

РОЛЬ ДАЕК ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЕЛАНСКОЙ СУЛЬФИДНОЙ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДООБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

М. Н. Чернышова

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 1 марта 2013 г.

Аннотация. *Статья посвящена роли даек – проводников в многостадийном поступлении «свежих» порций рудонесущих магм в длительном формировании высокопродуктивной сульфидной платиноидно-медно-никелевой рудообразующей системы еланского типа.*

Ключевые слова: *дайки многоактного внедрения, сульфидные медно-никелевые руды.*

Abstract. *Article is dedicated to the role of the dikes as the source of multistep supply of “fresh” portions of ore-bearing magmas in a long formation of high-yield sulfidic platinoid-copper-nickel ore-forming system of elan type.*

Key words: *multistep-intrusioning dikes, sulfidic copper-nickel ores*

Одним из существенных компонентов магматических и рудно-магматических систем (РМС), являются дайковые образования, представляющие исключительный интерес для решения фундаментальных проблем геологии, геодинамики, петрологии и рудообразования. Особенно значительна их роль в магматическом рудогенезе при формировании крупнейших в мире сульфидных платиноидно-медно-никелевых и малосульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений. Выделено три [1, 2, 3] группы даек, различных по структурно-петрологической принадлежности и месту в общей эволюции сульфидного платиноидно-медно-никелевого рудообразования: 1) подводющие каналы (проводники) РМС с образованием месторождений; 2) апофизы интрузивных эквивалентов РМС во вмещающих породах; 3) внутриинтрузивные жильные отщепления интеркумуляусного расплава; 4) производные новых неоднократно поступающих «свежих» порций магмы с образованием автономно кристаллизующихся петрорудосистем. В совокупности эти группы определяют высокий металлогенетический потенциал РМС.

Первая группа даек выступает в качестве подводющих нередко длительно функционирующих каналов с неоднократным поступлением новых порций сульфидизированных расплавов в конечную камеру, определяя тем самым состав и условия формирования интрузивов и ассоциирующих с ними сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений. Нередко подобные питающие

дайки являются определяющим рудонесущим компонентом крупнейших сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС. С силлами и дайкообразными телами этой группы предполагается генетическая связь сульфидных месторождений (Ланнон, Фишер, Джуан, Мак-Матон, Кеп), ассоциирующих с коматиитами архейского купола Камбалда. Эруптивные центры, сопровождающиеся сульфидным оруденением, рассматриваются [4, 5, 6] в качестве лавовых каналов в областях раннепротерозойского магматизма Канады (месторождение Дюмонт в Квебеке; ряд месторождений в никелевом поясе Томпсон). Одним из крупнейших из наиболее типичных примеров проявления питающих дайкообразных тел – магматических рудонесущих каналов являются месторождения Войсис Бэй (Лабрадор, Канада) [4, 7, 8, 9], Великая Дайка (Зимбабве; [10, 11]).

Предполагается, что цикличность обусловлена периодическим поступлением в интрузивные камеры новой порции магмы.

Различные по составу, масштабам и степени проявления дайки группы рудонесущих даек, сопряженных со становлением интрузивных массивов в конечных камерах, являются важнейшим структурно-вещественным компонентом разнотипных сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС, связанных преимущественно со становлением интрузивных массивов в конечных камерах. Являясь их производными они представлены: а) дайками – апофизами интрузивных эквивалентов (разнообразными по составу дифференциатами) во вмещающих породах (перимагматические дайки);

б) внутриинтрузивными жильными отщеплениями интеркумулусного расплава.

Дайки – апофизы, в том числе промышленно рудоносные, характерны для большинства главных типов сульфидных платиносодержащих медно-никелевых РМС. Среди уникальных по масштабам проявления и рудонесущей роли особое место занимают дайки – апофизы габбродиоритов, получившие название офсеты Садбери (Канада, шт. Онтарио), импактного по своей природе и крупнейшего по запасам цветных и благородных металлов месторождения.

Ряд внутриинтрузивных (интрамагматических) даек известен в Мончегорском плутоне [4]. Помимо пегматоидных жильных образований с сульфидной медно-никелевой минерализацией, встречающихся по всему разрезу плутона, на месторождениях Сопчи и НКТ, многие из богатых по содержанию Ni, Cu, Co и благородных металлов рудных жил переходят в диорит-пегматиты интеркумулусной природы, при этом парагенезис рудообразующих минералов, как и в других РМС подобного типа, аналогичен минералам основных залежей сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений.

Роль даек при формировании богатых руд еланского типа РМС

Еланское сульфидное платиноидно-медно-никелевое месторождение ВКМ еланского типа, пространственно и генетически сопряжено с субвулканическим норит-диоритовым телом и характеризуется исключительной ассоциацией с норитовой фазой [1, 12]. Вместе с тем, наряду с главной массой руд в норитах, значительными концентрациями Ni, Cu, Co, платиноидов, золота и серебра характеризуются разнообразные по формационно-генетической принадлежности и составу дайковые образования, выступающие, в ряде случаев, в качестве новых, самостоятельных неоднократно поступающих «свежих» порций магматического расплава, обогащенного комплексом цветных и благородных металлов и, тем самым, обуславливающих многостадийность формирования и высокий металлогенетический потенциал РМС.

К числу таких даек среди рудонесущих норитов Еланского месторождения относятся различные по мощности (от 1,5–3 до 15–25 м) сравнительно широко развитые в разных частях Еланского месторождения (скв. 7933, 7918, 7671, 7926, 7614, 7839, 7822 и др.), роговообманковые габбро, которые характеризуются свежим обликом и, как

правило, резкими секущими контактами с норитами и сопровождающиеся богатым сульфидным платиноидно-кобальт-медно-никелевым оруденением [1]. Количественно-минеральный состав роговообманкового габбро (об. %): плагиоклаз – 20,0–60,0 (36,9); роговая обманка – 58,0 (40,8); биотит – 3,0–15,0 (8,3); кварц – 0,0–10,0 (3,7); сульфиды – 2,0–10,0 (2,5); ортопироксены – 0,0–5,0 (0,5); актинолит и тремолит – 2,0–40,0 (6,7); карбонат – 0,0–5,0 (0,5).

Наиболее значительными концентрациями Ni, Co, Cu характеризуются вскрытые скв. 7626 (гл. 271,2–291,4 м) среди рудоносных норитов жильные роговообманковые габбро с вкрапленными и гнездово-прожилково-вкрапленными и массивными рудами. Количественно преобладают вкрапленные (Ni = 0,474 мас. %, Co = 0,008 мас. %, Cu = 0,067 мас. %, Σ Pt, Pd, Rh = 0,03–0,15 г/т; среднее содержание на мощность 4 м; [1]) и гнездово-прожилково-вкрапленные (Ni = 3,442 мас. %, Co = 0,052 мас. %, Cu = 0,297 мас. %, Pd = 0,38 г/т, Pt = 0,13 г/т, Rh = 0,008 г/т, Ru = 0,005 г/т, Ir = 0,015 г/т) руды. Сульфидные вкрапленники располагаются в интерстициях плагиоклаза и компактной роговой обманки, образуя с последней тесные срастания в виде агрегатных обособлений и гнезд (рис. 1 а, б) с переходом в массивные руды (Ni = 5,45–6,25 мас.%, Co = 0,089–0,099 мас. %, Cu = 0,295–0,870 мас. %; скв. 7626, гл. 282,0–283,0 м и 280,9–281,4 м); иногда отмечаются близкие к брекчиевидным разновидности руд.

Минеральный состав медно-никелевого оруденения в роговообманковых габбро характеризуются значительными чертами сходства с рудами в норитах еланского типа месторождений, детально освещенными в ряде публикаций [12, 13]. Наряду с количественно преобладающими пирротин, пентландитом и халькопиритом в них в различных количествах присутствуют арсениды и сульфоарсениды Ni и Co, макинавит, хромшпинелиды, графит, ильменит, сфалерит и иногда теллурувисмутит, аргентопентландит, гаухекорнит, миллерит. Особенностью руд, ассоциирующих с роговообманковыми габбро, является высокие содержания в них пентландита (иногда до 40–55 об. %), а также сульфоарсенидов Ni и Co (до 4–6 %), повышенные количества (до 16 %) халькопирита и пониженные хромшпинелидов [1, 14].

Пирротин (гексагональная и моноклинная его разновидности и троилит) в ассоциации с ентландитом и халькопиритом слагает редкие мельчайшие каплевидные выделения в роговой обманке. Количественно преобладающие ксеноморфные зерна с

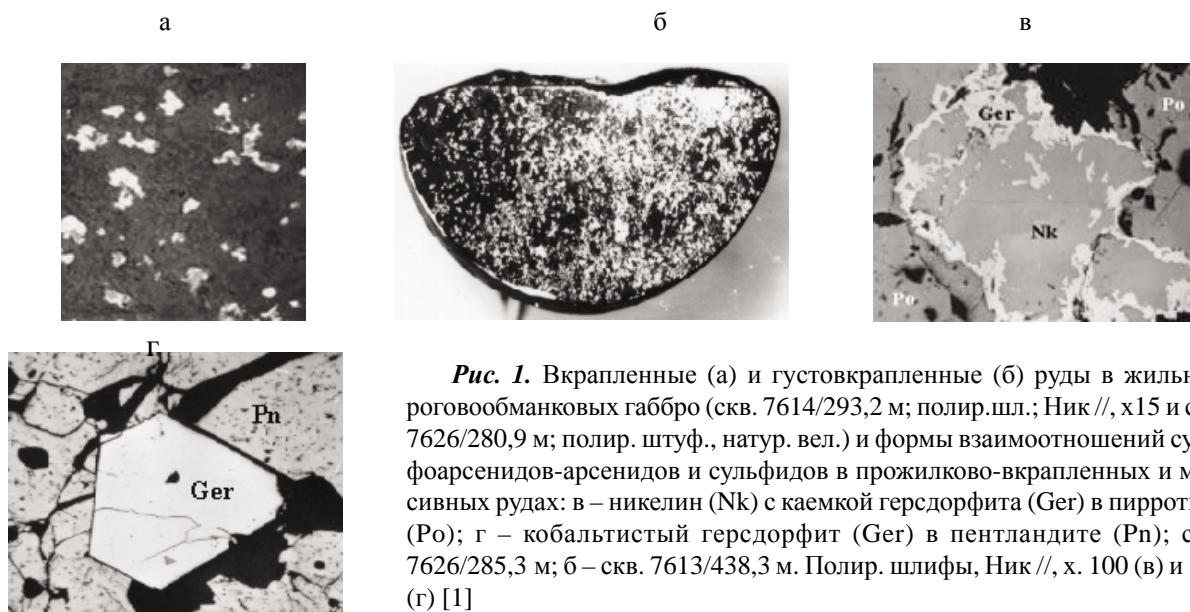


Рис. 1. Вкрапленные (а) и густовкрапленные (б) руды в жильных роговообманковых габбро (скв. 7614/293,2 м; полир.шл.; Ник //, х15 и скв. 7626/280,9 м; полир. штупф., натур. вел.) и формы взаимоотношений сульфидов в прожилково-вкрапленных и массивных рудах: в – никелин (Nk) с каемкой герсдорфита (Ger) в пирротине (Po); г – кобальтистый герсдорфит (Ger) в пентландите (Pn); скв. 7626/285,3 м; б – скв. 7613/438,3 м. Полир. шлифы, Ник //, х. 100 (в) и 140 (г) [1]

аллотриоморнозернистой структурой и полигональные кристаллы с вростками троилита и пентландита, образует тесные срастания с роговой обманкой и тонкие просечки (по спайности) в ней, корродируется арсенидами и сульфидарсенидами и иногда замещается пиритом и магнетитом. Разнообразными являются и выделения пентландита (пламенеvidные сростки и крупные до 5–8 мм, близкие к идиоморфным кристаллы и агрегаты по границам и внутри пирротина, прожилковидные обособления, замещенные виоларитом). Эти особенности характерны и для халькопирита, главная масса которого сосредоточена в краевых частях вкрапленников, шпиров и гнезд, корродирующих как пирротин, так и пентландит, слагает прожилки и тонкие просечки в силикатах.

Постоянные спутники всех типов руд – никелин и образующий с ним сложные срастания и нередко каймообразные оторочки (рис. 1 в) герсдорфит тяготеют к ведущим сульфидам, отчетливо координируя их. Ограниченно развитые кобальтин и кобальт-герсдорфит (рис. 1 г), слагают отдельные кристаллы среди пирротин-пентландит-халькопиритовой массы и реже в силикатной матрице. В ассоциации с арсенидами и сульфидарсенидами присутствуют виоларит, макинавит, молибденит, сфалерит, галенит, миллерит, единичные зерна гаухекорнита, аргентопентландита и теллуровисмутита, состав которых подтвержден микрозондовыми исследованиями (табл. 1).

Сравнительный анализ состава минералов ранней (халькопирит-пентландит-пирротиновой) и поздней (арсенид-сульфидарсенидной ± молибде-

нит и др.), а также хромшпинелидов в различных типах руд, ассоциирующих с жильными габбро, выявляет (см. табл. 1): а) повышенное содержание Ni в пирротине и Ni и Co в пентландите прожилково-вкрапленных и массивных руд; б) наличие примесей Ni и Co в халькопирите; в) близкий к рудоносным норитам состав (мас. %) хромшпинелидов ($Cr_2O_3 = 46,15-44,20$; $Al_2O_3 = 6,05-7,77$; $Fe_2O_3 = 13,30-10,30$; $TiO_2 = 1,18-1,53$; $V_2O_5 = 1,36-1,78$; $ZnO = 3,17-3,30$; $MgO = 0,44-0,14$; $MnO = 0,79-0,86$; $NiO = 0,05-0,10$; $CoO = 0,07-0,08$ в центральной и краевой частях кристаллов, соответственно); г) широкие вариации содержаний Fe, Ni, Co в ряду кобальтин-герсдорфит, присутствие в той же мере аналогичным минералам из никелевых руд в норитах [12, 13].

В известной мере, эта особенность проявляется в содержаниях и величинах отношений рудообразующих элементов в однотипных текстурных разновидностях руд, ассоциирующих с интрузивными норитами и жильными роговообманковыми габбро (табл. 2), подчеркивая тем самым их принадлежность к единой длительно развивающейся рудномагматической системе еланского типа.

Вместе с тем, сульфидные медно-никелевые руды в роговообманковом габбро заметно обогащены Cu, содержат меньше Co.

С рудами в жильных роговообманковых габбро определенные черты сходства обнаруживают вскрытые скв. 7614 (первый ствол) в пределах Еланского месторождения богатое золото-платиносодержащее сульфидное кобальт-медисто-нике-

Таблица 1

Химический состав (мас. %) сульфидов, арсенидов, сульфоарсенидов и теллуридов из руд, ассоциирующих с жильными роговообманковыми габбро Еланского месторождения (по [1])

Минерал	n	Ni	Co	Fe	Cu	Mo	S	As	Sb	Te	Bi	Pb	Сумма
1. Пирротин	1	0,74	–	59,70	–	–	39,30	–	–	–	–	–	99,74
2. Пирротин	2	1,17	–	59,30	–	–	38,80	–	–	–	–	–	99,27
3. Пентландит	2	36,72	0,95	28,90	–	–	33,20	–	–	–	–	–	99,67
4. Пентландит		37,50	1,27	28,20	–	–	32,90	–	–	–	–	–	99,87
5. Халькопирит	1	0,11	–	30,29	34,50	–	35,00	–	–	–	–	–	99,80
6. Халькопирит	2	0,17	0,10	30,40	34,40	–	35,20	–	–	–	–	–	100,27
7. Никелин	1	44,10	0,11	0,13	0,07	–	0,15	53,50	1,03	–	–	–	99,09
8. Никелин	1	43,80	0,06	0,31	–	–	0,27	54,10	0,72	–	–	–	99,28
9. Кобальтин	2	4,73	23,73	5,64	–	–	20,10	44,70	–	–	–	–	98,80
10. Герсдорфит	1	17,15	11,30	6,54	–	–	19,10	44,75	–	–	–	–	98,84
11. Герсдорфит	1	14,97	11,52	7,15	–	–	19,60	44,90	–	–	–	–	98,14
12. Миллерит	2	65,10	0,37	0,85	–	–	34,30	0,35	–	–	–	–	100,97
13. Теллуровисмутит	1	0,15	0,07	0,12	–	–	–	–	0,21	47,70	49,80	1,81	99,96
14. Гаухекорнит	1	48,10	0,86	3,05	–	–	23,60	4,80	16,40	–	2,75	–	99,66
15. Макиनावит	1	6,17	0,13	57,30	0,47	–	35,00	–	–	–	–	–	99,07
16. Пирит	2	0,63	0,03	45,50	0,05	–	52,90	–	–	–	–	–	99,11
17. Молибденит	1	0,05	0,18	–	–	59,60	39,00	–	–	–	–	–	99,86

Примечание: 1–2 – пирротин из вкрапленных (1) и массивных (2) руд; 3–4 – пентландит из вкрапленных (3) и прожилково-вкрапленных (4) руд; 5–6 – халькопирит из вкрапленников (5) и прожилков (6); 7–8 – никелин: вкрапленник в ассоциации с герсдорфитом (7) и среди пирротин-пентландитового агрегата (8); 9 – кобальтин, размещающийся среди пирротин-халькопиритового агрегата; 9–11 – герсдорфит (9) и кобальтин-герсдорфит в краевой части зерна никелина (10, 11) из прожилково-вкрапленных и массивных руд; 12–15 – миллерит (12), теллуровисмутит (13), гаухекорнит (14) и макиनावит (15) из прожилково-вкрапленных и массивных руд; 16 – пирит в ассоциации с халькопиритом (скв. 7626/285,3; 288,5; 281,0 м).

Таблица 2

Содержание рудообразующих элементов (мас. %) и величины их отношений в сульфидных рудах, ассоциирующих с интрузивной фацией норитов и с жильными роговообманковыми габбро Еланского месторождения (по [1], с дополнениями)

№№ п/п	S	Ni	Co	Cu	S/Ni	S Ni+Co+Cu	Ni/Cu	Ni/Co	в 100 % сульфидов			
									Fe	Ni	Co	Cu
1(42)*	4,02	1,31	0,04	0,14	3,07	2,7	9,36	32,93	47,92	12,36	0,38	1,32
2(17)	18,87	5,48	0,25	0,19	2,35	2,2	28,84	23,92	44,42	16,18	0,74	0,56
3(11)	24,82	8,01	0,19	0,07	3,10	3,0	114,4	42,16	49,34	12,26	0,29	0,11
4(3)	3,75	0,474	0,019	0,067	10,02	8,48	7,91	24,95	56,34	4,80	0,19	0,67
5(12)	10,77	3,422	0,052	0,285	2,86	2,86	12,01	65,81	48,80	12,07	0,18	1,01
6(1)	14,85	6,25	0,10	0,87	2,38	2,06	7,18	62,50	43,52	15,99	0,26	2,23

Примечание: 1–3 – вкрапленные (1), гнездово-прожилковые (2) и массивные (3) руды, ассоциирующие с норитами Еланского месторождения (по [180, 213]); 4–6 – вкрапленные (4), прожилково-вкрапленные и гнездовые (5) и массивные (6) руды в жильных роговообманковых габбро Еланского месторождения (скв. 7626); *) в скобках – количество анализов.

Таблица 3

Содержание Ni, Co, Cu (масс. %) и благородных металлов (Pt, Pd, Au; г/т) в сульфидно-пегматоидных рудах Еланского месторождения (по [15])

Интервалы рудных тел по стволу скв.	Мощность, м	Ni	Co	Cu	Pt	Pd	Au
272,1–272,3	0,2	9,35	0,342	1,140	0,42	1,14	1,03
293,3–293,8	0,5	5,65	0,190	0,180	0,27	0,69	0,57
294,4–295,0	0,6	5,38	0,197	0,428	0,30	0,72	0,54
296,1–297,1	1,0	7,65	0,296	0,925	0,37	0,88	0,91

левое оруденение (табл. 3), выделяемое в особый сульфидно-пегматоидный тип [15].

Руды этого типа, секущие безрудные нориты и нориты с густовкрапленным сингенетическим оруденением, а также жильные норит-порфириды, характеризуются пологим залеганием рудных тел, заполняющими, очевидно, различные по мощности (от 0,2 до 1,0 м) контракционные трещины. Последние формировались на стадии поздней консолидации интрузии норитов, уже несущих оруденение ранних стадий фракционирования рудно-силикатного расплава.

Судя по соотношению с силикатами, наличие четких чаще пологих контактов с норитами, присутствию в рудах наряду с пентландитом значительных концентраций халькопирита, арсенидов и сульфоарсенидов никеля, зональному строению рудных тел с каймой в их эндоконтактах “щеток” крупнокристаллических (от 3–5 до 10 мм) выделений полисинтетических сдвойникованных кристаллов серицитизированного олигоклаза и биотита в рудной массе позднемагматические эпигенетические жилы золото-платиносодержащих сульфидных кобальт-медно-никелевых руд этого типа несут отчетливые черты сульфидно-пегматоидных по своей природе расплавов, обогащенных флюидной фазой. Кроме того, об этом свидетельствует характерное для поздних стадий становления РМС еланского типа широкое развитие в составе высоконикелистых руд разнообразных арсенидов, сульфоарсенидов и антимонидов никеля и кобальта – никелина (Ni = 41,80 мас. %; As = 55,30 %; Sb = 0,78 %, 0,37 %; Co = 0,21 %; Fe = 1,90 %), герсдорфита (Ni = 35,10 мас. %; Co = 2,70 %; Fe = 3,15 %; S = 17,10 %; As = 44,17 %; Sb = 0,20 %), кобальтина (Co = 26,80 мас. %; Fe = 5,18 %; Ni = 7,20 %; S = 17,78 %; As = 44,85 %; Sb = 0,05 %), гаухекорнита (Ni = 43,90 %, Fe = 3,05 %; Co = 0,60 %; S = 25,93 %; Bi = 24,10 %; Sb = 2,43 %; As = 1,07 %), обычно обогащенных платиноидами [1], а также галенита, самородного золота, молибденита.

Таким образом доказана значительная роль в сульфидном платиноидно-медно-никелевом рудогенезе еланского типа, даек, выступающих в качестве каналов для неоднократного поступления «свежих» порций сульфидной автономно кристаллизующейся рудномагматической системы. В совокупности с рудоносными норитами еланского комплекса, дайки определяют высокий металлогенетический потенциал РМС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышова М. Н. Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива / М. Н. Чернышова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – 368 с.
2. Чернышов Н. М. Рудонесущие дайки ведущих типов сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудно-магматических систем / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова, Л. В. Гончарова. – Екатеринбург : Литосфера, 2009. – № 5. – С. 36–55
3. Чернышова М. Н. Уникальные сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения мира, ассоциирующие с дайковой фацией разнотипных рудномагматических систем / М. Н. Чернышова // Геологическая среда, минерагенические и сейсмоструктурные процессы : материалы XVIII Междунар. научно-практ. конф. – Воронеж : Научная книга, 2012. – С. 412–416.
4. Козлов Е. К. Естественные ряды пород никеленосных интрузий и их металлогения / Е. К. Козлов. – Л. : Наука, 1973. – 288 с.
5. Чернышова М. Н. Модель трансформации эволюции интрузивно-дайковой рудномагматической системы над локальными плюмами при формировании сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений ВКМ (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения : международ. конф., Воронеж, сент. 2006. – Воронеж, 2006. – С. 241–244.
6. Чернышова М. Н. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые и никель-кобальтовые руды в дайково-жильных комплексах и метасоматитах Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова // Литосфера. – 2006. – № 3. – С. 71–82.
7. Bleeker W. Evolution of the Thompson nickel belt and its nickel deposits. Manitoba, Canada, Unpublished Ph.D. thesis, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, 1990. – 356 p.
8. Cawthorn R. G. Platinum-Group Element Deposits in the Bushveld Complex, South Africa / R. G. Cawthorn, R. K. Merkle, M. J. Viljoen // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements (ed. L.J. Cabri), Ottawa, Ontario. Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special, 2002. – Vol. 54. – P. 389–429.
9. Chatterjee N. Petrology, geochemistry and tectonic settings of the mafic dikes and sills associated with the evolution of the Proterozoic Cuddapah Basin of south India / N. Chatterjee, S. Bhattacharji // Proc. Indian Acad. Sci. Earth and Planet. Sci. – 2001. – P. 433–453.
10. Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд / А. Дж. Налдретт. – СПб. : СПбГУ, 2003. – 487 с.
11. Farrow C. E. G. Sudbury PGE Revisited: Toward an Integrated Model In The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Ele-

ments (ed. L.J. Cabri) / C. E. G. Farrow, P. S. Lightfoot. – Ottawa, Ontario, Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special, 2002. – Vol. 54. – P. 273–297.

12. *Чернышов Н. М.* Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.

13. *Чернышов Н. М.* Еланский тип сульфидных медно-никелевых месторождений и геолого-генетическая модель их формирования (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Геология рудных месторождений. – 1995. – Т. 37, № 3. – С. 220–236.

14. *Чернышова М. Н.* Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Еланского типа и их соотношение с оруденением (Воронежский кристаллический массив) / М. Н. Чернышова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 184 с.

15. *Буковшин В. В.* Богатые эпигенетические медно-никелевые руды пегматоидного типа Еланского месторождения / В. В. Буковшин, С. П. Молотков, М. Н. Чернышова // Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы : материалы Междун. конф. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. – Т. 2. – С. 261–263.

Воронежский государственный университет

М. Н. Чернышова, профессор кафедры минералогии, петрографии и геохимии, доктор геолого-минералогических наук

Тел. 8 (473) 220-84-34

petrology@list.ru

Voronezh State University

M. N. Chernyshova, professor of Chair of Mineralogy, Petrography and Geochemistry, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences

Tel. 8 (473) 220-84-34

petrology@list.ru