинометаллическая минерализация дунит-верлитовых массивов Гутаро-Удинского междуречья (Восточный Саян) // Геология рудных месторождений, 2013, № 3, т. 55, с. 189—202.
- Неймарк Л.А., Немчин А.А., Амелин Ю.В., Овчинникова Г.В., Рыцк Е.Ю.** Геохимия изотопов Nd и Pb в породах Йоко-Довыренского расслоенного массива (Северное Прибайкалье): пример контаминации основных магм осадочным материалом // Тезисы докл. XII Всесоюз. симп. по стабильным изотопам в геохимии. М., ГЕОХИ АН СССР, 1989, с. 323—324.
- Неймарк Л.А., Рыцк Е.Ю., Гороховский Б.М., Овчинникова Г.В., Киселева Е.И., Конкин В.Д.** Изотопный состав свинца и генезис свинцово-цинкового оруденения Олоkitской зоны Северного Прибайкалья // Геология рудных месторождений, 1991, № 6, с. 34—48.
- Ножкин А.Д., Качевский Л.К., Дмитриева Н.В.** Поздненеопротерозойская рифтогенная метарит-олигит-базальтовая ассоциация Глушихинского прогиба (Енисейский кряж): петрогеохимический состав, возраст и условия образования // Геология и геофизика, 2013, т. 54, № 1, с. 58—71.
- Поляков Г.В., Изох А.Э.** О перспективах расширения докембрийской платиноносной провинции на юге Сибирской платформы // Платина России, т. VII, Красноярск, 2011, с. 264—274.
- 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—1241.
- Толстых Н.Д., Подлипский М.Ю.** Информативность шлиховых ореолов для поисков платинометаллического оруденения // Геология рудных месторождений, 2010, т. 52, № 3, с. 221—240.
- Толстых Н.Д., Орсов Д.А., Кривенко А.П., Изох А.Э.** Благороднометаллическая минерализация в расслоенных ультрабазит-базитовых массивах юга Сибирской платформы / Ред. Г.В. Поляков. Новосибирск, Параллель, 2008, 193 с.
- Шведов Г.И., Толстых Н.Д., Некос В.В., Поспелова Л.Н.** Минералы элементов платиновой группы в сульфидных медно-никелевых рудах Кингашского массива // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (11), с. 1842—1848.
- Юричев А.Н., Чернышов А.И., Конников Э.Г.** Талажинский плагиодунит-троктолит-анортит-габбровый массив Восточного Саяна: петрогеохимические особенности и проблемы рудоносности // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (2), с. 219—236.
- Barnes S.J., Kunilov V.Y.** Spinels and Mg ilmenites from the Noril'sk and Talnakh intrusions and other mafic rocks of the Siberian flood basalt province // Econ. Geol., 2000, v. 95, p. 1701—1717.

**Barnes S.J., Roeder P.L.** The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // *J. Petrol.*, 2001, v. 42, № 12, p. 2279—2302.

**Ernst R.E., Hamilton M.A., Soderlung U.** A proposed 725 Ma Dovyren-Kingash LIP of southern Siberia, and possible reconstruction link with 725—715 Ma Franklin LIP of North Laurentia // *Geol. Assoc. of Canada (GAC). Miner. Assoc. Canada (MAC), Joint Ann. Meeting Geosci. at Edge, May 27—29, 2012, St. Johns, Newfoundland and Labrador, Canada, 2012, abstr. v. 35.*

**Ewers W.E., Graham J., Hudson D.R., Rolls J.M.** Crystallization of chromite from nickel-iron sulphide melts // *Contr. Miner. Petrol.*, 1976, v. 54, p. 61—64.

**Gladkochub D.P., Wingate M.T.D., Pisarevsky S.A., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Ponomarchuk V.A., Stanevich A.M.** Mafic intrusions in southwestern Siberia and implications for a Neoproterozoic connection with Laurentia // *Precam. Res.*, 2006, v. 147, p. 260—278.

**Polyakov G., Izokh A., Tolstykh N., Podlisky M.** Precambrian PT-Cu-Ni province of southern periphery of Siberian platform // *Large igneous provinces of Asia: mantle plumes and metallogeny. Int. Symp., Irkutsk, Russia, August 20—28, 2011. Irkutsk, Abstract vol., 2011, p. 193—195.*

**Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Menshagin Y.V., Watanabe T., Pisarevsky S.A.** Neoproterozoic mafic dike swarms of the Sharyzhalgai metamorphic massif (southern Siberian craton) // *Precamb. Res.*, 2003, v. 122, p. 359—376.

*Рекомендована к печати 10 апреля 2013 г.  
А.С. Борисенко*

*Поступила в редакцию  
11 марта 2013 г.*