

## МЕСТО И РОЛЬ ДАЕК ПИРОКСЕНИТОВ В СУЛЬФИДНОЙ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДООБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ МАМОНСКОГО ТИПА

М.Н. Чернышова

Воронежский государственный университет

Выделено два вида внутрирудных дайковых пироксенитов, минералого-петрографические и петрохимические особенности и степень рудоносности которых определяется их принадлежностью к последовательно сменяющимся во времени мамонскому (существенно ультрамафитовому) и ширяевскому (мафит-ультрамафитовому) типам интрузивов в составе единой дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой формации (в объёме мамонского никель-платиноносного комплекса). Выявлена высокая степень комплементарности состава промышленно-рудноносных ортопироксенитов мамонского типа и крайне бедных по содержанию Ni, Cu, Co и платиноидов титанисто-роговообманковых вебстеритов ширяевского типа. Установлены место и рудообразующая роль даек пироксенитов в общей модели формирования сульфидной платиноидно-медно-никелевой рудообразующей системы.

Воронежский кристаллический массив (ВКМ) характеризуется значительным многообразием ультрамафит-мафитовых формаций.

В соответствии с геодинамической моделью развития ВКМ, в его пределах выделяют шесть типов ультрамафит-мафитовых и мафитовых формаций [1, 2, 11, 20]: 1) *бесединский* тип (вулканно-плутоническая-пикрит (коматиит ?) — базальтовая и комагматичная перидотит-пироксенит-габброноритовая в объёме бесединского комплекса); 2) *олимпийский* (вулканно-плутоническая коматиит-базальтовая и базальт-риодацитовая в рамках михайловской серии и дунит-перидотитовая в рамках сергеевского или железногорского комплекса); 3) *мамонский* (дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовая); 4) *еланский* (ортопироксенит-норит-диоритовая); 5) *шукавский* (верлит-габбродиабазовая); 6) *смородинско-новогольский* (троктолит-габбродолеритовая, трапповая). Каждая из этих формаций сопровождается разномасштабным сульфидным медно-никелевым оруденением, образуя в совокупности рудномагматические системы (РМС) [19].

При достаточно широком проявлении в докембрийском фундаменте разномасштабного сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения, наиболее важные в промышленном отношении сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения (Нижнемамонское, Подколodновское,

Еланское и др.) и многочисленные рудопроявления связаны лишь с интрузивами двух раннепротерозойских формаций: а) дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой зон рассеянного спрединга (мамонский комплекс, 2100-2080±10 млн лет [12, 16, 17]); б) субвулканической ортопироксенит-норит-диоритовой реактивизированных структур рифтогенного типа (еланский комплекс, 2065-2050±14 млн лет [13, 16, 17]). Пространственно они целиком располагаются в раннекарельском Воронцовском эпикратонном прогибе Хоперского мегаблока (Рис. 1)

В составе никель-платиноносного дунит-перидотит-габброноритового мамонского комплекса выделяется [4, 9, 10, 7] несколько групп (типов) интрузивных тел, сформировавшихся, вероятно, в условиях неодинаковых уровней магмагенерации или очаговых зон и различающихся по структурному положению, составу породных групп и минеральных парагенезисов, полноте дифференцированности, степени рудоносности: 1) ранние ультрамафитовые высоко ( $MgO > 30\%$ ) — и умеренномагнезиальные ( $20 < MgO < 30\%$ ) бесполовошпатовые (мамонский тип), в разной мере дифференцированные, промышленно рудоносные (Нижнемамонское и Подколodновское месторождения); 2) ультрамафит-мафитовые умеренно магнезиальные ( $8 < MgO < 25\%$ ) камернодифференцированные (расслоенные) с амфибол (титанистая роговая обманка)-плагиоклазсодержащим типом ультрамафитов (ширяевский тип) и с плагиоклазсодержащими умеренно-магнезиальными ( $12 < MgO < 27\%$ ) ультра-

Место и роль даек пироксенитов в сульфидной платиноидно-медно-никелевой рудообразующей системе мамонского типа

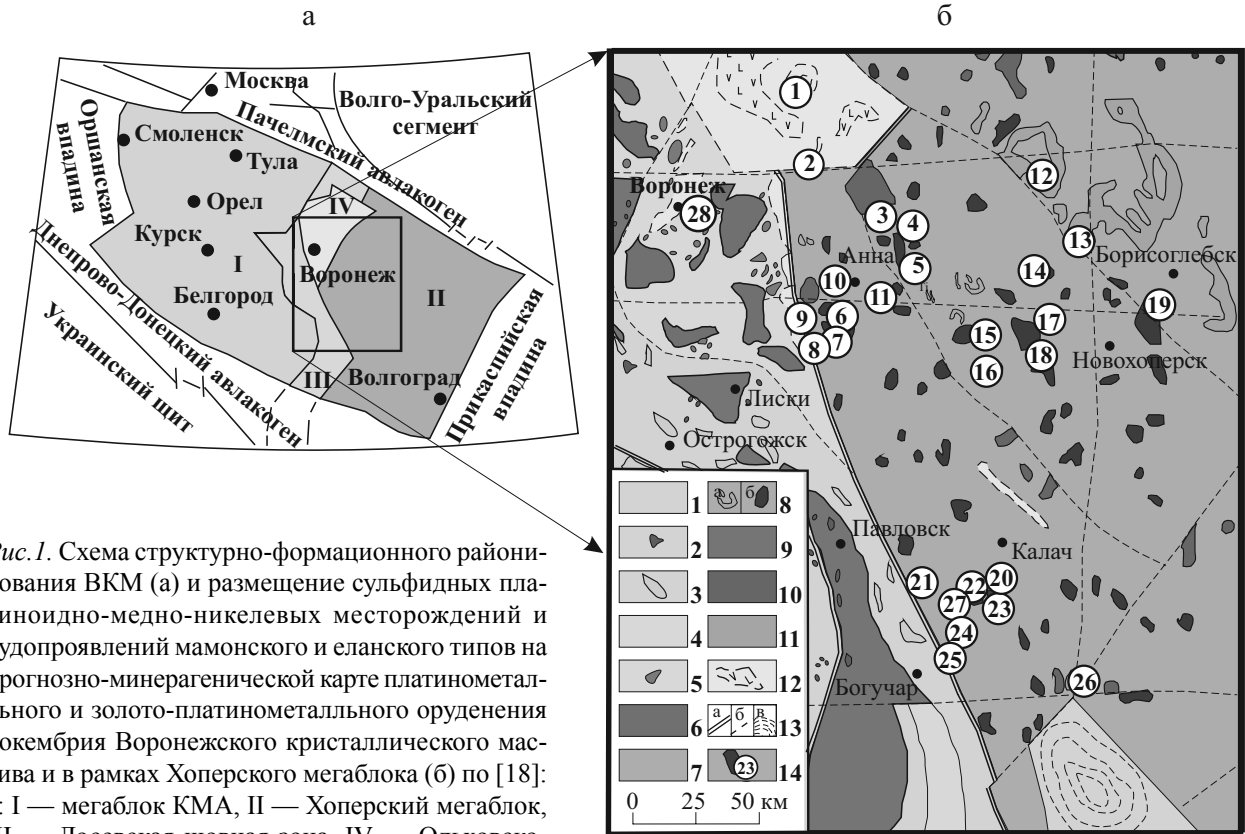


Рис. 1. Схема структурно-формационного районирования ВКМ (а) и размещение сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений и рудопроявлений мамонского и еланского типов на прогнозно-минерагенической карте платинометалльного и золото-платинометалльного оруденения докембрия Воронежского кристаллического массива и в рамках Хоперского мегаблока (б) по [18]: а: I — мегаблок КМА, II — Хоперский мегаблок, III — Лосевская шовная зона, IV — Ольховско-

Шукавская грабенсинклинали; б: 1 — (AR<sub>0b</sub>) — обоянский гранулит-мигматит-гнейсовый комплекс; 2 — (AR<sub>2bg</sub>) — белогорьевский комплекс базит-гипербазитов; 3 — (AR<sub>2mh</sub>) — михайловская осадочно-вулканогенная (коматиит-базальтовая и базит-риодацитовая) серия; 4 — (AR-K<sub>1ls</sub>) — лосевская базальт-риолит-дацитовая серия; 5 — (K<sub>1r</sub>) — габброиды рождественского комплекса; 6 — (K<sub>1us</sub>) — усманский комплекс тоналит-плагиогранитов; 7 — (K<sub>1vc</sub>) — воронцовская углеродисто-терригенно-сланцевая серия; 8 — трахибазальтовая (K<sub>2rp</sub> — панинская толща), сиенитовая и щелочно-сиенитовая (K<sub>2ag</sub> — артюшковский комплекс) формации; (K<sub>1e</sub>, K<sub>1m</sub>) — еланский и мамонский комплексы базит-гипербазитов; 9 — (K<sub>1p</sub>) — мигматит-гранит-граносиениты павловского комплекса; 10 — субщелочные граниты бобровского комплекса; 11 — (K<sub>2n</sub>) — траппы новогольского комплекса; 12 — вулканогенно-осадочная формация (K<sub>1vt</sub> — воронежская свита); верлит-габбровая (K<sub>1sk</sub> — шукавский комплекс) и габбронорит-кварцмонзонит-гранитная формации (K<sub>1ol</sub> — ольховский комплекс); 13: а — региональные глубинные разломы, б — разрывные нарушения, в — купольные структуры; 14 — месторождения, рудопроявления и потенциально перспективные участки.

мафитами (елань-вязовский тип); 3) количественно преобладающие слабодифференцированные и недифференцированные безрудные габброноритовые, габбровые и габбродиоритовые (MgO<8%) интрузивы (каменский тип), завершающие становление всей никеленосной формации.

Петролого-геохимическая и рудногеохимическая индивидуальность интрузивов мамонского комплекса определяется [3,5,8,9,10,14]: а) обширным сингенетически родственным рядом пород (от дунитов до диоритов) и значительными вариациями состава породообразующих минералов с последовательным увеличением железистости оливина (Fa<sub>14-53</sub>), орто- (Fs<sub>15-43</sub>) и отчасти клинопироксена (Fs<sub>8-32</sub>), снижением анортитового компонента в по-

левых шпатах (An<sub>75-35</sub>), появлением ортоклаза в интрузивных дифференциатах елань-вязовского и титанистой роговой обманки (TiO<sub>2</sub> до 10%) в ширьевском типах интрузий; б) апатит-хромшпинелид-сульфидно-магнетитовой (бадделейт, муассанит, циркон) акцессорной минеральной ассоциацией; в) повышенной и умеренной магнезиальностью при повышенной железистости (10<ΣFeO<15%), SO<sub>3</sub>(0,5-0,8%) и отчетливом накоплении TiO<sub>2</sub> (от 0,3 до 1,4%), щелочей (от 0,2 до 8,1%) при возрастающей роли K<sub>2</sub>O (относительно Na<sub>2</sub>O), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(до 0,8%); г) четким обособлением рудообразующей (Fe-Ni-Cu-Co-S) ассоциации от силикатного (Si, Mg, Ca, Al) парагенезиса в ультрамафитах рудоносных интрузий в отличие от безрудных; д) близким к

метеоритному составом серы, преобладанием Ni над Cu в ультрамафитах ( $Ni/Cu > 1,5-2$ ;  $Ni/Co > 7-10$ ) и Cu над Ni в мафитах ( $Ni/Cu < 0,9$ ); е) приуроченностью преимущественно бедных ( $Ni=0,21-0,75\%$ ;  $Cu=0,12-0,7\%$ ;  $Co=0,04\%$ ), менее распространенных густовкрапленных ( $Ni=0,30-3,14\%$ ;  $Cu=0,10-1,30\%$ ;  $Co$  до  $0,05\%$ ) и реже массивных и брекчиевидных ( $Ni=1,67-5,93\%$ ;  $Cu=0,15-4,01\%$ ;  $Co=0,08-0,23\%$ ,  $\Sigma П > 0,5$  г/т,  $Pd/Pt=0,9-1,9$ ;  $\delta^{34}S$  близка к метеоритному) платиноидно-медно-никелевых руд к тем частям разреза интрузивов, которые наиболее обогащены оливином и характеризуются многократным чередованием дунитов, перидотитов, пироксенитов; ж) ведущей ролью в минеральном парагенезисе пирротина (80-90%) при близких количественных соотношениях халькопирита и пентландита, постоянным присутствием хромшпинелидов и магнетита, крайне редко — арсенидов и сульфоарсенидов Ni, Co, а так же молибденита, сфалерита, кубанита, миллерита и др.

Важнейшим компонентом сульфидной платиноидно-медно-никелевой РМС мамонского типа, являются дайковые образования, состав и характер распределения которых, в значительной мере, определяется структурно-вещественным типом интрузивов.

В их составе интрузий выделен ряд формационно и генетически разнотипных групп дайковых образований: а) производные самих никель-платиноносных комплексов, представленные перимагматическими (дайки-апофизы интрузивных эквивалентов во вмещающих породах) и интрамагматическими (жильными отщеплениями интеркумулусного расплава автономно кристаллизующихся магматических систем в конечной магматической камере — интрузивах) дайками; б) жильные образования (силлы, дайки-апофизы), связанные с более поздними, различными по возрасту составу и формационной принадлежности интрузивными комплексами; в) гетерогенные по генетической природе и составу дайки лампрофиров [22, 23, 25].

В определении места и роли даек в общей модели формирования сульфидной платиноидно-медно-никелевой РМС особая роль принадлежит интрамагматической группе даек мамонского (орто- и клинопироксениты, вебстериты, горнблендиты, микрогаббро, габбро-порфириты, габбродиориты, диориты, диоритовые порфириты) комплекса, характеризующиеся тесной пространственно-временной связью с определенными интрузивными дифференциатами, с которыми они образуют единый сингенетически родственный ряд пород с

общей гомодромной направленностью процесса их формирования [22, 23].

## 1. РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ ДАЕК ПИРОКСЕНИТОВ, ИХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА

Среди этой группы даек особое значение имеют дайки пироксенитов, принадлежность которых к различным структурно-вещественным типам интрузий мамонского комплекса отчётливо сказывается на их положении в общей модели формирования сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС и ее рудонесущей роли.

Наибольшей частотой встречаемости жильных пироксенитов характеризуются [18,22,25] дифференцированные рудоносные интрузии мамонского (8,2% от всех дайковых пород) и ширяевского (9,4%) типов. Крайне редко они отмечаются среди плутонов елань-вязовского типа и полностью отсутствуют в мафитовых телах каменского типа, завершающих становление мамонского комплекса. Неодинакова и роль отдельных видов и разновидностей жильных пироксенитов, среди которых вебстериты и клинопироксениты значительно преобладают над ортопироксенитами (1,2% в мамонском типе и около 2% — в ширяевском). Во всех случаях дайки пироксенитов располагаются преимущественно среди ультрамафитовых дифференциатов или, совместно с горнблендитами, образуют сложные дайковые тела.

Важно подчеркнуть, что наибольшим разнообразием характеризуются дайковые пироксениты, располагающиеся среди дифференцированных ультрамафитовых интрузий мамонского типа, с которыми ассоциируют известные сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения (Нижемамонское, Подколдновское, Юбилейное) и рудопроявления (Астаховское, Аннинское и др.). В пределах таких интрузий, помимо даек ортопироксенитов (бронзититов), вебстеритов и клинопироксенитов (диопсидитов), являющихся вероятным интеркумулусным продуктом кристаллизующихся высокомагнезиальных расплавов — ультрамафитовых дифференциатов мамонского типа [21, 23], нередко встречаются более поздние дайки титанитороговообманковых и плагиоклаз-титанитороговообманковых пироксенитов ширяевского типа со специфическим типом сульфидных руд и ксенолитами апоперидотитовых серпентинитов и роговикоподобных пород [23].

*Место и роль даек пироксенитов в сульфидной платиноидно-медно-никелевой рудообразующей системе мамонского типа*

Различные по мощности (от 0,2 до 10—12 м) жильные тела пироксенитов располагаются среди дунитов, перидотитов и их серпентинитов (Нижнемамонское месторождение, Ширяевский, Старомеловатский и другие интрузивы), лерцолитов и оливин-роговообманковых пироксенитов (Большемартыновский, Сухоберезовский интрузивы), пироксенитов и горнблендитов (Астаховское рудопроявление). В большинстве случаев массивные и иногда такситовые средне- и преимущественно мелкозернистые жильные пироксениты имеют отчетливые рвущие контакты с дунитами и перидотитами; среди других разновидностей ультрамафитов они контрастно выделяются своим мелкозернистым обликом.

По условиям залегания, структурно-текстурным, минералого-петрографическим особенностям и степени рудоносности, среди дайковых пироксенитов, выделяются два типа: а) ранние, комагматичные ультрамафитам мамонского промышленно-рудоносного типа интрузий, представ-

ленные преимущественно ортопироксенитами и, в меньшей мере, вебстеритами и диопсидитами, являющиеся вероятным интеркумулусным продуктом кристаллизующихся высокомагнезиальных (дунит-перидотитовых) расплавов; б) поздние, в основном вебстерит, представляющие собой плагиоклаз-титанистороговообманковые дериваты ультрамафит-мафитовых интрузий ширяевского типа, формированию которых предшествовало становление магматических тел ультрамафитового состава [23].

Тесная пространственно-временная ассоциация жильных пироксенитов с различными, по структурно-вещественным и, типами интрузий мамонского комплекса, сказалась на количественно-минералогических (табл. 1) особенностях и составе слагающих их минералов (табл. 2).

Жильные пироксениты отличаются высокой степенью комплементарности с интрузивными дифференциатами по химическому составу (табл. 3) и наследуют основные петрохимические черты

Таблица 1

*Средний количественно-минеральный состав (об.%) жильных пород семейства пироксенитов-горнблендитов месторождений и рудопроявлений мамонского никель-платиноносного комплекса*

NN	n	Орх	Срх	Hbl	Bt	Pl	Ol	Вторичные, рудные и аксессуарные
<b>Дайковые пироксениты мамонского типа интрузий</b>								
Ортопироксениты	7	80,0–95,0 87,5	1,0–5,0 2,5	2,0–3,0 2,0	±	–	до 10,0	Mt, Sulf, (1,0–3,0), Srp, Act, Tr, +Chl, Tlc, Car
Вебстериты	5	10,0–25,0 13,5	50,0–75,0 58	1,0–10,0 5,7	±	0,0–15,0 3,0	±	Sulf, Mt, Crsp, (1,0– 3,0), +Ap, Tr, Act, Spn, Chl (1,0–5,0)
Клинопироксениты (диопсидиты)	9	2,0–7,0 5,0	60,0–75,0 70,0	1,0–5,0 3,0	–	0,5–1,5 1,0	–	Mt, Sulf (1,0–3,0) Tr, Chl, +Spn (1,0– 3,0)+
<b>Дайковые пироксениты ширяевского типа интрузий</b>								
Титанисторогово-обманковые пироксениты (вебстериты)	7	12-30 13,7	27,0-65 57,0	5,0-45,0 12,3	0,3-1,0 0,4	3,0-35,0 3,1	5,0-30,0 4,2	Sulf (3,0-35,0) Crsp, Mt (1,0-3,0) Act, Tr, Srp, Chl (2,5-10,0) Timt, Ilm (0,1-3,0)

*Примечание:* Условные обозначения минералов (по Cretz, 1991 с дополнениями): Act — актинолит, Ab — альбит, An — анортозитовая составляющая в плагиоклазе, Am — амфиболы, Ap — апатит, Bt — биотит, Car — карбонаты, Cr — халькопирит, Chl — хлорит, Срх — клинопироксен, Crsp — хромшпинель, Di — диопсид, En — энстатит, Fa — фаялитовая составляющая в оливине, Hbl — роговая обманка, Ilm — ильменит, Mt — магнетит, Ol — оливин, Or — ортоклаз, Орх — ортопироксен, Pn — пентландит, Phl — флогопит, Pl — плагиоклаз, Py — пирит, Po — пирротин, Px — пироксен, Q — кварц, Srp — серпентин, Spl — шпинель, Sulf — сульфиды, Tlc — тальк, Timt — титаномангнетит, Tr — тремолит, n — количество подсчетов; в числителе — пределы колебаний, в знаменателе — средние значения (в об.%)

Сравнительная характеристика состава породообразующих и некоторых акцессорных минералов жильных пироксенитов, комагматических рудоносным ультрамафитовым дифференциатам мамонского и ширяевского типа

Минералы	Ортопироксениты и вебстериты (мамонский тип)	Титанистороговообманковые вебстериты (ширяевский тип)
1	2	3
Оливин	Ведущий (до 10 об. %) минерал в ортопироксенитах и вебстеритах (Fa <sub>18-23</sub> ). Мелкоагрегатные скопления и вростки в пироксене; дефицит Si и наличие Al в анионной группе; повышение содержания CaO (монтichelлитовый компонент), Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ni, Co	Существенные вариации содержаний (5,0-30,0 об. %) и состава; наличие двух генераций — Fa <sub>18-20</sub> и Fa <sub>25-28</sub> ; идиоморфные кристаллы и вростки, повышенное содержание CaO, TiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .
Ортопироксен	Широкое развитие в ортопироксенитах, повышенное в вебстеритах и крайне ограниченное в клинопироксенитах – Fs <sub>12-25</sub> ; дефицит Si в анионной группе; постоянное присутствие Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; повышенное содержание CaO (Са-гермакитовый компонент); наличие вростков диопсида («бушвельдский» тип), повышенные концентрации Ni, Co, Cu.	Постоянное присутствие – Fs <sub>23-26</sub> ; значительные вариации ∑ FeO, повышенные концентрации TiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; Наличие пластинчатых вростков диопсид-авгита («стиллоутерский» тип) и вероятное присутствие молекулы Са-чермакита; Присутствие Ni, Co, Cu, V, Ba.
Клинопироксен	Низкое (1,0-5,0 об. %) содержание в ортопироксенитах и значительное (до 50,0-75,0 об. %) в вебстеритах и клинопироксенитах; принадлежность к эндиопсиду и диопсиду (En <sub>42-46</sub> Wo <sub>42-48</sub> Fs <sub>6-15</sub> ); дефицит Si (в ортопироксенитах); повышенное содержание Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cu.	Широкое развитие кристалломорфологическая неоднородность; принадлежность к диопсиду, диопсид-авгиту; повышение концентрации Ni, Cu.
Амфиболы	Преимущественно зелёная (f=25-23 мол. %); принадлежность к многокомпонентной (обыкновенная роговая обманка (Ро)-эдениит-ферроэдениит (Эд)-джесмитит (Дж)±тремолит-ферроактинолитовой (Тр)) серии при пониженном содержании SiO <sub>2</sub> ; дефицит Si и Al в анионной группе.	Преимущественно бурая; крупные (до 3 см) кристаллы содержат включения Ol, Орх, Срх, Ар, Пm; срастания с Sulf; принадлежность к титанистой разновидности Са-амфиболов (f до 46 мол. %) эдениит-парагаситовой серии(±Тр) при ограниченном содержании джесмититового компонента.
Mg-Fe слюды	В минеральном (интеркумулусном) парагенезисе крайне редки; принадлежность к промежуточной биотит-флогопитовой серии (xMg=60-70); дефицит Si и Al в анионном комплексе.	Имеет полигенную природу; в первичном минеральном парагенезисе развиты ограниченно; принадлежность к апатит-флогопитовой серии (xMg>70), постоянное присутствие CaO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .
Полевые шпаты	В первичном минеральном (интеркумулусном) парагенезисе отсутствуют (клинопироксениты) или развиты ограниченно (вебстериты) — An <sub>70-75</sub>	Постоянное присутствие в ассоциации с Vt, Hbl, неравномерное распределение двух генераций (An <sub>65-75</sub> и An <sub>28-38</sub> )
Типы акцессорной минеральной ассоциации	Циркон-апатит-сульфидно(пирротин, пирит, халькопирит±пентландит)-оксидный(хромшпинелид, магнетит, титаномагнетит±ильменит); низко- и умереннохромистые хромшпинелиды(Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> до 45 мас. %) повышенной железистости	Циркон-апатит-сульфидно(пирротин, пирит, халькопирит)-оксидный(титаномагнетит, ильменит±хромшпинелиды); низкохромистые хромшпинелиды(Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <35 мас. %) повышенной железистости и титанистости

различных структурно-вещественных типов интрузивов никель-платиноносного комплекса [23, 26]. В качестве граничных признаков пироксенитов, ассоциирующих с промышленно-рудоносными интрузивами мамонского типа, выступают: а) повышенная магнезиальность (при обычной, для этого вида пород, кремнезёмистости), глинозёмистость и низкая щёлочность (с преобладанием Na над K); б) высокие концентрации рудообразующих элементов. Жильные пироксениты (титанистороговообманковосодержащие вебстериты) ширяевского типа, по сравнению с мамонским, характеризуются более низкими значениями MgO, Ni, Cu, Co и повышенной ролью TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO.

## 2. РУДОНЕСУЩАЯ РОЛЬ ДАЕК ПИРОКСЕНИТОВ И ИХ МЕСТО В ОБЩЕЙ МОДЕЛИ В СУЛЬФИДНОЙ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РМС МАМОНСКОГО ТИПА

В мамонском типе РМС, помимо руд, связанных с кристаллизацией кумулузных силикатов (оливина, пироксена) из сульфидоносных высокомагнезиальных порций расплава и отликвированной интеркумуляусной сульфидной фракции в самих материнских породах интрузивных тел (Нижнемамонское, Подколодновское месторождения), выделено [23, 25] два, различных по содержанию Ni, Cu, Co типа руд, ассоциирующих:

Таблица 3

Средние химические составы (масс. %) дайковых пироксенитов мамонского никель-платиноносного комплекса.

Жильные породы									
Элементы	15(3)	16(6)	17(2)	18(6)	19(1)	20(4)	21(12)	22(8)	23(4)
SiO <sub>2</sub>	48,15	47,52	47,61	41,91	50,19	49,66	46,77	47,95	49,55
TiO <sub>2</sub>	0,60	0,38	0,62	0,53	0,58	0,55	0,96	0,90	0,54
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,57	3,90	3,30	6,28	4,49	7,76	10,58	10,26	14,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,78	3,08	2,13	5,61	4,39	1,86	2,52	4,82	4,12
FeO	7,10	8,60	9,27	7,77	4,55	7,61	8,18	6,19	5,74
MnO	0,16	0,10	0,13	0,09	0,05	0,23	0,09	0,09	0,07
MgO	28,08	20,52	15,94	24,60	19,56	16,48	14,41	13,59	11,55
CaO	2,36	10,99	14,95	5,57	11,31	12,27	11,44	8,97	8,80
Na <sub>2</sub> O	0,38	0,35	0,61	0,89	0,90	1,06	1,67	1,55	2,03
K <sub>2</sub> O	0,11	0,21	0,34	0,42	0,20	0,42	0,85	0,92	0,67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	0,13	0,04	0,23	0,32	0,18	0,19	0,18	0,16
SO <sub>3</sub>	0,86	0,92	0,17	0,90	0,36	0,38	0,43	0,98	0,39
П.П.П.	3,14	2,82	4,26	5,39	2,08	1,79	1,54	2,15	2,57
Сумма	99,48	99,52	99,37	100,19	99,62	99,72	99,63	99,65	100,23
Ni	0,078	0,085	0,014	0,038	0,050	0,020	0,030	0,013	0,015
Co	0,047	0,012	0,007	0,012	0,001	0,002	0,006	0,006	0,004
Cu	0,068	0,080	0,018	0,039	0,013	0,018	0,028	0,030	0,094
Петрохимические коэффициенты									
al'	0,09	0,12	0,12	0,16	0,16	0,30	0,42	0,42	0,65
Na <sub>2</sub> O/ K <sub>2</sub> O	3,45	1,67	1,79	2,12	4,50	2,52	1,96	1,68	3,03
K <sub>Fe</sub>	29,73	36,27	41,69	35,23	31,37	36,49	42,61	44,75	46,05
K <sub>Mg</sub>	70,27	63,73	58,30	64,77	68,63	63,51	57,39	55,24	53,95
K <sub>щ</sub>	1,07	1,19	2,08	2,63	2,48	3,22	5,35	5,63	6,10
M/F	4,38	3,21	3,34	3,41	4,08	3,15	2,46	2,32	2,20

Примечание: 1 – ортопироксениты, 2 – роговообманковые вебстериты, 3 – клинопироксениты (диопсидиты), 4 – титанистороговообманковые пироксениты и плагиопироксениты Ширяевского плутона, 5 – то же среди интрузивов мамонского типа, 6 – роговообманковые вебстериты Елань-Вязовского плутона. \*) в скобках – количество анализов использованных для расчёта средних составов. al' – коэффициент глинозёмистости, K<sub>щ</sub> – коэффициент щёлочности, K<sub>Mg</sub> – коэффициент магнезиальности, K<sub>Fe</sub> – коэффициент железистости.

а) с внутриинтрузивными дайками ортопироксенитов (восточно-садовский тип); б) дайками титанистороговообманковых вебстеритов (ширяевский тип).

### 2.1. ВОСТОЧНО-САДОВСКИЙ ТИП

Близкоодновременные с сингенетическими рудами в ультрамафитах, разномасштабные проявления, ассоциирующие с внутриинтрузивными дайками ортопироксенитов, размещаются в пределах Подколодновского и Аннинского рудных районов. Наиболее высокими концентрациями Ni, Cu, Co отличаются жильные ортопироксениты Восточно-Садовского рудопроявления [23], в котором они инъецируют интрузивное тело, сложенное перидотитами (гарцбургитами, лерцолитами).

Сульфидное медно-никелевое оруденение, ассоциирующее с жильными пироксенитами, выделенное ранее как типично эпигенетическое [6], представлено двумя горизонтами (общей мощностью 6,3 м) вкрапленных, вкрапленно-гнездовых и массивных руд, характеризующихся, в основном, постепенными переходами. В жильных ортопироксенитах Садовского рудопроявления отмечаются небольшие по мощности (10—20 см) прожилки сульфидных руд.

По составу вкрапленные руды являются халькопирит (3—5 иногда до 10 от. %) -пентландит (12—16 %) -пирротиновыми (70—75 %) с невысокими содержаниями (в мас. %) Ni(0,36—0,37), Co(0,02—0,03) и Cu(0,38, в отдельных пробах до 2,4 [23]). Массивные руды принадлежат к пентландит (16—20 %) -пирротиновым (75—83 %) и отли-

чаются высокими концентрациями (мас. %) Ni(2,38—3,4), Co(0,107—0,206), Cu(0,144—0,27).

По содержанию рудообразующих элементов и величинам их отношений (включая распределение Ni, Co, Cu в 100 % сульфидной фазе) руды, ассоциирующие с жильными пироксенитами, обнаруживают значительные черты сходства с вкрапленными и инъекционными рудами Нижнемамонского и Подколодновского месторождений (табл. 4).

Как отмечалось, руды в жильных ортопироксенитах являются халькопирит-пентландит-пирротиновыми и пентландит-пирротиновыми. Помимо пирротина, пентландита, халькопирита и ранее установленных оптическими методами хромшпинелидов, макинавита, ильменита, магнетита, сфалерита, молибденита и графита микроскопическими исследованиями выявлены никелин, кобальтин, герсдорфит [23]. Пирротин слагает отдельные однородные и полисинтетически сдвойникованные (пластинчатые срастания моноклинного и гексагонального пирротина и троилита) зерна и агрегатные скопления. В тесном срастании с ними находятся разнообразные по морфологии выделения пентландита (отдельные идиоморфные и изометричные зерна, цепочкообразные обособления, сложные петельчатые выделения в агрегатах пирротина и лейстовидные выделения в последнем). Халькопирит выполняет межзерновое пространство пирротина и пентландита, слагает прожилки и ксеноморфные выделения среди силикатов, а так же хромшпинелидов, которые, кроме того, присутствуют и

Таблица 4

Содержание рудообразующих элементов (мас. %) и величины их отношений в рудах, ассоциирующих с дайками ортопироксенитов

№№ п/п	S	Ni	Co	Cu	S/Ni	S Ni+Co+Cu	Ni/Cu	Ni/Co	в 100 % сульфидов			
									Fe	Ni	Co	Cu
1(2)*	5,33	0,37	0,025	0,39	14,4	6,8	0,9	14,8	56,41	2,63	0,18	2,78
2(2)	19,57	2,89	0,16	0,21	6,8	6,0	13,8	18,0	55,67	5,61	0,31	0,41
3(7)	6,72	0,76	0,06	0,67	10,0	4,5	1,1	12,7	55,03	3,71	0,24	3,16
4(11)	20,19	2,58	0,11	0,14	7,8	7,13	18,4	23,5	56,63	4,85	0,21	0,26
5(25)	10,27	0,20	0,044	0,19	51,4	23,7	1,1	4,5	60,4	0,74	0,16	0,70
6(4)	3,88	0,29	0,028	0,42	63,4	5,3	0,7	10,4	54,78	2,84	0,27	4,11

Примечание: 1-2 — вкрапленные (1) и массивные (2) руды, ассоциирующие с жильными пироксенитами Восточно-Садовского рудопроявления; 3, 4 — вкрапленные (3) и инъекционные массивные (4) руды Нижнемамонского и Подколодновского месторождений по [14]. 5 — жильные титанистороговообманковые пироксениты ширяевского типа; 6 — пироксениты интрузивной фации Нижнемамонского и Подколодновского месторождений. Расчет состава сульфидной фазы здесь и далее приведен при S = 38 % по средним содержаниям; \*) в скобках — количество анализов.

*Место и роль даек пироксенитов в сульфидной платиноидно-медно-никелевой рудообразующей системе мамонского типа*

в ортопироксене. В ассоциации с халькопиритом находятся редкие выделения макинавита, сфалерита, молибденита и сульфоарсениды Ni и Co, которые отмечаются и среди пирротина.

Микронзондовыми исследованиями установлено (табл. 5): а) заметное снижение содержания Fe и возрастания Ni в пирротине и пентландите массивных руд по сравнению с вкрапленными; б) появление в массивных рудах арсенидов и сульфоарсенидов Ni и Co и значительные вариации содержания Ni и Co в ряду минералов кобальтин-гер-

сдорфит с образованием промежуточных разновидностей — никелистого и кобальтистого герсдорфита; в) наличие примесей Ni, Cu, Co в молибдените и несколько повышенное содержание (в мас. %) в сфалерите (Zn = 60,0; S = 33,6; Fe = 5,9; Ni = 0,02). По содержанию (мас. %) главных компонентов ( $Cr_2O_3 = 44,42$ ;  $Al_2O_3 = 14,87$ ;  $Fe_2O_3 = 5,38$ ;  $FeO = 24,63$ ;  $MgO = 7,86$ ;  $TiO_2 = 0,58$ ;  $MnO = 0,44$ ;  $ZnO = 0,57$ ;  $V_2O_5 = 0,32$ ;  $NiO = 0,04$ ;  $CoO = 0,07$ ) хромшпинелиды соответствуют алюмохромиту повышенной магнезиальности и в известной

Таблица 5

*Химический состав (мас. %) минералов сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд, ассоциирующих с жильными ортопироксенитами (восточно-садовский тип) и титанистороговообманковыми пироксенитами (ширяевский тип)*

Минералы	n	Fe	Ni	Co	Cu	Mo	S	As	Sb	Сумма
<i>Руды восточно-садовского типа</i>										
1. Вкрапленные руды:										
Пирротин	2	60,35	0,39	0,01	0,01	-	39,70	-	-	100,46
Пентландит	1	33,20	32,60	0,23	-	-	33,10	-	-	99,13
Халькопирит	1	30,40	-	0,07	33,80	-	35,10	-	-	99,37
2. Массивные руды:										
Пирротин	2	58,70	0,65	0,02	-	-	40,25	-	-	99,62
Пентландит	1	31,60	35,10	0,29	-	-	33,10	-	-	100,09
Молибденит	2	0,40	0,18	0,02	0,03	59,90	38,80	-	-	99,33
Кобальтин-герсдорфит										
а) центральная часть	1	4,90	11,60	19,90	-	-	18,30	45,10	-	99,80
б) краевая часть	1	6,25	17,60	11,60	-	-	18,50	45,60	-	99,55
Кобальтин-герсдорфит	1	4,76	22,50	7,45	-	-	18,20	45,90	0,34	99,15
Никелин	2	0,07	44,75	0,08	0,05	-	0,17	53,65	1,26	100,03
Макинавит	2	57,25	5,95	0,10	0,58	-	35,00	-	-	99,88
<i>Руды ширяевского типа</i>										
Пирротин	4	59,54	0,95	0,11	0,14	-	37,90	-	-	98,64
Пентландит	1	33,80	32,70	0,23	-	-	33,30	-	-	100,03
Халькопирит	1	31,25	-	-	33,60	-	35,10	-	-	99,95
Пирит	2	46,25	0,11	0,15	-	-	53,30	-	-	99,81

*Примечание:* Приводимые здесь и далее микронзондовые анализы выполнены в институте «Гипроникель», ИЭМ, ГЕОХИ, ИГЕМ РАН, n – количество анализов.

мере приближается к составу хромшпинелидов из хромитовых руд Садовского рудопроявления [15].

## 2.2. ШИРЯЕВСКИЙ ТИП

Ассоциирующие с жильными титанистороговообманковыми пироксенитами существенно пирротиновые руды, являющиеся по отношению к сульфидному медно-никелевому оруденению собственно мамонского типа несомненно эпигенетическими [21, 23], наиболее полно развиты в преде-

лах Нижнемамонского и Подколдновского месторождений. Пирротиновое оруденение представлено рядом крутопадающих (65—75°) небольших по мощности (2—4 м, иногда до 10 м) и различных (первые десятки и сотни метров) по протяженности минерализованными зонами.

Наиболее характерной особенностью руд является их своеобразный пятнистый облик вследствие выделения сульфидов в виде сравнительно крупных (до 8—10 мм, иногда до 15—25 мм) округлых или эллипсоидальных по форме гнезд, обычно



обособленных друг от друга. Такие сегрегационные обособления сложены ксеноморфными сульфидными зернами, находящимися в тесном пойкилитовом сростании с титанистой роговой обманкой, характеризуются неравномерным распределением и четкими границами с оливином, в разной мере замещенным серпентином ( $\pm$ магнетит), и количественно преобладающими пироксенами, по которым развиваются актинолит, хлориты, тальк. Анализ пространственно-временных соотношений этих минералов показывает, что титанистая роговая обманка и ассоциирующие с ней сульфидные сегрегации являются наиболее поздними образованиями.

Содержания сульфидов обычно варьируют в достаточно широких пределах (от 8—35 до 40—45 об. %). Количественно-минеральный состав руд определяется (от. %) ведущей ролью пирротина — 84—96% ( $\bar{x} = 90\%$ )\* и отчасти пирита (0,5—13,4%,  $\bar{x} = 4,8\%$ ) при крайне незначительном содержании пентландита (0,1—5,5%,  $\bar{x} = 1,8\%$ ), халькопирита (0,3—1,3%,  $\bar{x} = 0,7$ ), хромшпинелидов (0,01—2,6%,  $\bar{x} = 1,2\%$ ), ильменита и магнетита (0,1—1,6%,  $\bar{x} = 0,9\%$ )  $\pm$  макинавита, что существенно отличает их от сульфидного медно-никелевого оруденения, ассоциирующего с ультрамафитами мамонского типа.

Аллотриоморфные зерна (0,1—0,4 мм) представлены преимущественно гексагональной разновидностью, по которой развивается моноклинный пирротин. Обе эти разновидности содержат редкие пламеневидные вростки пентландита, что заметно сказывается на химическом составе пирротина (см. табл. 5) Пентландит иногда совместно с халькопиритом слагает отдельные неправильные и изометричные зерна (0,05—0,02 мм). В большей мере для него характерны клиновидные вростки в пирротине, которые иногда замещаются пиритом с незначительной примесью Ni и Co и макинавитом, несколько обогащенным железом (см. табл. 5).

Химический анализ (мас. %) хромшпинелида ( $\text{FeO} = 30,55$ ;  $\text{MgO} = 0,90$ ;  $\text{MnO} = 0,37$ ;  $\text{ZnO} = 0,14$ ;  $\text{NiO} = 0,06$ ;  $\text{CoO} = 0,04$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6,79$ ;  $\text{TiO}_2 = 7,80$ ;  $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 37,10$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12,70$ ;  $\text{V}_2\text{O}_5 = 0,32$ ; сумма = 98,27) свидетельствует о пониженной роли в его составе MgO и повышенной —  $\sum \text{FeO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Химический состав (мас.%) ильменита ( $\text{TiO}_2 = 51,47$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,09$ ;  $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 0,07$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,70$ ;  $\text{FeO} = 45,32$ ;  $\text{MgO} = 0,11$ ;  $\text{MnO} = 0,52$ ;  $\text{Co} = 0,04$ ;  $\text{V}_2\text{O}_5 = 0,02$ ; сумма 100,32; по 2 анализам) близок к аналогичному минералу интрузивных дифференциатов ширяевского типа [103].

Исключительно широкое развитие пирротина при незначительной роли халькопирита и пентландита определяет крайне низкое содержание в этом типе оруденения никеля, меди (табл. 4) и платиноидов при заметном преобладании Pt(0,065 г/т) над Pd(0,0502 г/т).

Резкое преобладание пирротина и высокосернистый состав руд определяют высокое значение величин S/Ni + Cu + Co (23,7 против 5,3) в пироксенитах интрузивных дифференциатов, и крайне низкие содержания Ni, Cu, Co в 100% сульфидном концентрате (см. табл. 5).

## ВЫВОДЫ

1. В составе мамонского никель-платиноносного комплекса (2100—2080 $\pm$ 14 млн лет) важнейшим структурно-вещественным компонентом являются дайки семейства пироксенитов нескольких видов и разновидностей (ортопироксениты, вебстериты, их титанистороговообманковые разновидности, клинопироксениты-диопсидиты).

2. Выделено два вида внутрирудных дайковых пироксенитов: а) ортопироксениты и б) титанистороговообманковые вебстериты, петрохимические особенности и степень рудоносности которых определяется их принадлежностью к последовательно сменяющимся во времени мамонскому (существенно ультрамафитовому) и ширяевскому (мафит-ультрамафитовому) типам интрузивов в составе единой дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой формации (в объеме мамонского никель-платиноносного комплекса).

3. Выявлена высокая степень минералого-петрохимической и рудногеохимической комплементарности промышленно-рудноносных (Ni = 0,37 — 2,84 мас. %, Cu = 0,21-0,93 %, Co = 0,03 — 0,16% во вкрапленных и Ni = 2,38-3,4%, Cu = 0,14-0,30%, Co = 0,11—0,21%, платиноидов до 0,50 г/т в массивных рудах восточно-садовского типа) и крайне бедных по содержанию Ni = 0,20 мас. %, Cu = 0,19%, Co = 0,04%, платиноиды (Pt+Pd) = 0,20 г/т титанистороговообманковых вебстеритов (ширяевский тип).

4. Установлено, что процесс сульфидного платиноидно-медно-никелевого рудообразования мамонского типа месторождений определяется последовательной сменой: а) собственно-магматического этапа с раннемагматической стадией ликвации и кристаллизации отликвировавшихся сульфидов в высокомагнезиальных интрузивных дифференциатах, являющегося главным в истории образования промышленного медно-никелевого

оруденения; б) близкоодновременным с сингенетическими рудами в ультрамафитах формированием жильных ортопироксенитов, сопровождавшихся эпигенетическим (по отношению к рудам в интрузивных дифференциатах) богатым медно-никелевым оруденением (восточно-садовский тип); в) последующим (за оруденением мамонского и садовского типов) внедрением жильных титанисторогообманковых пироксенитов с существенно пирротиновыми малоникелистыми рудами (ширяевский тип). Эти данные являются базовыми в определении места и рудообразующей роли даек пироксенитов в общей модели формирования сульфидной платиноидно-медно-никелевой рудообразующей системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров В.Л., Чернышов Н.М. Эндогенные режимы раннего докембрия Воронежского кристаллического массива // Эндогенные режимы формирования земной коры и рудообразования в раннем докембрии. — Л., 1985. — С. 192-205.
2. Бочаров В.Л., Фролов С.М., Плаксенко А.Н. и др. Ультрамафит-мафитовый магматизм гранит-зеленокаменной области КМА // Воронеж, 1993. — 176с.
3. Буковшин В.В. Вещественный состав и условия образования сульфидных медно-никелевых руд месторождений Воронежской группы: Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. — Воронеж, 1969. — 26 с.
4. Молотков С.П. Никеленосная габбро-норит-гипербазитовая формация юго-восточного склона Воронежского кристаллического массива: Автореф. дис. канд. г.-м. наук. — Воронеж, 1974. — 26 с.
5. Плаксенко А.Н. Акцессорные минералы дифференцированных никеленосных интрузий Воронежского массива / Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. — 227 с.
6. Филаретова Т.Ф. Эпигенетическое сульфидное медно-никелевое оруденение одного из проявлений юго-востока ВКМ // Вопросы петрологии и рудоносности основного-ультраосновного магматизма Воронежского кристаллического массива. — Воронеж, 1974. — С. 112-118.
7. Фролов С.М. Генетические типы базит-гипербазитовых интрузий мамонского комплекса ВКМ и их взаимоотношения // Вопросы геологии и металлогении докембрия Воронежского кристаллического массива. — Воронеж, 1976. — С.61-66.
8. Хунг Ч.К. Ширяевская дифференцированная интрузия среднепротерозойского никеленосного мамонского комплекса: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. — Воронеж, 1975. — 20 с.
9. Чернышов Н.М. Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива (породы, руды, генетические особенности) / Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1971. — 312 с.
10. Чернышов Н.М., Бочаров В.Л. Химические составы ультраосновных и основных интрузивных пород докембрия Воронежского кристаллического массива / Справочник. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1972. — 240 с.
11. Чернышов Н.М. Типы никеленосных интрузий и медно-никелевого оруденения Воронежского массива // Сов. геология. — 1986. — № 12. — С. 42-54.
12. Чернышов Н.М., Переславцев А.В., Молотков С.П., Чернышова М.Н. Новый тип никеленосной формации в докембрии Воронежского кристаллического массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1991. — № 9. — С. 111-124.
13. Чернышов Н.М., Пономаренко А.Н., Бартницкий Е.Н. Новые данные о возрасте никеленосных дифференцированных плутонов Воронежского кристаллического массива // Докл. АН УССР. Сер. Б, Геол., хим. и биол. науки. — 1990. — № 6. — С. 35-39.
14. Чернышов Н.М. Промышленно-генетические типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений новой никеленосной провинции России и проблема их освоения // Вест. Воронеж. ун-та. Естеств. науки. — 1993. — Сер. 2. — Вып. 1. — С. 188-215.
15. Чернышов Н.М., Ненахов В.М., Лебедев И.П. и др. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии // Геотектоника. — 1997. — №3. — С. 21-30.
16. Чернышов Н.М., Баянова Т.Б., Чернышова М.Н. и др. Уран-свинцовый возраст норит-диоритовых интрузий Еланского никеленосного комплекса и их временные соотношения с габброноритами дифференцированных ультрамафит-мафитовых плутонов мамонского комплекса ВКМ // Геология и геофизика, 1998. — Т. 39. — № 8. — С.1064-1071.
17. Чернышов Н.М., Баянова Т.Б., Чернышова М.Н., Левкович Н.В. Уран-свинцовый возраст норит-диоритовых интрузий Еланского никеленосного комплекса Воронежского кристаллического массива // Доклады РАН. — 1998. — Т. 359, № 1. — С. 98-101.
18. Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. — 448 с.
19. Чернышов Н.М., Чернышова М.Н. Типы сульфидных платиносодержащих медно-никелевых рудно-магматических систем Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) // Геология, минералогия и геохимия месторождений благородных металлов Востока России, новые технологии переработки благороднометалльного сырья. — Благовещенск, 2005
20. Чернышова М.Н. Минералого-петрохимические особенности дайковых пород никеленосных интрузий Воронежского массива. // Сб. Материалы Всесоюзной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс». — Новосибирск, 1979. — С. 89-97.

21. *Чернышова М.Н.* Петролого-генетические типы дайковых пород раннепротерозойских никеленосных интрузий Воронежского кристаллического массива. // Магматизм и геодинамика. Материалы 1 Всерос. Петрограф. совещ. Кн.4. Петрология и рудообразование. Уфа, 1995. — С. 152-153.

22. *Чернышова М.Н.* Дайки никеленосных комплексов Воронежского кристаллического массива (формационно-генетические типы и пространственно-временные соотношения // Вест. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. — 1996. — № 1. — С. 50-60.

23. *Чернышова М.Н.* Дайки мамонского никеленосного комплекса и их соотношение с оруденением / Воронеж, 1999. — 121 с.

24. *Чернышова М.Н.* Взаимоотношение даек и оруденения в интрузивах мамонского никеленосного комплекса (ВКМ) // Второе Всероссийское петрографическое совещание «Петрография на рубеже XXI века: итоги и перспективы», Сыктывкар, 2000, УРНЦ РАН, С. 243-244.

25. *Чернышова М.Н.* Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского массива (Центральная Россия). Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. — 368 с.