

# ТИПЫ СУЛЬФИДНЫХ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ И ПЛАТИНОВЫХ РУДНОМАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИХ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ В ОБЩЕЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТОСФЕРЫ

## Статья 1. Типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых высокомагнезиальных (коматиитовых) рудообразующих систем архея и раннего протерозоя

Н. М. Чернышов

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 18 мая 2016 г.

**Аннотация:** приводится цикл статей, посвященных сульфидным платиноидно-медно-никелевым и платинометалльным рудообразующим системам, их главнейшим признакам и месту в общей эволюции формирования литосферы.

В первой статье рассмотрены принципы и методы классификации рудномагматических систем (РМС). Выделены их ведущие типы. Приведены типовые минералого-петрографические, петро- и рудно-геохимические признаки вулкано-интрузивных высокомагнезиальных (коматиитсодержащих) породных ассоциаций архея и раннего протерозоя, определяющие близкий к примитивной по своей природе рудообразующих магматических очагов на ранних этапах формирования коры континентального типа. Прослежена эволюционная направленность развития РМС, петролого-геохимический облик, состав и масштабы которых определяются последовательной сменой геодинамических и эндогенных режимов их формирования, глубиной генерации магматических расплавов, возрастающей ролью процессов мантийно-корового взаимодействия.

**Ключевые слова:** рудообразующие системы, сульфиды, платиноиды, медь, никель, архей, протерозой.

## TYPES OF SULFIDE PGE-COPPER-NICKEL AND PLATINUM ORE-MAGMATIC SYSTEMS AND THEIR STRUCTURAL-MATERIAL EVOLUTION IN THE GENERAL MODEL OF THE FORMATION OF THE LITHOSPHERE

### Article 1. Types of sulfide PGE-copper-nickel high-magnesium (komatiitic) ore-forming systems of the Archaean and Early Proterozoic

**Abstract:** the series of article that are dedicated to sulfide PGE-copper-nickel and platinoid ore-forming systems, their main signs and their role in evolution of the lithosphere are given.

The first article describes the principles and methods of classification ore-magmatic systems (OMS). Their basic types are given. Typical mineralogical-petrographical, petrochemical and ore-geochemical signs of the volcano-intrusive high-magnesium (komatiitic) rock associations of the Archaean and Early Proterozoic, that defines close to the primitive in nature ore-forming magma chambers in the early stages of the continental crust. The evolution trend of the OMS development is followed. The petrological and geochemical pattern, composition and scales depend on subsequent changes in geodynamic and endogenic regimes of their formation, on a depth of magmatic melt generation and increasing role of the mantle-crust interaction processes.

**Keywords:** ore-forming systems, sulfides, platinoids, copper, nickel, Archaean, Proterozoic.

В сульфидных платиноидно-медно-никелевых и собственно платинометалльных группах месторождений сосредоточены значительные ресурсы стратегически важных металлов. Первая из них является одним из главных источников цветных (никель, медь, кобальт)

и попутно извлекаемых платиновых (платина, палладий, родий, иридий, осмий, рутений) металлов, на долю последних приходится 24 % мировых ресурсов. Вторая группа представлена малосульфидной (2–5 % сульфидов) платинометалльной рудно-

магматической системой (РМС) (около 35 % мировых ресурсов).

Пространственно и генетически связанные с различными по степени дифференцированности вулканическими, вулкано-интрузивными и интрузивными ультрамафит-мафитовыми и мафитовыми сульфидными платиноидно-медно-никелевыми и платино-металльными комплексами месторождения образуют в совокупности с последними специфические РМС, которые рассматриваются нами как целостные природные сообщества магматических и рудных формаций, связанных общностью геодинамических и эндогенных режимов и являющихся производными единых, неоднократно повторяющихся в геологическом времени и пространстве петрорудогенетических процессов, включающих зарождение, перенос и мобилизацию многоэлементного по составу (при ведущей роли Fe, Ni, Cu, S) рудного вещества и несущего (вмещающего) оксидно-силикатного расплава. Во всех известных сульфидных платиноидно-медно-никелевых и малосульфидных платиноталльных месторождениях набор рудных элементов (сидерофильных и халькофильных) остается одним и тем же. Меняются только их количественные соотношения, что определяет специфику РМС конкретных объектов и их разнообразие [1–7]. Следует особо подчеркнуть, что малосульфидное собственно платиноталльное оруденение является лишь одним из компонентов РМС, ассоциирующей с расслоенными интрузиями [8].

### 1. Принципы классификации сульфидных платиноидно-медно-никелевых и платиноталльных РМС

Методологической и методической основой классификации РМС является петролого-генетическая связь между составом рудных компонентов и магматическими породами, как продуктами фракционного плавления вещества первичной мантии, образовавшимися в определенных геодинамических режимах длительной эволюции формирования литосферы. Предложенная, в виде таблицы (табл. 1), применительно к РМС архея и раннего протерозоя, классификация исходит из геологических обстановок нахождения РМС и всей совокупности структурно-вещественных, формационно-генетических и рудно-геохимических параметров: 1) геодинамический режим и тип магмо-рудоконтролирующих структур; 2) рудонесущие магматические формации и слагающие их породные ассоциации; 3) петрогеохимический (по основным породным компонентам) и рудногеохимический (содержание Ni, Cu, платиноидов; соотношение Ni/Cu, Ni/Co, Pt/Pd,  $\delta^{34}\text{S}$  и др.) типы РМС, месторождений и их примеры с оценкой минерально-сырьевого потенциала стратегических металлов.

Рудонесущие ультрамафит-мафитовые породные ассоциации (в рамках РМС) являются составной частью достаточно определенных структурно-вещественных комплексов (СВК) и отражают различные временные этапы формирования коры континенталь-

ного типа и энергетического взаимодействия ее с верхней мантией [4, 9–12].

### 2. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые высокомагнезиальные (коматиитсодержащие) рудообразующие системы раннего архея

Структурно-вещественные комплексы раннего архея, сформировавшиеся в условиях последовательной смены первично мобильного (межплумового торошения) состояния коры относительно устойчивым (квазикратонным с образованием разномасштабных нуклеократонов), характеризуются в целом малой металлогенической продуктивностью. Незначительные по промышленной значимости сульфидные медно-никелевые месторождения присутствуют лишь в базит-гипербазит-кварцит-сланцевом и коматиит-толеитовом СВК и образуют по существу две вещественно близкие, но фациально различные РМС. Одна из них ассоциирует с вулкано-интрузивными комплексами, включающими толеитовые ("примитивные") повышенно-железистые базальты и комагматичные им многочисленные слабо дифференцированные мелкие тела ультрамафит-мафитового состава, концентрирующие небольшие по масштабам месторождения и рудопроявления в интрузивах (Ман-Шолл (Австралия); Муйская глыба Байкальской складчатой области; Ловноозерская группа (?) БЩ; Бесединская группа, ВКМ). Другой разномасштабный по ресурсам тип сульфидно-никелевой РМС связан с умеренно-магнезиальными коматиит-базальтовыми вулканитами, а также небольшими телами комагматичных ультрамафитов (Рут-Уэлл, блок Пилбора (Австралия); Бон-Акорд, поле Барбертон (Южная Африка); Сальнотундровская группа БЩ; Среднебугская группа УЩ), часть из которых представляет собой, по-видимому, кумулятивные сегрегации тех же сильно перегретых родоначальных магм.

Петролого-геохимический облик раннеархейских РМС определяется [1, 6–10, 13–17]: 1) значительно преобладающей ролью вулканических образований в составе вулкано-интрузивных ассоциаций; 2) слабо контрастным химическим составом вулканических и интрузивных породных групп и их петрохимической комплементарностью; 3) устойчиво высокой, характерной для начальной эволюции Земли, железистостью ( $\Sigma\text{FeO} > 10\%$ ), повышенной магнезиальностью ( $10 < \text{MgO} < 40$ ), пониженной щелочностью ( $0,2\text{--}1,2\%$ ) при слабо натриевом ( $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ) её профиле; 4) крайне малой степенью дифференцированности в спектрах когерентных (Ti, V, Cr, Ni, Co, и др) и некогерентных (Li, Na, K, Rb, Cs, Sr, Ba и др.) ультраосновным-основным расплавам элементов; близкими к единице величинами Cr/Ti, Pt/Pd отношений; низкими (близкими к коматиитовым расплавам) концентрациями РЗЭ с незначительным отрицательным экстремумом европия; незначительным преобладанием CaO над  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; повышенным содержанием хрома (до 0,3–0,4 мас. %); 5) наиболее низкими концентрациями U и Th, свидетельствующими

Таблица 1  
 Главнейшие типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых высокомагнезиальных (коматитовых) РМС архей и раннего протерозоя (по [6, 7]; с доп.)\*

| Возраст, млрд. лет | Геодинамические режимы  | Типы магмарудоконтролирующих структур   | Типы рудоносных магматических формаций (РМФ)  |  | Петрохимические рудно-геохимические типы РМС |       |       |       |                  | Примеры рудных районов и месторождений |  |
|--------------------|---|---|---|--|--|-------|-------|-------|------------------|--|--|
|                    |   |   | эффузивные  | интрузивные  | MgO  | Ni:Cu | Ni:Co | Pd:Pt | $\delta^{34}S\%$ |  |  |
| Нижний протерозой  | Энсиалического рифтогенеза с проявлениями субдукции, коллизии, аккреции   | Рифтогенные и линейные зоны повышенной проницаемости ("верхние" зеленокаменные пояса)                 | Вулкано-плутоническая коматит-базальтовая (кейпмитовский тип) и дунит-перидотит-пироксенитовая расслоенная (тип Томпсон-Пайп) | 1.1. Кейпмитовский высокомагнезиальный медно-никелевый             |  |       |       |       |                  |  | Ист-Лейк, Катининг (рудный район Рэглэн, Канада)   |
|                    |   |   |   | 20-30<br>10-45   | 3-10   | >50   | 1-3   | 4-5   |                  |  |  |
| -2,55-             | Рифтогенные и линейные зоны повышенной проницаемости ("верхние" зеленокаменные пояса)                                 |   |   | 1.2. Тип Томпсон-Пайп высокомагнезиальный медисто-никелевый        |  |       |       |       |                  |  | Томпсон, Пайп-2 (Канада), Кингаш (Восточный Саян, Россия)                                  |
| 28-35<br>25-55     |   |   |   | 10-15  | >40  | 1-5   | -1+-5 |       |                  |  |  |
| Поздний архей      |   |   | Коматит-базальтовая (камбалдйский тип), уль-трамафитовая (коматитовых и толеитовых базальтов)                                 | 2.1. Марджейтский высокомагнезиальный высоконикельстый             |  |       |       |       |                  |  | 1. Маунткейт (Австралия), Дьюмонт (Канада)   |
|                    |   |   |   | 30-45<br>20-50   | 25-75  | 30-70 | 1-2   | -3+-3 |                  |  |  |
| -3,2-              |   |   |   | 2.2. Камбалдйский высокомагнезиальный медисто-никелевый            |  |       |       |       |                  |  | 2. Камбалда (Австр.), Лангмор (Канада), Шангани (Африка), ЗП ВЦ, ВКМ(Россия), УЦ (Украина) |
|                    |   |   |   | 30-45<br>20-45   | 10-25  | 10-25 | 1-2   | -3+-5 |                  |  |  |
| Ранний архей       | Пермобильный (нуклеарный), формирование доменов межшломового торошения с образованием континентальных нуклеократонов) | Ареальные вулканотектонические структуры и магмоподводящие линейменты ("нижние" зеленокаменные пояса) | Примитивная коматит-базальтовая (рут-уэлловский тип)  | 3.1. Мансилл-ловноозерский (?) высокомагнезиальный медно-никелевый |  |       |       |       |                  |  | 1. Ман-Шолл (Австралия), Ловноозеро (Россия)   |
|                    |   |   |   | 10-30<br>5-40  | 3-20   | -     | ~1    | 1+-5  |                  |  |  |
|                    |   |   |   | 3.2. Рутуэлловский высокомагнезиальный медисто-никелевый           |  |       |       |       |                  |  | 2. Рут-Уэлл (Австралия), Бон-Акорд (пояс Барбертон, Ю. Африка)                             |
|                    |   |   |   |  |  |       |       |       |                  |  |  |

Примечание: MgO – мас.%, числитель – пределы изменения средневзвешенных содержания, знаменатель – пределы измененный содержания MgO в РМС.  
 \* При характеристике петро- и рудно-геохимических типов РМС использовались, помимо авторских [6, 7, 13, 14], данные Лихачева [2] и Нандретта [3]

о формировании вулканотрузивных ассоциаций за счет мантийного слабо дифференцированного вещества и крайне ограниченном участии в их образовании корового материала [18, 19, 20]; 6) простотой рудообразующего минерального парагенезиса (пирротин, халькопирит, пентландит ± хромшпинелиды, магнетит, титаномагнетит), заметным преобладанием никеля над медью ( $Ni/Cu = \text{до } 15$ ) и кобальтом ( $10 < Ni/Co < 40$ ), повышенным содержанием ЭПГ и близким к 1 соотношением Pd/Pt.

### 3. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые высокомагнезиальные (коматиитовые) рудообразующие системы позднего архея

Второй, позднеархейский, период геологической истории характеризуется гораздо большим разнообразием структурно-вещественных комплексов [1, 6, 7, 21], локализованных в обособленных друг от друга структурах земной коры, что свидетельствует о заметном возрастании степени дифференцированности и латеральной неоднородности тектонических режимов. С позиции рассматриваемой проблемы главным содержанием периода являются деструкция и рифтинг сравнительно маломощной раннеархейской коры и формирование верхних зеленокаменных поясов, распространенных в пределах эпиплатформенных кратонов всех континентов. Магматизм режима позднеархейского рифтогенеза внутриконтинентальной ТТГ-коры (I этап) с последующей коллизией с элементами субдукции и аккреции (II этап), характеризуется более широкими ассоциациями породных групп, представляющих собой производные как мантийных (дифференцированные серии коматиитов, коматиитовых и толеитовых базальтов и их интрузивные аналоги), так и мантийно-коровых (базальт-риодацитовые, риолитовые, иногда андезитовые вулканы) очагов, что отличает позднеархейские комплексы зеленокаменных поясов от раннеархейских.

Определяющими чертами коматиит-ассоциированных РМС, представляющих собой продукты оливин и гиперстен нормативных слабо недосыщенных  $SiO_2$  магматических расплавов, являются [1, 2, 3, 6, 7, 18, 21]: 1) заметно выраженная контрастность химического состава рудовмещающих пород; 2) высокая магнезиальность ( $MgO = 20\text{--}45\%$ ) и умеренная железистость ( $\Sigma FeO \sim 10\%$ ), низкая щелочность ( $Na_2O > K_2O$ ) и низкие содержания U и Th [19, 20]; 3) обогащенность хромом (до 0,3–0,4%), никелем (0,2–0,3%) и отчасти цинком; 4) меньший, по сравнению с раннеархейскими ультрамафит-мафитовыми формациями, геохимический фон некогерентных элементов и более четко выраженный антагонизм Cr и Ti, Ni и Co, Pt и Pd; 5) существенно пентландит-пирротинный состав руд при ограниченной роли халькопирита (+ высокохромистые цинксодержащие хромшпинелиды, вэсит, миллерит, хизлевудит и др.); высокие содержания в них никеля, при резком преобладании его над медью и кобальтом ( $Ni/Cu > 5\text{--}30$ ,  $Ni/Co > 30$ ); пониженные в целом концентрации ЭПГ (при отно-

шении Pd/Pt = 1–2), нередко проявляющаяся обогащенность изотопно легкой серой (месторождения Лангмюр (поле Абитибби, Канада); Камбалда (Зап. Австралия); Ипок, Шангани (Зимбабве) и др.).

Формирование высокомагнезиальных, богатых никелем и бедных медью сульфидоносных расплавов связано, вероятно, с процессом декомпрессионно-диссипативного плавления верхних горизонтов мантийного и сублитосферного вещества [2, 7] с образованием коматиитовых магм в условиях высокоградиентных ( $> 45^\circ/\text{км}$ ) термальных режимов энсиалического рифтогенеза с внедрением РМС непосредственно их верхних мантийных зон магмообразования с последующей концентрацией сульфидов в определенных горизонтах магматической колонны. Слабо проявленный европиевый минимум указывает на ограниченное участие плагиоклазовой составляющей в исходном коматиитовом расплаве. В этой колонне вулканические (камбалдийский тип месторождений) и комагматичные им дуниты, перидотиты и пироксениты (маунткейтский тип) по существу представляют лишь отдельные звенья единой высокомагнезиальной вулканотрузивной (субвулканической) РМС.

Определяющими параметрами формирования мантийной РМС, установленными на примере позднеархейского Белгородско-Михайловского пояса мегаблока КМА Сарматии являются [22, 23]: 1) температура ликвидуса ( $T_{liq}$ ) = 1582–1624 °С, потенциальная температура мантийного источника ( $T_{pot}$ ) = 1812–1862 °С; 2) величины давления  $P_{CaO} = 9,4\text{--}9,7$  ГПа,  $P_{Al_2O_3} = 11,7\text{--}11,8$  ГПа; 3) суммарная мощность коры, рассчитываемая с использованием показателя потенциальной температуры — 60–70 км. Высокие температуры формирования расплавов и деплетированный состав источника позволяют предположить, что магмогенерация могла реализовываться в условиях воздымающегося истощенного мантийного диапира, являющегося, вероятно, проекцией термального фронта глубинного мантийного плюма в верхние части литосферы. По мере прогрева относительно холодной раннеархейской гранулит-гнейсовой коры происходило вовлечение в высокотемпературную мантийную магматическую систему существенных объемов нижней мафической коры, что привело к формированию контаминированных коматиитовых и высокомагнезиальных базальтов. По распределению РЗЭ высокожелезистые метатолиты соответствуют архейским толщам ТН-1 п К. Конди [24], с практически не фракционированным спектром. Данные Sm-Nd изотопии свидетельствуют о формировании базальтоидов нижней толщи в результате внедрения расплавов мантийного происхождения, претерпевших контаминацию материалом коры [22, 25].

### 4. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые высокомагнезиальные (коматиитовые) рудообразующие системы раннего протерозоя

При значительно широком развитии архейских рудонесущих зеленокаменных поясов в пределах

докембрийских кратонов всех континентов, существенная роль в промышленном отношении принадлежит сульфидным платиноидно-медно-никелевым рудообразующим системам, ассоциирующим с протерозойскими коматиитсодержащими магматическими комплексами со стратифицированным (снизу вверх) профилем рудных тел (массивные-сетчатые-вкрапленные). К их числу относятся никеленосный пояс Томпсон (Манитоба, Канада), тектонический пояс Кейп-Смит (Квебек, Канада), Канский зеленокаменный (базальт-коматиитовый) пояс, Кингашский рудный район (возраст 2300 млн лет; Восточный Саян, Россия) [26, 27].

В пределах тектонического пояса Кейп-Смит находятся несколько сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений (Ист-Лейк, Катиннинг, рудный район Рэглен), ассоциирующих с ультрамафит-мафитовыми (коматиитсодержащими) вулканитами, включая подводящие каналы (возраст 1,95–1,90 млрд лет) начальной стадии базальт-коматиитового магматизма, сформировавшимися в условиях рифтинга с последующим проявлением процессов субдукции, коллизии и аккреции [28, 29]. Рудномагматическая система типа Томпсон представлена крупными месторождениями – Томпсон и Пайп-2, связанными с ультрамафит-мафитовыми вулканитами и преимущественно их комагматами – дифференцированными дунит-перидотит-пироксенитовыми силлоподобными интрузивами и субвулканическими телами.

К типу РМС Томпсон-Пайп в известной мере можно отнести раннепротерозойские (2300 млн лет) коматиитсодержащие мафит-ультрамафитовые силлоподобные тела, с которыми связаны преимущественно бедные медно-никелевые месторождения (Кингашское месторождение).

Раннепротерозойские высокомагнезиальные РМС типа Томпсон-Пайп и кейпсмитовского типа, принадлежащие, по существу, к единой комагматичной вулкано-интрузивной ассоциации, по комплексу геодинамических, структурно-вещественных, петро- и рудно-геохимических и другим параметрам, близки позднеархейским сульфидным медно-никелевым высокомагнезиальным (коматиитсодержащим) РМС камбалдийского и маунткейтского типов [2, 3, 6, 7, 18, 28].

Типовыми определяющими признаками коматиитсодержащих РМС раннепротерозойского периода являются: 1) комплементарность химического состава вулкано-интрузивных рудовмещающих пород; 2) высокая магнезиальность ( $MgO = 20-35$ ), умеренная железистость ( $\Sigma FeO \sim 10\%$ ), низкая щелочность ( $Na_2O > K_2O$ ); 3) более низкая, по сравнению с позднеархейскими РМС, концентрация хрома и отчасти цинка, а также геохимический фон некогерентных элементов и более четко выраженный антагонизм Ti и Cr, Ni и Co, Pt и Pd; 4) преимущественно пирротин-пентландитовый состав руд при пониженных содержаниях халькопирита; 5) типичное для коматиит-ассоциированных месторождений существенное преобладание никеля над медью и кобальтом ( $Ni/Cu > 3-15$ ,  $Ni/Co > 40-50$ ) и палладия

над платиной ( $Pd/Pt = 1-5$ ); обогащенность  $\delta^{34}S$  (от -1 до 5 ‰); 6) деплетированная природа мантийного расплава, ассимилированного вмещающими осадочными породами [3, 18, 28, 29].

### Выводы

1. Смена архейского пермодального (нуклеарного) геодинамического режима позднеархейским-нижнепротерозойским рифтогенезом с последующими процессами субдукции, коллизии и аккреции сопровождаются появлением для каждого этапа формирования континентальной коры специфических типов РМС и ассоциирующих с ними сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений. Эти же факторы, контролирующие глубинность генерации магматических расплавов, процессы мантийно-корового взаимодействия и условия формирования РМС, определяют петролого-геохимический облик, состав и масштабы месторождений.

2. Эволюционная направленность развития сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС прослеживается: а) в снижении роли глубинной и возрастания роли камерной дифференциации и расслоения; б) уменьшении железистости и магнезиальности при одновременном увеличении кислотности, известковистости, щелочности (при ведущей роли натрия), титанистости, а также степени дифференцированности в спектрах когерентных и некогерентных ультрамафит-мафитовым расплавам элементов; в) усложнении рудообразующих минеральных парагенезисов сульфидных медно-никелевых месторождений и геохимического спектра слагающих их руд при значительном преобладании никеля над медью и кобальтом, возрастании роли изотопно тяжелой серы и увеличении Pd/Pt отношения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров, В. Л. Ультрамафит-мафитовый магматизм гранит-зеленокаменной области КМА / В. Л. Бочаров, С. М. Фролов, А. Н. Плаксенко. – Воронеж. – 1993. – 176 с.
2. Лихачёв, А. П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. / А. П. Лихачёв. – М.: Эслан. – 2006. – 496 с.
3. Налдретт, А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд / А. Дж. Налдретт. – Санкт-Петербург: СПбГУ. – 2003. – С. 487.
4. Рундквист, Д. В. Металлогения рядов геодинамических обстановок раннего докембрия / Д. В. Рундквист, М. В. Минц, Н. М. Чернышов [и др.]. – М.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 1999. – 399 с.
5. Чернышов, Н. М. Гипербазиты КМА / Н. М. Чернышов, В. Л. Бочаров, С. М. Фролов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та. – 1981. – 252 с.
6. Чернышов, Н. М. Структурно-вещественная эволюция сульфидно-никелевых рудномагматических систем докембрия / Н. М. Чернышов – Геология и геофизика, 1991. – № 6. – С.11–19.
7. Чернышов, Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2004. – 448 с.
8. Чернышов, Н. М. Платиноносные формации Воронежского кристаллического массива и их место в общей модели формирования докембрийской литосферы (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова // Платина России. – Изд-во Красноярского НИИ «Геологии и минерального сырья», г. Красноярск, 2011. – Т. VII. – С. 161–181.

9. Чернышов, Н. М. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов, И. П. Лебедев, Ю. Н. Стрик // Геотектоника, 1997. – № 3. – С. 21–30.
10. Чернышов, Н. М. Главнейшие типы геодинамических и минерагенических рядов в общей модели формирования докембрийской литосферы (на примере ВКМ) / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2011. – № 2. – С. 47–58.
11. Светов, А. И. Мезоархейские коматитит-базальтовые комплексы: литогеохимические типы и их роль в архитектуре ранней континентальной коры: мат-лы XII Всероссийского петрографического совещания «Петрография магматических и метаморфических горных пород» / А. И. Светов. – Петрозаводск. – 2015. – С. 26–29.
12. Куликов, В. С. Коматититы и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита. / В. С. Куликов, В. В. Куликова, А. И. Светова, М. Б. Раевская. – Л: Наука, 1988. – 193 с.
13. Чернышов, Н. М. Типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудномагматических систем различных геодинамических режимов развития ВКМ (систематика, состав, граничные признаки, основные черты эволюции) / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 1998. – Вып. 6. – С. 70–80.
14. Чернышов, Н. М. Главнейшие типы сульфидно-никелевых рудномагматических систем Украинского щита, их положение в общей систематике и последовательность прогнозной оценки / Н. М. Чернышов, И. Б. Щербаков, К. В. Когут // Геол. журн., 1989. – № 6. – С. 13–26.
15. Чернышов, Н. М. Минерагения докембрийских ультраосновных-основных комплексов различных геодинамических режимов формирования коры континентального типа ВКМ (Центральная Россия). Статья 1. Минерагения высокомагнезиальных вулcano-интрузивных комплексов раннеархейского геодинамического цикла формирования коры континентального типа ВКМ / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова, М. В. Рыборак, Е. М. Боброва // Вест. Воронеж. гос. ун-та, Сер.: Геология. – Воронеж. – 2015. – № 4. – С. 66–74.
16. Грудинин, М. И. К вопросу о никеленосности ультрамафит-мафитовых комплексов архейских кратонов СССР / М. И. Грудинин, Н. М. Чернышов // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири, Дальнего Востока. – Апатиты. – 1988. – С. 34–36.
17. Чернышов, Н. М. Платиноносные и золото-платиноносные формации Воронежского кристаллического массива при различных геодинамических режимах формирования докембрийской литосферы. / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова // Литосфера, 2012. – № 1. – С. 122–146.
18. Sproule, R. A. Spatial and temporal variations in the geochemistry of komatiitic in the Abitibi greenstone belt / R. A. Sproule, C. M. Leshner, J. A. Ayer, P. S. Thurston, C. T. Herzberg // Precambrian Research, 2002. – № 115. – P. 153–186.
19. Ножкин, А. Д. Радиоактивные элементы в породах раннего докембрия (на примере КМА) / А. Д. Ножкин, Е. М. Крестин. – М.: Наука. – 1984. – 126 с.
20. Крестин, Е. М. Первая находка коматититов в СССР / Е. М. Крестин // Доклады академии наук СССР, 1978. – Т. 242. – № 2. – С. 412–415.
21. Чернышов, Н. М. Минерагения докембрийских ультраосновных-основных комплексов различных геодинамических режимов формирования коры континентального типа ВКМ (Центральная Россия). Статья 2. Состав и минерагения вулcano-интрузивных высокомагнезиальных образований позднеархейского геодинамического цикла формирования коры континентального типа ВКМ / Н. М. Чернышов, М. В. Рыборак, Е. М. Боброва, А. Ю. Альбеков, М. Н. Чернышова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та, Сер.: Геология. – Воронеж. – 2016. – № 1. – С. 83–91.
22. Чернышов, Н. М. Первые данные по Sm-Nd изотопии коматитит-толеитовой ассоциации центральной части Львовско-Ракитнянского зеленокаменного пояса КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, М. В. Рыборак, В. М. Саватенков, А. Ю. Альбеков, Е. М. Соловьева // Доклады Академии наук, – 2012. – Т. 447. – № 1. – С. 86.
23. Чернышов, Н. М. Вещественный состав и условия образования позднеархейских зеленокаменных поясов Курского блок Сарматии: мат-лы XII Всероссийского петрографического совещания «Петрография магматических и метаморфических горных пород» / Н. М. Чернышов, М. В. Рыборак, Е. М. Боброва. – Петрозаводск. – 2015. – С. 41–43.
24. Конди, К. Архейские зеленокаменные пояса / К. Конди. – М.: Мир. – 1983. – 390 с.
25. Goldstein, S. J. Nd and Sr isotopic systematics of rever water suspended material: Implications for crustal evolution / S. J. Goldstein, S. B. Jacobsen // Earth and Planetary Science Letters, 1998. – V. 87. – P.249–265.
26. Чернышов, А. И. Кингашский мафит-ультрамафитовый массив: геологическое положение, внутреннее строение, вещественный состав и петроструктурный анализ ультрамафитов (Восточный Саян) / А. И. Чернышов, А. Д. Ножкин, С. И. Ступаков // Платина России. – М. – 2004. – Т. V. – С. 152–175.
27. Глазунов, О. М. Геохимия и условия концентрирования платиноидов на Кингашском месторождении Восточного Саяна / О. М. Глазунов, В. И. Богнибов, А. Г. Еханин // Платина России. – М. – 2004. – Т. V. – С.176–194.
28. Leshner, C. M. Lithology and Physical Volcanology of komatiitic Peridotite-Gabbro Complexes in the Raglan Block / C. M. Leshner, F. Thibert, S. L. Gillies, C. M. Stilson, J. L. Thacker, D. A. Williams // Chapter 4. In Komatiitic Peridotite-Hosted Ni-Cu-(PGE) Deposits of the Raglan Area, Cape Smith Belt, New Quebec. Guidebook Series, – V. 2. – Mineral Exploration Research Centre, Laurentian University, Sudbury, 1999. – P.43–60.
29. Leshner, C. M. Localization and genesis of komatiite-associated Fe-Ni-Cu sulfide mineralization at Cambalda, Western Australia / C. M. Leshner // Unpub. Ph. D. thesis, Univ. of Western Australia, 1983. – 318 p.

Воронежский государственный университет

Чернышов Николай Михайлович, член-корреспондент Российской академии наук, заслуженный деятель науки РФ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии, петрографии и геохимии), руководитель НОЦ «Геология рудных месторождений Центральной России» ВГУ-ИГЕМ РАН  
E-mail: petrology@list.ru  
Тел.: +7(473) 220-86-81

Voronezh State University

Chernyshov N. M., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Researcher of RF, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry, Head of Centre for Research and Education "Geology of ore deposits of Central Russia" at VSU-IGEM RAS  
E-mail: petrology@list.ru  
Tel.: +7(473) 220-86-81