

СУЛЬФИДНЫЕ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-КОБАЛЬТ-НИКЕЛЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОВОХОПЕРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА И ПРОБЛЕМЫ ИХ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЖЕСТКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ И СОХРАНЕНИЯ УНИКАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Н. М. Чернышов

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 5 сентября 2013 г.

Аннотация. Впервые открытые в 60–70 гг. XX столетия сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения Воронежского региона ныне являются первоочередным объектом создания Центрально-Европейской базы добычи цветных (Ni, Cu, Co) и благородных (платиноиды, золото, серебро) металлов. Приведены краткие сведения по геологии и структуре первоочередных объектов освоения – Еланскому и Елкинскому месторождениям, – дана информация о составе и генезисе руд, содержании в них стратегически важных металлов и их ресурсах. Рассмотрены основные риски, возможные при комплексном освоении месторождения. Предложена модель создания «экологического рудника» и добычи руд в условиях жестких экологических ограничений.

Ключевые слова: сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды, Новохоперский рудный район, Центральная Россия, экологические риски.

Abstract. The sulfide platinoid-copper-nickel deposits in the Voronezh region, discovered for the first time in the 60-70ies of the 20th century, that are now a primary object for the creation of the Central European base of extraction of nonferrous (Ni, Cu, Co) and noble (platinum, gold, silver) metals. Brief information on the geology and structure of the primary objects of development – Elan and Elka deposits, composition and genesis of the ores, the content and resources in them of strategically important metals is given. A model of the creation of “ecological mine” and ore mining under strict environmental constraints is suggested.

Key words: sulfide platinoid-copper-nickel ores, Novokhopersk ore district, Central Russia, ecological risks

В обеспечении минерально-сырьевой безопасности России и устойчивого долгосрочного социально-экономического развития Центрального региона, в расширении перспектив производственного комплекса и, пожалуй, всей макроструктуры, в рамках Воронежского кристаллического массива (ВКМ; рис. 1 а, б), важнейшее значение приобретают сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения, сосредоточенные исключительно в Воронежской области (рис. 1, в). В её недрах, в 60-70х годах прошлого столетия, было выявлено 5 месторождений и около 50 разномасштабных по ресурсам проявлений, которые ранее рассматривались в качестве резервной минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов. По предварительно оцененным запасам и ресурсам Воронежская область является одной из крупнейших в Европе и третьей, после Норильского и Кольского регионов, минерально-сырьевой базой стратегически важных для России металлов [1-7].

Выделяется два различных по геолого-генетической принадлежности и содержанию металлов, их запасам и ресурсам, типа промышленно-значимых месторождений [2-5, 8-10]: а) мамонский, ассоциирующий с ультрамафитами раннепротерозойской (2100-2080 ± 15 млн лет) дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой формации – Нижнемамонское, Подколдовское, Юбилейное месторождения и многочисленные рудопроявления, преимущественно бедных никелевых руд, сосредоточенный, главным образом, в двух рудных районах (Нижнемамонский и Аннинский; рис. 1, б, в); б) еланский – Еланское и Елкинское месторождения и свыше 20 разномасштабных рудопроявлений (Новотроицкое, Листопадовское, Троицкое, Демьяновское, Русановское, Бороздиновское, Новопокровское и др.), сконцентрированных, в основном, в Новохоперском рудном районе Хоперского мегаблока ВКМ (рис. 1, б, в), генетически связанный, преимущественно, с норитами субвулканической ортопироксенит-норит-диоритовой формации (2065-2050 ± 14 млн лет), с высоким содержанием металлов.

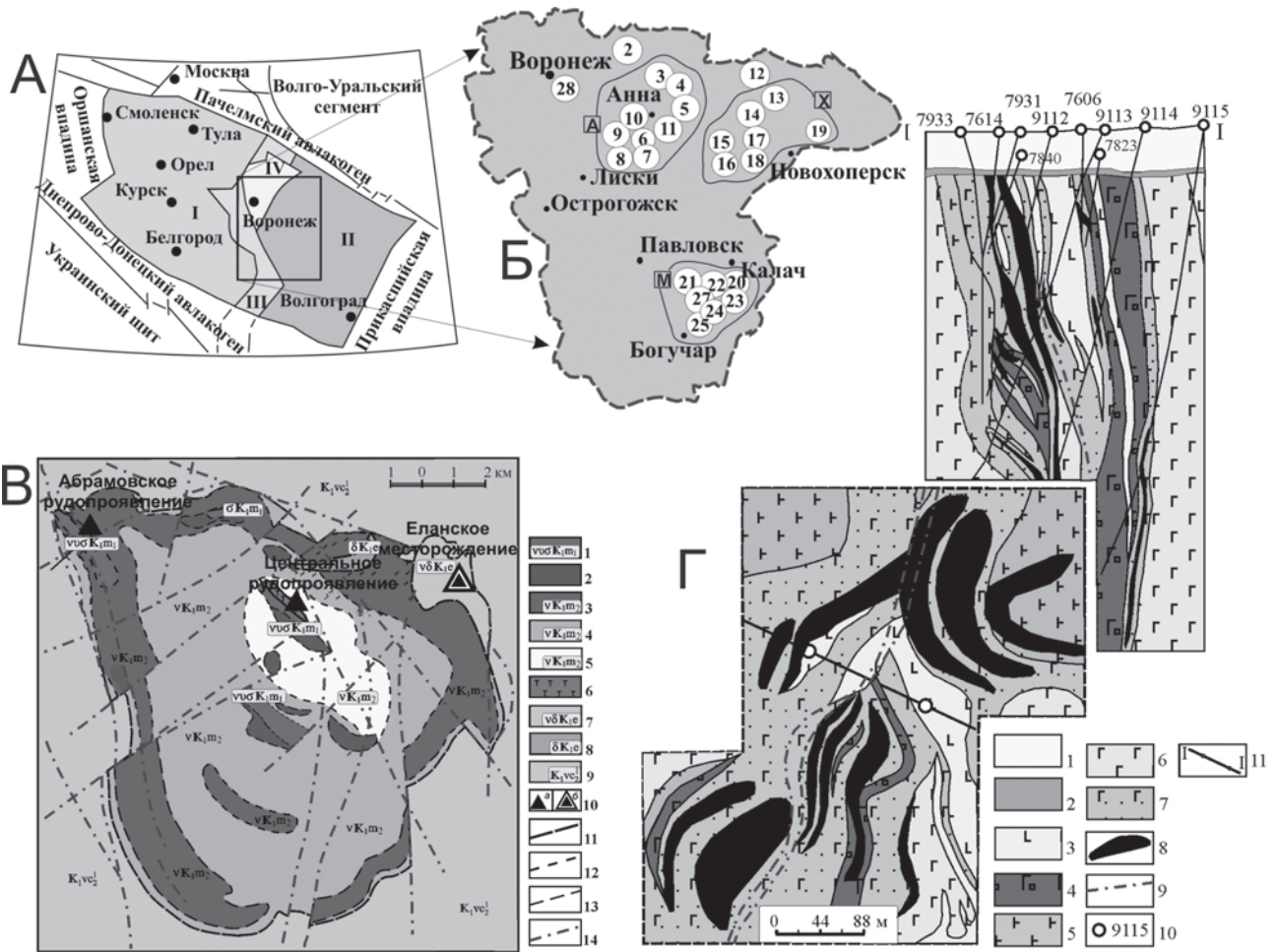


Рис. 1. Схема тектонического районирования ВКМ (а), размещение сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений мамонского и еланского типов в пределах Воронежской области (б), положение Еланского месторождения, Центрального и Абрамовского рудопоявлений в структуре Елань-Коленовского плутона мамонского комплекса (в) и геологическая карта и разрез центральной части Еланского месторождения (г), по [4, 7, 11]: а) I – мегаблок КМА; II – Хоперский мегаблок; III – Лосевская шовная зона; IV – Ольховско-Шукавская грабен-синклиналь; б) рудные районы: А – Анненский, М – Нижнемамонский, X – Хоперский; месторождения, рудопоявления и потенциально перспективные участки: 2 – Шукавский; 3 – Садовский; 4 – Вост. Садовский; 5 – Моховской; 6 – Шишовский; 7 – Астаховский; 8 – Песковатский; 9 – Икорецкий; 10 – Рябиновско-Большемартыновский; 11 – Аннинский; 12 – Новогольский; 13 – Жердевский; 14 – Троицкий; 15 – Елань-Коленовский; 16 – Центральный; 17 – Еландский; 18 – Елkinsкий; 19 – Уваровский; 20 – Ширяевский; 21 – Нижнемамонский; 22 – Артюховский; 23 – Бычковский; 24 – Юбилейный; 25 – Подколodновский; 26 – Пионерский (Липов Куст); 27 – Сухой Яр; 28 – Воронежский; в) 1 – ультрамафит-мафитовые породы ритмичнорасслоенной серии I интрузивной фазы (перидотит-пироксенит-меланократовый габбронорит (троктолит) – габбронорит); 2 – ксенолиты ультрамафитов (флогопитовый плагиоидотит и тремолитизированный пироксенит); 3–5 – мафитовые породы дифференцированной серии габброноритов II интрузивной фазы: 3 – оливиновые и оливин-ортоклазовые габбронориты, 4 – биотит-амфиболовые габбронориты, 5 – биотит-амфиболовые габбронориты и амфиболовое габбро; 6 – ортопироксениты; 7 – нориты; 8 – диориты еланского комплекса; 9 – метапесчаники воронцовской серии; 10 – рудопоявления (а) и месторождения (б); 11–13 – контакты интрузивных пород: 11 – интрузивные контакты с вмещающими метапесчаниками воронцовской серии, 12 – межфазовые интрузивные контакты, 13 – постепенные петрографические границы; 14 – тектонические разрывные нарушения; г) 1 – породы платформенного чехла (на разрезе); 2 – кора выветривания на кристаллическом фундаменте (на разрезе); 3 – диориты 2-й интрузивной фазы еланского комплекса; 4 – дайки роговообманкового габбро, норит-порфириров, диоритовых порфириров и др.; 5–7 – нориты тонкозернистые («фельзитические»); 6 – нориты мелко-среднезернистые; 7 – порфирировидные нориты; 8 – рудные тела; 9 – тектонические нарушения; 10 – скважины и их номера; 11 – линия геологического разреза

Геология, типы, состав, ресурсы и запасы руд Еланского месторождения

Еланское (4,5 км²) и Ёлкинское (9 км²) месторождения [1, 4, 10, 12] относятся к новому, ранее неизвестному в России и за рубежом, высоконикелистому платиноидно-медно-кобальтовому типу, ассоциирующему с крутопадающими ортопироксенит-норит-диоритовыми субвулканическими телами (возраст 2065-2050 ± 14 млн лет) и многочисленными комагматичными дайковыми образованиями [4,11].

Первоочередным объектом освоения ООО «УГМК-Холдинг» является Еланское месторождение, залегающее на глубине 250-300 м под осадочным чехлом. Пространственно оно, как и Центральное рудопроявление в ортопироксенитах I фазы еланского комплекса [12, 13], сопряжено с более ранним дифференцированным Елань-Коленовским ультрамафит-мафитовым плутоном (120 км²) мамонского комплекса (см. рис. 1, в). Внутренняя структура Еланского месторождения определяется крутопадающим характером (75-85°) залегания и неупорядоченным чередованием как рудовмещающих норитов и их жильных комагматов, так и поздних диоритов (рис. 1, г), слагающих в совокупности единую флюидонасыщенную и энергетически активную вулкано-интрузивную рудномагматическую колонну.

Породная ассоциация Еланского рудоносного массива представлена двумя разновозрастными группами пород – норитовой (2065 ± 14 млн лет) и более поздней диоритовой (2050 ± 14 млн лет), которые совместно с комагматичным им жильным (дайковым) комплексом образуют единый генетически родственный ряд пород.

Норитовая рудонесущая породная группа включает: а) меланократовые, мезократовые, лейкократовые нориты и их амфиболизированные и полевошпатизированные разновидности; б) комагматичные норитам дайки (норит-порфириды, габбро-порфириды, роговообманковые габбро, пироксеновые диоритовые порфириды и др.), широко развитые вблизи рудных тел. Диориты (интрузивные и жильные поздней фазы) представлены роговообманково-биотитовыми, кварц-биотитовыми и кварц-кальцитсодержащими разновидностями [4].

Петрогеохимический облик всей интрузивно-дайковой совокупности пород, и, прежде всего, норитов и их дайковых комагматов определяется присущими для кремнеземистой высокомагнезиальной магматической серии признаками [2, 3, 8, 9, 11, 12], отражающими принадлежность ортопи-

роксенит-норит-диоритовых интрузий и их дайковых комагматов к контаминированному типу: а) повышенной (отвечающей мафит-субультрамафитовой породной группе) магнезиальностью (MgO = 8,4-17,4 мас.%, иногда до 20 мас.%) при одновременно высоком (характерном для средних пород) содержании SiO₂ (52,9-58,7 мас.%, иногда до 61 мас.%), при пониженной роли CaO и Al₂O₃ и повышенной - щелочей (2,5-5,0 мас.%, Na₂O > K₂O), Rb, Ba, и др. (табл. 1); б) принадлежность норитов и всей совокупности интрузивных и жильных пород еланского комплекса к единому петрохимическому ряду известково-щелочной серии; в) высокой (на порядок выше кларковой величины) хромистостью (до 0,5 мас.% в меланократовых норитах), концентрацией никеля и значительным преобладанием его над медью (Ni/Cu = 3-10), серы (0,2-1,0 мас.%), состав которой обогащен легким изотопом ($\delta^{34}S = -0,2 - -3,5\%$; при устойчиво высоких значениях корреляционных связей Fe, Ni, Ca, Cu, S; в) обогащенностью легкими РЗЭ ($Ce_N/Yb_N = 4-13$) при низком содержании тяжелых редких земель ($La_N/Yb_N = 1-3$) [4,7,14].

В пределах Еланского месторождения (рис. 1, г) выявлено несколько прерывистых (в плане и разрезе) сравнительно мощных зон сульфидного оруденения, которые концентрируются в центральной части вулкано-интрузивной колонны, протяженностью от 400 до 600 м, при мощности рудных тел от 10 до 15,3 м.

По содержанию главных рудообразующих элементов (Ni, Co, Cu) руды еланского типа принадлежат [4, 11] к маломедистым высоконикелистым с повышенными концентрациями кобальта (табл. 1), значительно обогащены изотопно-легкой серой ($\delta^{34}S = -0,3 - -11,6\%$), отличаются широким комплексом попутных полезных (Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Os, Ir, Ru, Se, Te, Mo) и вредных (As, Sb, Bi, Pb) компонентов. Эти общие для всей Хоперской группы месторождений и рудопроявлений признаки сульфидного никелевого оруденения выступают в качестве одного из определяющих элементов рудномагматической системы еланского типа [4, 11, 15].

Количественно на Еланском месторождении резко преобладают вкрапленные руды, прожилково-вкрапленные или вкрапленно-агрегатные и массивные имеют ограниченное развитие. При относительно невысокой доле густовкрапленных, прожилково-вкрапленных и сплошных руд они, вместе с тем, концентрируют более половины полезных компонентов [3, 4, 15].

Средние химические составы (мас.%) рудовмещающих интрузивно-дайкивых пород еланского типа месторождений [3, 4, 11, 12]

	1(10)	2(5)	3(42)	4(112)	5(87)	6(17)	7(12)	8(26)	9(13)	10(18)	11(21)	12(5)	13(16)	14(6)
SiO ₂	50.47	49.62	52.89	55.86	58.68	54.34	56.10	56.88	56.90	58.00	58.40	53.36	63.49	65.46
TiO ₂	0.63	0.52	0.68	0.67	0.76	0.39	0.38	0.43	0.41	0.71	0.95	0.75	0.65	0.77
Al ₂ O ₃	2.84	2.34	9.90	11.81	13.73	11.40	12.15	11.46	12.79	14.23	13.07	10.16	15.52	14.40
Cr ₂ O ₃	0.32	0.30	0.27	0.21	0.17	0.29	0.22		0.10	0.10				
Fe ₂ O ₃	7.51	9.15	3.58	2.65	2.13	2.09	2.54	1.57	1.45	1.40	1.48	3.17	1.53	0.99
FeO	7.88	9.20	6.75	6.03	5.03	7.91	6.72	6.44	7.30	6.39	6.18	7.43	3.42	3.26
MnO	0.09	0.09	0.07	0.06	0.06	0.16	0.06	0.10	0.12	0.11	0.06	0.02	0.06	0.05
MgO	23.23	25.10	17.38	12.94	8.45	14.06	12.77	14.69	11.86	7.32	10.11	16.32	4.69	3.77
CaO	4.23	2.77	5.55	5.82	5.80	6.18	5.13	4.94	4.87	6.75	4.91	6.27	4.32	4.08
Na ₂ O	0.45	0.29	1.59	2.21	2.79	1.83	2.20	1.88	2.32	2.37	2.53	1.64	3.53	2.82
K ₂ O	0.61	0.49	0.96	1.50	2.14	1.10	1.54	1.50	1.73	2.39	2.11	0.88	2.56	4.20
P ₂ O ₅	0.20	0.13	0.22	0.23	0.26	0.13	0.19	0.10	0.13	0.21	0.18		0.22	0.20
Ni	0.090	0.184	0.180	0.041	0.031	0.025	0.031	0.014	0.007	0.016	0.040	0.500	0.023	0.025
Co	0.006	0.013	0.006	0.006	0.003	0.004	0.005	0.002	0.001	0.003	0.004	0.020	0.002	0.002
Cu	0.050	0.102	0.030	0.021	0.021	0.003	0.011	0.004	0.003	0.016	0.006	0.030	0.033	0.015

Примечание: 1–2 – ортопироксениты: безрудные (1), рудные (2); 3–5 – меланонориты (3), мезонориты (4) и лейконориты (5) Еланской и Елkinsкой интрузий; Нориты интрузивов: 6 – Троицкого, 7 – Русановского, 8 – Новопокровского, 9 – Бороздиновского, 10 – Романовского, 11 – Некрыловского; 12 – рудоносные дайки роговообманкового габбро; 13 – кварц-биотитовые и биотит-кварцевые диориты Еланской интрузии; 14 – кварц-биотитовые и биотит-кварцевые микроклиновые диориты Еланской интрузии; Анализы пересчитаны на безводный состав и приведены к 100 %. Цифры в скобках соответствуют количеству анализов, использованных для расчета среднего состава.

Следует отметить, что существенная роль в общем потенциале богатых руд принадлежит различным по мощности (от 1,5–5 м до 25 м) дайкам роговообманкового габбро (см. табл. 2), которые практически повсеместно развиты среди рудонесущих норитов и рудных тел, характеризующихся, в таких случаях, преимущественно резкими контактами и широким развитием в их составе арсенид-сульфоарсенидного минерального парагенезиса [13].

С рудами в жильных роговообманковых габбро определенные черты сходства обнаруживают богатое золото-платиносодержащее сульфидное кобальт-медисто-никелевое оруденение (табл. 3), выделяемое в особый сульфидно-пегматоидный тип [4, 13].

Анализ пространственно-временных взаимоотношений руд в дайках роговообманкового габбро и пегматоидах с норитами, их минеральных парагенезисов и ряд других признаков, детально рассматриваемых в публикациях [4, 12, 13], свидетельствуют о том, что дайки выступают в качестве

каналов неоднократного поступления «свежих» порций сульфидного расплава в автономно кристаллизующейся интрузивно-дайкивой рудноматической системе, и, в совокупности с другими рудонесущими дайками еланского комплекса, определяют высокий металлогенический потенциал Хоперского рудного района в целом.

Особенностью минерального состава руд Еланского месторождения является тесное пространственно-временное совмещение раннего халькопирит-пентландит-пирротинового (троилит, моноклинные и гексагональные разновидности пирротина) и более позднего существенно обогащенного платиноидами и золотом кобальт-никелевого арсенид-сульфоарсенидного парагенезиса, сформировавшихся из единого рудоносного расплава [3, 4, 11]. Относительно широко распространенные (до 2–5 %, иногда до 7 %) арсениды, сульфоарсениды и антимониды никеля и кобальта, а также висмутиды и теллуриды представлены тесным сростанием достаточно большого числа минеральных фаз [3, 4, 15], среди которых преобладают: никелин, мине-

ралы ряда герсдорфит-кобальтин (герсдорфит, кобальтистый герсдорфит, никелистый кобальтин и кобальтин). Более ограниченно развиты: аргентопентландит, маухерит, минерал состава Ni₃As₂, гаухекорнит и стибигаухекорнит, ульманнит, брейтгауптит, миллерит, теллуrowисмутит и др. Входя-

щие в арсенид-сульфоарсенидный парагенезис, другие редкие редкие минералы представлены: молибденитом, сфалеритом, галенитом, борнитом, маккинавитом, самородным золотом, кюстелитом, алтаитом, виоларитом, данаитом, глаукодотом и др [3, 4, 9, 15].

Таблица 2

Содержание рудообразующих элементов (в масс.%) и величины их отношений в сульфидных никелевых рудах еланского типа [3, 4, 9, 12, 13]

Типы руд	n	S	Ni	Co	Cu	S/Ni	Ni/Cu	Ni/Co	S Ni+Co+Cu	В 100% сульфидов			
										Fe	Ni	Co	Cu
Еланское месторождение													
Вкрапленные	42	<u>4,02</u> 3,78	<u>1,31</u> 0,97	<u>0,04</u> 0,04	<u>0,14</u> 0,18	<u>3,07</u> 3,05	<u>9,36</u> 78,70	<u>32,93</u> 133,5	2,7	47,92	12,36	0,38	1,32
Гнездово-вкрапленные	17	<u>12,87</u> 6,65	<u>5,48</u> 3,40	<u>0,25</u> 0,27	<u>0,19</u> 0,18	<u>2,35</u> 4,58	<u>28,84</u> 310,9	<u>23,92</u> 490,5	2,2	44,42	16,18	0,74	0,56
Массивные	11	<u>24,82</u> 2,98	<u>8,01</u> 7,32	<u>0,19</u> 0,24	<u>0,07</u> 0,08	<u>3,10</u> 4,13	<u>114,4</u> 562,4	<u>42,16</u> 1169,4	3,0	49,34	12,26	0,29	0,11
Елкинское месторождение													
Вкрапленные	17	<u>4,37</u> 5,52	<u>0,41</u> 0,42	<u>0,02</u> 0,03	<u>0,06</u> 0,06	<u>10,66</u> 9,25	<u>6,89</u> 222,3	<u>20,50</u> 14,37	8,9	57,74	3,57	0,17	0,52
Гнездово-вкрапленные	5	<u>21,49</u> 2,74	<u>1,35</u> 0,31	<u>0,11</u> 0,05	<u>0,33</u> 0,16	<u>15,92</u> 3,23	<u>4,09</u> 3,86	<u>12,27</u> 25,54	12,0	58,84	2,39	0,19	0,58
Массивные	4	<u>24,39</u> 1,81	<u>2,56</u> 1,40	<u>0,09</u> 0,05	<u>0,07</u> 0,05	<u>9,53</u> 4,60	<u>36,57</u> 816,2	<u>28,44</u> 2550,6	9,0	57,76	3,99	0,14	0,11
Руды в дайках:													
а) ортопироксенитов (Центральное рудопроявление)													
Вкрапленные	14	6,19	0,78	0,05	0,17	7,94	4,59	15,60	6,20	56,53	4,79	0,31	0,37
Гнездово-шиповые	4	15,47	1,70	0,15	0,25	9,10	6,80	11,33	7,40	56,86	4,17	0,36	0,61
б) роговообманкового габбро (в пределах Еланского месторождения)													
Вкрапленные	3	3,75	0,48	0,02	0,07	3,10	7,91	24,95	8,48	56,34	4,80	0,19	0,67
Прожилково-вкрапленные и гнездовые	12	10,77	3,42	0,05	0,29	3,01	12,01	65,81	2,86	48,80	12,07	0,18	1,01
Массивные	1	14,85	6,25	0,10	0,87	2,38	7,18	62,50	2,06	43,52	15,99	0,26	2,23

Примечание: n – количество анализов; в числителе – среднее, в знаменателе – стандартное отклонение. Расчет состава сульфидной фазы произведен при S = 38 % по средним содержаниям.

Таблица 3

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

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

Исследования фазового состава никеля по полным пересечениям рудных зон Еланского месторождения показали [4, 15], что основной формой его нахождения в рудах является сульфидная (более 90 % от общего количества никеля) и лишь в верхних участках рудных зон (коры выветривания) значительно (до 50 % и более) возрастает доля силикатного никеля. Главным носителем Ni является пентландит, на долю которого приходится 93-94 % сульфидного никеля; меньшая часть приходится на виоларит - 3-4 %, пирротин - 2-3 %, арсениды и сульфоарсениды - 1-2 %. Практически вся медь присутствует в сульфидной форме и в одном минерале - халькопирите. Около 90 % Co содержится в рудных минералах и примерно 10 % - в силикатах. Основным минералом-носителем Co является пентландит, на долю которого приходится 65-75 % от общего количества кобальта. Значительная часть этого элемента концентрируется в сульфоарсенидах - 12-17 %, небольшая доля содержится в виоларите - 3-4 %, в пирите и марказите - 1-2 %. Практический интерес при промышленной оценке и комплексном освоении еланской группы месторождений представляют повышенные концентрации в рудах молибдена, серебра, селена (9 г/т), теллура (2 г/т) и золота (0,3-0,4 г/т), образующих самостоятельные минералы (молибденит, аргентопентландит, теллуровисмутит, алтаит, золото самородное и др.), а также элементы платиновой группы (ЭПГ).

Выполненные институтом «Гипроникель» (г. Санкт-Петербург) опытно-технологические исследования показали высокую степень обогащения (до 80-90 % Ni, Cu, Co) руд на стадии получения концентратов (окатышей) и извлечения металлов (от 75 до 95 %) при металлургической переработке.

Средневзвешенные содержания ЭПГ и сопутствующих им элементов в рудах Еланского месторождения, выполненные на значительном объеме проб в различных лабораториях и организациях (ЦНИГРИ, Гипроникель и др.), свидетельствуют в целом о невысоких содержаниях платиноидов (0,31-0,48 г/т), золота (0,11-0,85 г/т) и серебра (2,9-4,7 г/т). Наиболее высокие концентрации платиноидов выявлены в массивных рудах (Ni – 13,3-14,35 %, Cu – 0,28-1,17 %, Co – 0,25-0,30 %, Pt – 0,10-0,38 г/т, Pd – 0,36-1,0 г/т, Rh – до 0,03 г/т, Ru – до 0,012 г/т, Ir – до 0,014 г/т) при среднем содержании платиноидов в 0,495 г/т (Pd/Pt = 2,4). В единичных пробах массивных и сульфидно-пегматоидных руд установлено до 12 г/т ЭПГ и до 2,5 г/т Au [4-6, 16, 17].

Извлечение ЭПГ из руд Еланского типа (по данным «Механообра») составляет 55-66 %, а платины (по результатам исследований ЦНИГРИ) до 94,3 %. Институтом «Гипроникель» в 1988 г было выполнено исследование технологической пробы руды Еланского месторождения, содержащей 0,08-0,12 г/т Pt, 0,06-0,07 г/т Pd, 0,003-0,004 г/т Ru, 0,04 г/т Rh, 0,05 г/т Os и < 0,01 г/т Ir. При среднем извлечении ЭПГ в 64,3 % содержание платины в сульфидном концентрате составило 0,39-0,64 г/т (извлечение 54,6-65,8 %), а палладия – 0,31-0,93 г/т (извлечение 48,9-75,8 %). За основные технологические показатели сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд рассматриваемого объекта приняты: содержание ЭПГ в руде – 0,35 г/т, в концентрате – 2,13 г/т, в хвостах – 0,14 г/т, в окатышах – 2,18 г/т. Соответствующие показатели для золота и серебра следующие: 0,22 и 3,25 г/т (руда), 1,58 и 24,90 г/т (концентрат), 0,06 и 0,73 г/т (хвосты), 1,58 и 24,90 г/т (окатыши). Таким образом, при отработке Еланского и других крупномасштабных проявлений Хоперского рудного района, возможно попутное извлечение платиновых металлов. При этом могут быть использованы технологии, апробированные на ряде отечественных и зарубежных месторождений.

Пространственно-генетическая связь оруденения с многофазными субвулканическими ортопироксенит-норит-диоритовыми телами, рудовмещающие нориты которых отличаются комплексом минералогических (высокомагнезиальный состав фемических минералов, широкое развитие ортопироксена, наличие кварца и калишпата), петрохимических (несоответствие между высокими содержаниями MgO и повышенными концентрациями SiO₂ и K₂O; высокие величины отношений MgO/CaO, SiO₂/CaO, MgO/FeO), геохимических (обогащенность как Cr и Ni, так и крупноионными литофильными элементами – K, Rb, Ba, легкими РЗЭ; высокие величины отношений Ce/Yb, Ce/Nb, Ba/Zr; повышенные Zr/Rb, Ti/Cr, Ti/Rb), изотопно-геохимических (высокие величины отношений ¹⁸O/¹⁶O, δ¹⁸O > 6‰; ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr: ΣSr > 1; низкие значения ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd: ΣNd < 0) и ряд других уникальных признаков [4, 9, 18-23] является следствием специфических условий формирования пород и руд из гибридного кремнисто-магнезиального (бонинитоподобного) сульфидоносного расплава, возникшего в результате контаминации исходных мантийных (коматитовых) магм коровым материалом. Подобная генетическая модель определяет, в частности, уникальность структурно-вещественных, петролого-

геохимических и рудно-формационных граничных признаков [4, 9, 14, 24] крупного по запасам и ресурсам Еланского и Елkinsкого платиноидно-медно-кобальт-никелевых месторождений и многочисленных рудопоявлений Хоперского (Еланского) рудного района.

Данные, полученные при выполнении институтом «Гипроникель» оценки запасов и ресурсов (категории C_2 , P_1 , P_2) обобщены в табл. 4 и 5.

Таблица 4
Геологические запасы и ресурсы богатых руд Еланского месторождения

Рудная зона	Руда, млн т	Средние содержания, %		
		Ni	Cu	Co
1	11.6	2.28	0.17	0.05
2	3.2	1.91	0.15	0.03
3	4.3	1.59	0.10	0.02
4 + 5	9.8	2.10	0.15	0.03

Примечание: запасы и ресурсы ($C_2+P_1+P_2$), при средних содержаниях Ni = 2,08 мас.%, Cu = 0,15 мас.%, Co = 0,035 мас.% составляют: Ni = 732 тыс. т, Cu = 53,6 тыс. т, Co = 12,3 тыс. т.

Таблица 5
Общие геологические запасы и ресурсы Еланского месторождения

Рудоносная зона	Руда, млн т	Средние содержания, %		
		Ni	Cu	Co
1	41.1	1.03	0.11	0.03
2	17.8	0.75	0.11	0.02
3	6.3	1.18	0.12	0.02
1 + 2 + 3	65.2	0.97	0.11	0.03
4 + 5	33.4	0.99	0.11	0.02

Примечание: общие запасы и ресурсы ($C_1+P_1+P_2$), при средних содержаниях Ni = 0,98 мас.%, Cu=0,11 мас.%, Co = 0,023 мас.%, составляют: Ni = 1171,9 тыс. т, Cu = 134,0 тыс. т, Co = 28,1 тыс. т.

Ресурсы благородных металлов (категории $P_1 + P_2$), при средних содержаниях Pt + Pd = 0,35 г/т, Au = 0,22 г/т, Ag = 3,4 г/т, составляют Pt + Pd = 42,0 т, Au = 26,4 т, Ag = 486 т.

Основные технические решения по отработке Еланского месторождения в условиях жестких экологических ограничений

Еланское и Елkinsкое месторождения, располагающиеся в пределах Новохоперского района с известными особо охраняемыми природными территориями, определяют необходимость решения многих проблем добычи руд и получения концентрата в условиях жестких экологических ограничений с целью сохранения уникальной экосистемы

[24]. Прежде всего, руды Еланского месторождения располагаются на глубине 250-300 м под осадочным чехлом, что требует исключительно шахтного способа отработки.

Осадочный чехол, перекрывающий месторождения, содержит 6 водоносных горизонтов, в том числе – основного источника водоснабжения вод плиоценового горизонта и залегающих непосредственно над рудными телами рассолов с содержанием около 70 г/л разных элементов, прежде всего брома и йода. Сложные гидрогеологические условия требуют особой технологии прохождения шахт, создания современных водоотводящих систем для утилизации технических вод, связанных с прохождением шахт (цементация, замораживание), добычей руд, производством концентрата, разработки специальных мероприятий по утилизации рассолов, возможному извлечению брома и йода. Выбор и оборудование специальных экранирующих площадок для складирования отходов – хвостов обогащения и их последующего использования в качестве закладочного материала для отработанных пространств.

К этому следует добавить - расположение месторождений в зоне глубинного Шумилинско-Новохоперского разлома, к которому тяготеет ряд местных землетрясений (магнитуда до 1,5-2); наличие (по предварительным данным) в пределах Хоперского (Еланского) рудного района около 50 древних курганов и не менее 10 поселений эпох от бронзы до средневековья. Ныне там обитает ряд видов уникальных животных и растений, включенных в Красную Книгу, книгу «Красная степь» и др. Работа по комплексному освоению месторождений требует перевода значительных площадей из статуса сельскохозяйственных в земли промышленного назначения, с перемещением плодородного слоя почвы.

Это далеко не полный перечень проблем, определяющих методологию и методику разработки месторождений в условиях жестких экологических ограничений и сохранения уникальной экосистемы, в целом.

Основопологающим является вскрытие месторождения на всю глубину разведанных запасов двумя стволами: скиповым и клетьевым. Проходка стволов через обводненную толщу осадочных пород осуществляется с замораживанием. Диаметр стволов в свету 7,5 м. Проветривание рудника – по клетьевому стволу, исходящая струя выдается по скиповому. Стволы сбиваются с рудным телом системой этажных квершлагагов. Высота этажа 80-

100 м. Этажи связываются между собой спиральными съездами. Оработка месторождения осуществляется камерной системой восходящим порядком с буровзрывной отбойкой руды и закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Ориентировочные параметры камер: высота 80-100 м, ширина 50 м, длина 60 м (на всю мощность рудного тела).

Осушение месторождения производится без сработки запасов кондиционных подземных вод осадочного чехла, перекрывающего породы кристаллического фундамента. Для обеспечения данной технологии в кровле рудного тела оставляется предохранительный рудный целик мощностью (толщиной) порядка 50 м, защищающий рудник от проникновения подземных вод осадочной толщи. По трубопроводу в клетьевом стволе дренажные воды выдаются на поверхность и далее перекачиваются на участок утилизации. Утилизация минерализованных дренажных вод осуществляется посредством их обратной закачки (захоронения) в руднокристаллический водоносный горизонт через систему закачных скважин, расположенных на удалении 5-7 км от подземного рудника.

Обогащение руды осуществляется на обогатительной фабрике производительностью по концентрату 80-100 тыс. тонн в год. Технология обогащения исключительно флотационная. Используется технология сгущения отходов обогащения - хвостов с замкнутым циклом технического водоснабжения по схеме: обогатительная фабрика → узел сгущения хвостов → обогатительная фабрика. Сгущенные хвосты поступают в хвостохранилище и далее используются для приготовления закладочного материала.

Товарной продукцией будущего производства является сульфидный концентрат флотационного способа обогащения. Дальнейший передел, связанный с окомкованием, обжигом и металлургическим способом обогащения металлов, в пределах Воронежского региона, недопустим по многим причинам, а самое главное по экологическим.

Хвостохранилище рассчитано на аккумуляцию сгущенных хвостов из расчета, как отмечалось, их дальнейшего максимального использования для приготовления закладочного материала. Чаша хвостохранилища будет иметь минимальную площадь и должна быть экранирована для полного исключения фильтрационных потерь в подземные воды. Хвосты, содержащиеся в хвостохранилище, должны быть в необходимой мере увлажнены для исключения пыления. Объем закладочной смеси

должен соответствовать объему выработанного подземного пространства. Например, при годовой производительности рудника 2 млн тонн и объеме весе руды порядка 3,1 т/м³ производительность закладочного комплекса может быть оценена величиной 645 тыс. м³ в год. Состав закладочной смеси – хвосты + цемент + вода.

Готовая продукция – медно-никелевый концентрат в количестве порядка 80-100 тыс. тонн в год железнодорожным транспортом отправляется за пределы Воронежской области на дальнейшую переработку (окомкование и металлургический передел). В случае суточной производительности рудника по концентрату 230 тонн, потребность в подвижном составе (вагонах) грузоподъемностью 60 тонн составит порядка 115 вагонов (2 эшелона) в месяц.

Таким образом, представляется технически обоснованным строительство экологически чистого подземного рудника по производству медно-никелевого концентрата на базе Еланского месторождения.

Предложения по экологическим мероприятиям в связи с освоением месторождения и сохранением экосистемы

До начала геолого-разведочных работ и последующего оработки месторождения, необходимо проведение ряда опережающих мероприятий, которые являются базовыми для последующих оценок влияния технологий разработки месторождений на экосистему. Программа комплексной оценки современного состояния окружающей природной среды в районе освоения Еланского месторождения в Новохоперском районе Воронежской области, реализуемая со второй половины 2012 г., включает: исследование региональных особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в районе будущих разработок никеля в Новохоперском районе, в связи с состоянием биоценозов и видов из «Красной книги Воронежской области», ООПТ-«Краснянская степь», «Урочище Ольха», «Парк-усадьба Калиново», «Болото Безымянное»; проведение археологического обследования, с целью выявления всех сохранившихся объектов археологического наследия; внесение открытых и обследованных памятников археологии в Государственный земельный кадастр и Единый государственный реестр объектов культурного наследия Российской Федерации.

До начала буровых и горных работ, начато детальное сейсмическое районирование зоны Шуми-

линско-Новохоперского разлома и территории горного отвода. Эти работы позволят оценить влияние локальных грунтовых, гидрогеологических и геоморфологических особенностей территории, дадут представление о «фоновом» состоянии геологической среды. Они помогут в выборе места захоронения минерализованных вод, откачиваемых из шахты и явятся основой для сейсмического мониторинга в процессе эксплуатации шахты.

На первой стадии разведки месторождений предусмотрен отбор и исследования на действующих металлургических комбинатах, двух крупно-объемных технологических проб (из скважин по рудной зоне больших диаметров) для установления параметров и их использования в существующих экологически эффективных схемах обогащения и последующей переработки рудных концентратов основных (Ni, Cu, Co) и попутных полезных (ЭПГ, Au, Ag, Se, Te, Mo) и вредных (As, Sb, Bi) компонентов.

Реализация проекта в современных условиях немыслима без информационного сопровождения, целью которого является формирование благоприятного общественного мнения. Это должны делать специалисты. Населению Новохоперского района и Воронежской области нужно внятно разъяснить преимущества проекта: ожидаемая прибыль в бюджет района и области, предполагаемое количество рабочих мест и их оплата, поддержка инвестором социальных объектов, инфраструктуры района и т.д.

Особое значение придается вопросу о многостороннем и наиболее полном социальном обеспечении на всех этапах осуществления проекта по освоению никеленосных объектов, по специально разработанной программе.

На наш взгляд, руководство этой уже утверждённой и действующей программой требует единого теоретико-методологического, концептуального и управленческого подхода; преодоления фрагментарности в работе, усиления комплексности и всестороннего учёта совокупности интересов государства, инвесторов и общества.

Ожидаемое в ближайшие годы возрастание спроса на мировом рынке на цветные и благородные металлы во многом определяют стратегию развития и освоения минерально-сырьевой базы этих металлов в зарубежных странах. Уместно отметить, что в ряде стран (Финляндия, Канада, Норвегия, Китай и др.) чётко обозначилась тенденция вовлечения в отработку средних и даже мелких (с запасами в 10-15 тыс. тонн) месторождений с

невысокими содержаниями Ni (0,5-0,6 %, иногда до 0,3), Cu (0,1-0,12 %), Co (0,02 %) и ЭПГ (до 0,5-1 г/т). Такой подход позволяет прежде всего максимально сохранить экосистему, а также обеспечить ускоренную отдачу производства, внедрить новые современные малоотходные технологии, быстро реагировать на изменение и нормализацию ценообразования.

Тщательный учет зарубежного опыта приобретает особую актуальность в определении общей стратегии и тактики освоения платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежской группы, как новой минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов России, сохранения ее лидирующего положения по производству этих металлов.

Залегающие на глубине от 40 до 350 м от дневной поверхности средние, мелкие и, в меньшей мере, крупные по ресурсам и запасам месторождения и рудопроявления мамонского типа по геолого-технологическим параметрам руд близки к месторождениям Кольского региона и характеризуются сравнительно высокой степенью извлечения металлов при переработке флотационных концентратов. Еланский рудный район включает ряд залегающих на сравнительно больших (свыше 250 м от дневной поверхности) глубинах разномасштабных (от крупных до средних и мелких) месторождений и рудопроявлений с высоким содержанием никеля и широким комплексом других попутных полезных компонентов (ЭПГ, Au, Ag, Se, Te, Mo и др.) Общий потенциал цветных и благородных металлов, сосредоточенных в месторождениях и рудопроявлениях Воронежской группы является надежной основой для создания нового крупного горно-обогачительного комбината (в составе рудника, горно-обогачительной фабрики и социально-жилищного комплекса) с получением флотационного концентрата на месте и его последующей металлургической переработкой на комбинатах Кольского региона, которые ныне используют значительный объем привозной руды из Норильска. Единственным оптимальным способом отработки месторождений Воронежской группы является шахтный с необходимыми капитальными затратами, обеспечивающими максимальное сохранение экосистемы на всех стадиях горно-геологического и технологического процессов и комплексного освоения вскрышных пород и содержащихся в них питьевых и минеральных вод.

Начатая в 2012 году подготовка Еланского типа месторождений к освоению настоятельно требует

продолжения геологоразведочных работ для оценки глубоких горизонтов рудных тел, уточнения параметров месторождений, данных по содержанию, распределению и оценке попутных полезных и вредных (As, Sb и др.) компонентов, вопросов обогащения руд при одновременном проведении поисковых и поисково-оценочных работ в пределах выявленных и потенциально перспективных площадей, включая Мамонский и другие рудные районы, с целью наращивания запасов и ресурсов цветных и благородных металлов. Подобный подход к промышленной разработке выявленных месторождений на основе использования современных малоотходных технологий с максимальным сохранением окружающей среды на всех стадиях отработки руд и их обогащения с одновременным проведением поисков на перспективных рудоносных объектах являются определяющими в стратегии освоения и развития новой минерально-сырьевой базы Центральной России, расширении ее ресурсов и выработке долгосрочной концепции создания новой для Воронежского края отрасли народного хозяйства - горнодобывающей промышленности цветных и благородных металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов Н. М. Новый тип сульфидного никелевого оруденения Воронежского кристаллического массива / Н. М. Чернышов // Геология рудных месторождений. – 1985. – № 3. – С. 34–45.
2. Чернышов Н. М. Новый тип никеленосной формации в докембрии Воронежского кристаллического массива / Н. М. Чернышов [и др.] // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1991. – № 9. – С. 111–124.
3. Чернышов Н. М. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения еланского типа (геология, закономерности размещения, минералого-геохимические особенности руд, геолого-генетическая модель формирования) / Н. М. Чернышов // Вест. Воронеж. ун-та. Серия: Геология. – 1998. – № 5. – С. 120–151.
4. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.
5. Чернышов Н. М. Цветные и благородные металлы в недрах Воронежского края и перспективы их освоения / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова // Регион: системы, экономика, управление. – Воронеж : Научная книга, 2009. – Вып. 2. – С. 133–153.
6. Чернышов Н. М. Благородные металлы в сульфидных кобальт-медно-никелевых рудах еланской группы месторождений Воронежского региона (закономерности распределения, геолого-экономический потенциал, перспективы освоения) / Н. М. Чернышов // Регион: системы, экономика, управление. – Воронеж, 2011. – № 2 (13). – С. 59–85.
7. Чернышов Н. М. Сульфидные платиноидно-медно-кобальт-никелевые руды Еланского типа месторождений (Условия локализации, типы и состав, генетические особенности) / Н. М. Чернышов // Руды и металлы. – 2012. – № 6. – С. 24–37.
8. Чернышов Н. М. Генетические типы месторождений медно-никелевой формации Воронежского кристаллического массива (ВКМ) / Н. М. Чернышов // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск : Наука, 1988. – С. 182–190.
9. Чернышов Н. М. Геолого-генетическая модель формирования сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений еланского типа (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика) : сб. науч. тр. – М., 1999. – Т. 4. – С. 120–140.
10. 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. – Красноярск : Изд-во Красноярского НИИ «Геологии и минерального сырья», 2011. – Т. VII. – С. 161–181.
11. 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.
12. Чернышова М. Н. Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – 368 с.
13. Чернышова М. Н. Роль даек при формировании сульфидной платиноидно-медно-никелевой рудообразующей системы / М. Н. Чернышова // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – Воронеж, 2013. – № 1. – С. 163–168.
14. Chernyshov N. M. The role assimilation in forming the nickeli-ferrous norite-diorite intrusions of the Voronezh crystalline massif / N. M. Chernyshov, A. V. Pereslavl'tsev // Int. Geol. Rev. – 1994. – V. 36. – P. 587–604.
15. Чернышов Н. М. Минералогические особенности сульфидных никелевых руд Еланского месторождения / Н. М. Чернышов [и др.] // Минералогический журнал. – 1991. – № 1. – С. 18–30.
16. Чернышов Н. М. Особенности распределения и модель механизма фракционирования металлов платиновой группы в сульфидных никелевых рудах еланского типа месторождений. Статья 1. Сульфидные никелевые руды еланского типа месторождений и особенности распределения в них металлов платиновой группы / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова // Вестник Воро-

нежского ун-та. Серия: Геология. – 2011. – № 1. – С. 117–132.

17. Чернышов Н. М. Особенности распределения и модель механизма фракционирования металлов платиновой группы в сульфидных никелевых рудах Еланского типа месторождений. Статья 2. Геолого-генетическая природа рудномагматической системы еланского типа и механизм фракционирования в рудах металлов платиновой группы / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – Воронеж, 2011. – № 2. – С. 148–167.

18. Arndt N. T. Crystally contaminated komatiites and basalts from Kambalda, Western Australia / N. T. Arndt, G. A. Jenner // Chem. Geol. – 1986. – V. 56, № 3/4. – P. 229–255.

19. Huppert H. E. Cooling and contamination of mafic and ultramafic magmas during ascent through continental crust / H. E. Huppert, R. S. J. Sparks // Earth Planet. Sci. Letters. – 1985. – V. 74, № 4. – P. 371–386.

Воронежский государственный университет

Н. М. Чернышов, член-корреспондент Российской академии наук, заслуженный деятель науки РФ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии и петрологии ВГУ, руководитель НОЦ «Геология рудных месторождений Центральной России» ВГУ-ИГЕМ РАН

Тел. 8 (473) 220-86-81

petrology@list.ru

20. Naldrett A. J. Contamination at Sudbury and its role in ore formation / A. J. Naldrett, B. V. Rao, N. M. Evensen // Metallogeny of basic and ultrabasic rocks. London, 1986. – P. 75–91.

21. Sparks R. S. J. The role of crystal contamination through geological time / R. S. J. Sparks // Earth Planet. Sci. Letters. – 1986. – V. 78, № 2/3. – P. 211–223.

22. Лихачев А. П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения / А. П. Лихачев. – М. : Эслан, 2006. – 496 с.

23. Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд / А. Дж. Налдретт. – СПб. : СПбГУ, 2003. – 487 с.

24. Чернышов Н. М. К проблеме комплексного освоения Еланского типа месторождений цветных (Ni, Cu, Co) и благородных (платиноиды, золото, серебро) металлов Воронежского региона в условиях жестких экологических ограничений / Н. М. Чернышов, Г. Н. Гензель, В. С. Рахманин // Регион: системы, экономика, управление. – Воронеж, 2012. – № 2. – С. 52–64

Voronezh State University

N. M. Chernyshov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Researcher of RF, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of Department of Mineralogy and Petrology at Voronezh State University (VSU), Head of Centre for Research and Education “Geology of ore deposits of Central Russia” at VSU-IGEM RAS

Tel. 8 (473) 220-86-81

petrology@list.ru