

**СУЛЬФИДНЫЕ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ И НИКЕЛЬ-КОБАЛЬТОВЫЕ РУДЫ В ДАЙКОВО-ЖИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ И МЕТАСОМАТИТАХ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ)**

**М.Н. Чернышова**

*Воронежский государственный университет*

*г. Воронеж, Университетская пл., 1*

*E-mail: shurshilova@geol.vsu.ru*

*Поступила в редакцию 30 мая 2006 г.*

На основе комплекса геолого-геофизических, структурно-вещественных и других данных приводится характеристика разнотипных сульфидных платиноидно-медно-никелевых и никелевых руд ассоциирующих с дайковыми образованиями еланского никель-платиноносного комплекса и их метасоматитами. Определено их место в общей модели формирования рудномагматической системы. На примере Подколдовского рудного района предложена принципиальная схема транскоровой эволюции рудномагматической системы очагового типа в головных зонах локальных мантийных плюмов и промежуточных магматических очагов в пределах континентальной коры разных уровней через систему подводящих каналов – «даек». На основе эталонного объекта (Линн-Лейк, Канада) выполнен подсчет прогнозных ресурсов сульфидных медно-никелевых руд.

Ключевые слова: *Воронежский кристаллический массив, дайки, сульфидные платиноидно-медно-никелевые и никель-кобальтовые руды, рудномагматические системы, прогнозны ресурсы.*

**SULFIDE PLATINOID-COPPER-NICKEL AND NICKEL-COBALT ORES IN DYKE-VEIN COMPLEXES AND METASOMATITES OF THE VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF (CENTRAL RUSSIA)**

**M.N. Chernyshova**

*Voronezh State University*

On the basis of a complex of geologo-geophysical, structural-material and other data the description of polytypic sulfide platinoïd-copper-nickel and nickel ores associating with dyke formations of the Elan nickel-platiniferous complex and their metasomatites is given. The position of ores in the general model of the formation of ore-magmatic systems is determined. The Podkolodnovka ore region served as an example for suggesting the fundamental chart of a transcrustal evolution of the ore-magmatic system of a focal type in head zones of local mantle plumes and intermediate magmatic focuses within the limits of the continental crust of different levels through the system of incurrent canals – «dykes». On the basis of a reference object (Lynn Lake, Canada) the calculation of the forecast resources of sulfide copper-nickel ores is carried out.

Keywords: *the Voronezh Crystalline Massif, dykes, sulfide platinoïd-copper-nickel and nickel-cobalt ores, ore-magmatic system, forecast resources.*

В соответствии с известной геодинамической моделью [Чернышов и др., 1997], базирующейся на комплексном анализе геолого-геофизических, петрофизических, геолого-струк-

турных, петрологических и изотопно-геохимических данных, в докембрийской истории развития ВКМ выделено три цикла: а) раннеархейский; б) позднеархейский; в) раннепротерозой-

ский, завершающиеся коллизионными процессами на рубеже около 3 млрд. лет, 2,6-2,5 млрд. лет и 2,1-2,0 млрд. лет соответственно.

Наибольшим разнообразием геодинамических обстановок характеризуется раннепротерозойский цикл (внутриконтинентальный рифтогенез и реактивизация позднеархейских рифтов, тыловой рассеянный спрединг, шарьяжирование), возникшие в результате сложного механизма субдукционных процессов в зоне взаимодействия континентов (более «легкого» КМА и Хоперского с «тяжелой» литосферой) и обусловивших высокую степень эндогенной активности, разноуровневый характер очагов магмогенерации, существенное возрастание роли ассимиляции мантийными расплавами корового материала. Предполагается [Чернышов и др., 1997], что на субдукционном этапе развития Лосевской зоны с миграцией восходящих мантийных потоков в сторону Хоперского мегаблока и заглужением очагов магмогенерации связано широкое развитие в его пределах в разной мере дифференцированных ультрамафит-мафитовых интрузий мамонского комплекса (2100-2080±10 млн. лет [Чернышов и др., 1998а]), внедрившихся по рассредоточенным зонам растяжения в результате механизма рассеянного спрединга, а также более поздних по времени формирования норит-диоритовых тел еланского комплекса (2065-2058±14 млн. лет [Чернышов и др., 1998б]). С последовавшим за ним коллизионным этапом в пределах Хоперского мегаблока сформировался бобровский комплекс субщелочных гранитов с возрастом 2022±3 млн. лет, обнаруживающих признаки параавтохтонности.

Одной из самых характерных особенностей Хоперского мегаблока является исключительно широкое развитие в его пределах ультрамафит-мафитовых, мафитовых и мезомафитовых интрузивно-дайковых тел никель-платиноносного мамонского комплекса. В его составе выделяется несколько групп интрузивно-дайковых тел, сформировавшихся, вероятно, в условиях неодинаковых уровней магмагенерации или очаговых зон и различающихся по структурному положению и разному уровню эродированности, составу породных ассоциаций и минеральных парагенезисов, полноте дифференцированности, масштабам и степени продуктивности на цветные и благородные металлы [Чернышов, 1993, 2004; Чернышова, 1996, 1999, 2002]: 1) ранние ультрамафитовые

высоко- и умеренномагнезиальные в разной мере дифференцированные, бесполовошпатовые промышленно рудоносные (мамонский тип); 2) ультрамафит-мафитовые умеренномагнезиальные камернодифференцированные (расслоенные) с амфибол (титанистая роговая обманка)-плагноклазсодержащими рудоносными ультрамафитами (ширяевский тип); 3) ультрамафит-мафитовые (фазные) камернодифференцированные рудоносные (елань-вязовский тип); 4) количественно преобладающие в составе комплекса слабодифференцированные с неустановленным оруденением и недифференцированные безрудные габбро-норитовые, габбровые и габбро-диоритовые интрузивы (каменский тип), завершающие становление всей рудоносной дунит-перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации.

Исключительно высокая степень насыщения (плотность; рис. 1А,Б) ультрамафит-мафитовыми и мафитовыми интрузивно-дайковыми породными ассоциациями является, вероятно, следствием существования в пределах крупного (375 × 475 км<sup>2</sup>) Хоперского мегаблока магматических систем, развивающихся над головными частями мантийного суперплюма с возникновением над его поднимающейся поверхностью локальных плюмов. В соответствии с ранее рассмотренной моделью формирования ВКМ в раннем протерозое последние концентрировались в трех достаточно протяженных (до 200-300 км) северо-западных (340-350°) зонах их рассеянного спрединга (см. рис. 1Б): а) Западной (Лосевско-Мамонской) с широким проявлением интрузивно-дайковых тел мамонского типа; б) Центральной (Озерковско-Ширяевской), в пределах которой развиты интрузивно-дайковые образования ширяевского типа и в) Восточной (Елань-Эртильской) с многообразными плутонами елань-вязовского типа мамонского комплекса и многочисленными интрузивно-дайковыми телами еланского комплекса. Каждая из них выделяется цепочкой выстроенных вдоль осевых структур в определенный ряд сближенных разномасштабных по размерам и интенсивности локальных гравитационных и магнитных аномалий, которые соответствуют интрузивно-дайковым системам различным по количественному соотношению ультраосновных и мафитовых составляющих.

Отдельные звенья такой системы представляют собой, по существу, конвективные ячейки (магматические центры) в пределах ав-

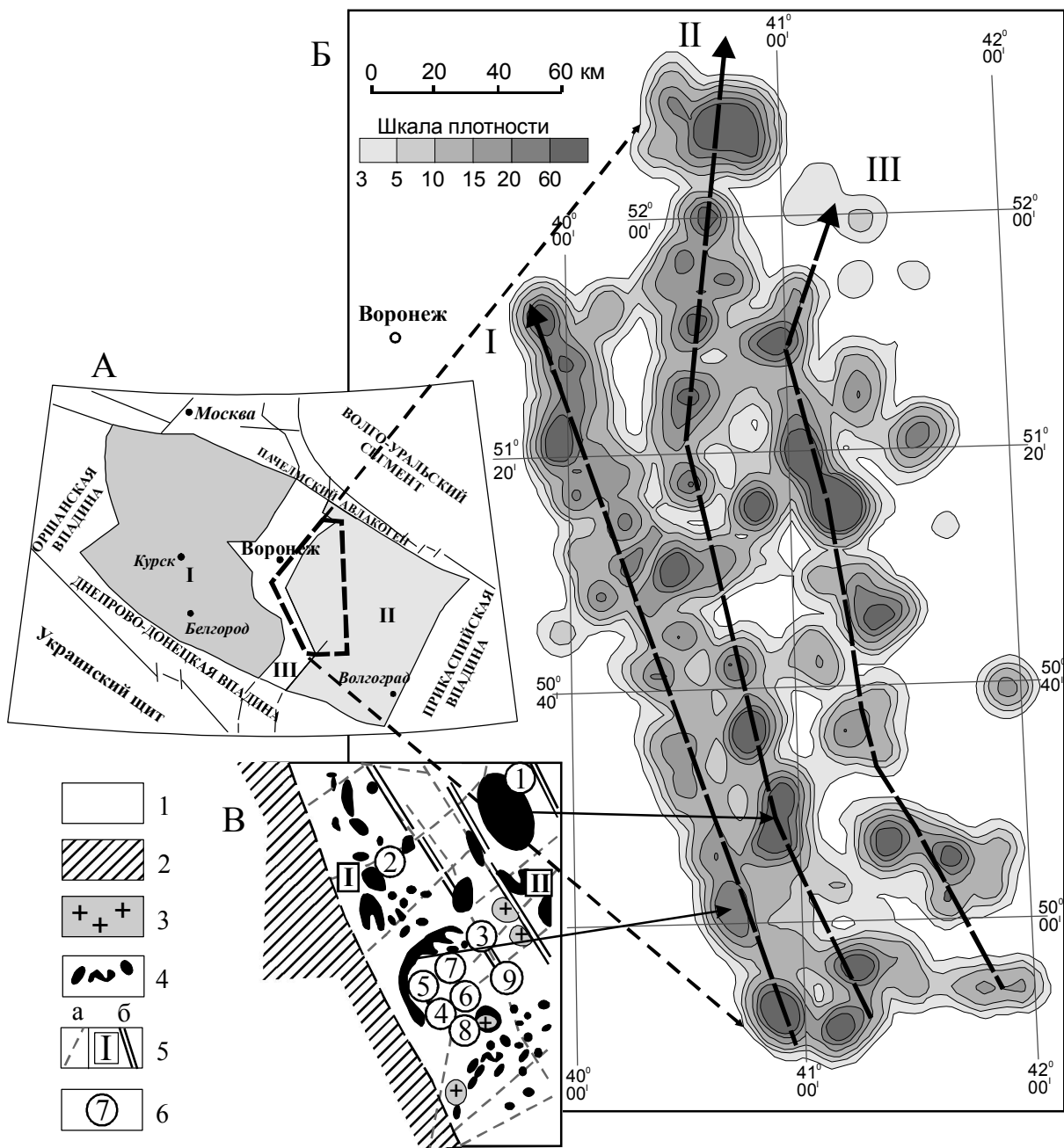


Рис. 1. Положение никель-платиноносных интрузивно-дайковых тел мамонского комплекса в структуре ВКМ.

А) Схема структурно-формационного районирования ВКМ: I – мегаблок КМА; II – Хоперский мегаблок; III – Лосевская шовная зона; Б) Плотность распределения интрузивно-дайковых тел мамонского никель-платиноносного комплекса и направление осевых структур зон рассеянного спрединга: I – Западная (Лосевско-Мамонская); II – Центральная (Озерковско-Ширияевская); III – Восточная (Елань-Эртильская); В) Схема размещения интрузивно-дайковых тел мамонского комплекса в пределах Мамонско-Подколodновского рудного района: 1 – песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии; 2 – вулканогенно-осадочные отложения лосевской серии (в пределах Лосевской шовной зоны); 3 – гранитоиды бобровского комплекса; 4 – ультрамафит-мафитовые интрузивно-дайковые тела мамонского никель-платиноносного комплекса; 5 – тектонические нарушения (а) и границы зон (б): I – Западная (Лосевско-Мамонская), II – Центральная (Озерковско-Ширияевская); 6 – месторождения и рудопроявления: 1 – Ширияевское, 2 – Нижнемамонское, 3 – Артюховское, 4 – Подколodновское, 5 – Юбилейное, 6 – Северо-Бычковское, 7 – Мартовское, 8 – Коммунское, 9 – Бычковское.

тономных структур зон рассеянного спрединга, встроенные в строгий ряд, в котором максимальное количество ультрамафит-мафитовых тел размещаются над восходящими потоками.

При достаточно широком проявлении в Хоперском мегаблоке разновозрастного и разномасштабного сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения, образующего с уль-

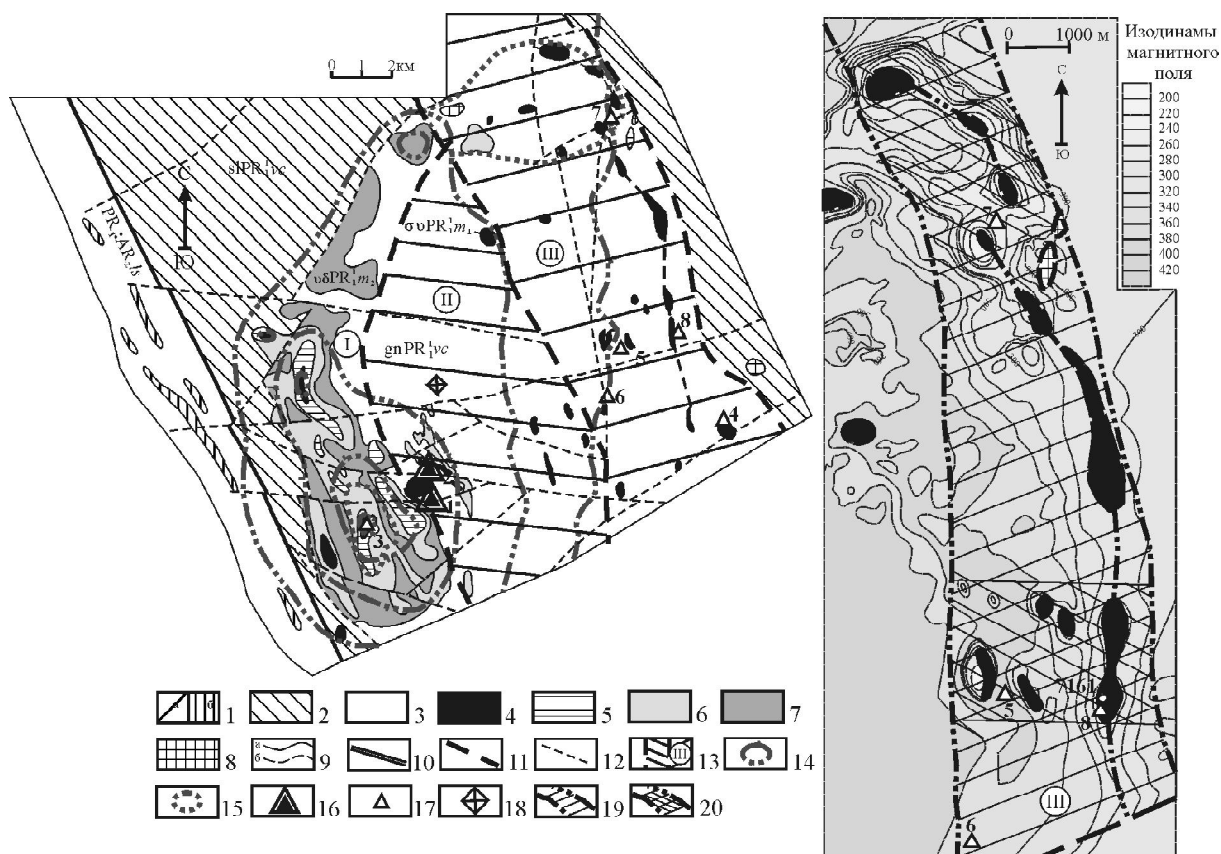


Рис. 2. Схематическая геологическая карта (с элементами прогноза) Подколodновского рудного района.

Лосевская серия ( $PR_1; AR_1$  ls): 1 – мигматиты по метабазитам и вулканогенным породам среднего и основного состава (а), реликтовые тела ортоамфиболитов (б); воронцовская серия ( $PR_1^1vc$ ): 2 – песчанико-сланцевые образования: метапесчаники, металевролиты, сланцы двуслюдяные, филлитовидные и углеродсодержащие ( $slPR_1^1vc$ ); 3 – гнейсы биотитовые, силлиманит-биотитовые, гранат-биотитовые, двуслюдяные, кордиерит-гранато-графитсодержащие и графитовые, в различной мере мигматизированные ( $gnPR_1^1vc$ ); 4-8 – мамонский интрузивно-дайковый комплекс, ультрамафиты ( $\sigma\delta PR_1^1m_1$ ): 4 – дуниты, перидотиты, плагиоперидотиты, оливиновые пироксениты, пироксениты; мафиты ( $\delta\delta PR_1^1m_2$ ); 5 – габбро-нориты меланократовые; 6 – габбро мезократовые, амфиболитизированные; 7 – габбро-нориты лейкократовые, кварцсодержащие габбро, габбро-диориты; породы среднего состава; 8 – диориты биотит-роговообманковые, роговообманковые, кварцевые диориты и биотит-плагиоклазовые породы жильно-дайковой серии; 9 – геологические границы – установленные (а), предполагаемые (б); 10 – зона глубинного Лосевско-Мамонского разлома; 11-12 – зоны разломов второго порядка (11) и более высоких порядков (12); 13 – зоны позднеколлизийного структурно-тектонического развития Подколodновского рудного района с элементами прогноза: I – Западная; II – Центральная; III – Восточная; 14 – расположение гравитационных аномалий в пределах рудного района с эпицентром над Донским массивом; 15 – локальные высокоинтенсивные аномалии низких (до 5-50 Ом·м) электросопротивлений в осевой зоне расслоенного Донского интрузива мафит-ультрамафитов и на северном фланге зоны III; 16 – месторождения сульфидных платиносодержащих Cu-Ni руд: 1 – Подколodновское, 2 – Юбилейное; 17 – сульфидные платиноидно-медно-никелевые рудопроявления: 3 – Донское, 4 – Бычковское, 5 – Северо-Бычковское, 6 – Мартовское, 7 – Артюховское, 8 – Коммуное; 18 – Сухоярское месторождение графита; 19-20 – на врезке: граница Коммуно-Артюховского участка подсчета прогнозных ресурсов металлов эпигенетических брекчиевых платиноидно-медно-никелевых руд коммуноского типа в III зоне по категории  $P_3$  (19), по категории  $P_1+P_2$  (20).

трамафит-мафитовыми и мафитовыми комплексами разнотипные рудномагматические системы (PMS; [Чернышов, 2004]) наиболее важные в промышленном отношении месторождения принадлежат к двум формационно-генетическим типам: мамонскому и еланскому.

В пределах месторождений мамонского типа (Нижнемамонское, Подколдновское) выявлено несколько различных по мощности (1-2 м до 40-85 м) и протяженности (до 2200 м) зон платиноидно-медно-никелевых руд пентландит-халькопирит-пирротинового состава, целиком располагающихся в ультрамафитовых дифференциатах интрузивов. Руды вкрапленные и густовкрапленные (Ni = 0,30-3,14 мас. %, Cu = 0,15-4,01 %; Co до 0,05 %) с жилами массивных и брекчиевидных (Ni = 1,67-5,93 %; Cu = 0,25-4,01 %, реже до 10,1 %; Co = 0,08-0,13 %, иногда до 0,44 %; ЭПГ и Au около 1 г/т, редко до 2,5 г/т).

Крупнообъемная по запасам и ресурсам еланская группа месторождений тесно ассоциирует с норитами и представлена рядом крупнопадающих различной мощности (до 100 м) и протяженности (до 1000 м) залежей богатых вкрапленных и гнездово-вкрапленных (Ni = 1,31-5,48 мас. %, Co = 0,04-0,25 %, Cu = 0,19 %; ЭПГ = 0,3-0,5 г/т) и в меньшей мере брекчиевидных и массивных (Ni = 8,01 %; Cu = 0,10 %, Co = 0,19 %, ЭПГ 1,3 г/т) руд. Особенностью руд еланского типа является тесное пространственно-временное совмещение раннего халькопирит-пентландит-пирротинового и более позднего существенно обогащенного платиноидами кобальт-никелевого арсенид-сульфоарсенидного парагенезисов, сформировавшихся из единого рудоносного расплава.

Особенностью Хоперского мегаблока является широкое развитие в его пределах отдельных месторождений (Юбилейное) и многочисленных разномасштабных рудопроявлений цветных и благородных металлов, ассоциирующих не только с интрузивами, но и с разнообразными по составу дайково-жильными образованиями мамонского комплекса [Чернышова, 2005], инъецированных гранитоидами бобровского комплекса. Пространственно они иногда совмещены с известными месторождениями или образуют самостоятельные рудные залежи, состав которых характеризуется высокими содержаниями рудообразующих металлов и широким спектром минеральных парагенезисов.

Наиболее полно рудоносные дайково-жильные образования и метасоматиты проявились в Подколдновском рудном районе (рис. 2), который представляет собой своеобразный полигон для установления условий и механизма формирования интрузивно-дайковой никель-платиноносной PMS, ее последующей эволюции. В качестве определяющих, граничных параметров этого рудного района выступают: а) приуроченность его к Западной (Лосевско-Мамонской) зоне, сопряженной с Лосевской шовной структурой (см. рис. 1А-В); б) установленная комплексом геофизических методов глубинная модель коры и верхов мантии Подколдновского блока в целом; в) латеральная неоднородность его коры и верхней мантии с включениями магматитов с высокоскоростными параметрами и участками глубинной трещиноватости и высокой проницаемости; г) зональное проявление тектонических дорудных деформаций в коре, определяющих вероятные пути миграции рудно-силикатных расплавов и флюидов; д) достаточно высокий уровень геологической изученности разреза докембрийских образований и широкое развитие различных по масштабам, характеру дифференциации и степени рудоносности мафит-ультрамафитовых и ультрамафитовых массивов мамонского комплекса; е) высокая степень распространенности дайково-жильного комплекса пород и метасоматитов в пределах Центральной и Восточной зон рудного района с разномасштабным платиносодержащим сульфидным медно-никелевым оруденением (Юбилейное месторождение, Коммунское, Артюховское, Северо-Бычковское и другие рудопроявления; рис. 3, 4) и богатыми сульфоарсенидными никель-кобальтовыми рудами мартовского типа.

Модель очагового плавления в головных зонах локальных мантийных плюмов (рис. 5) предполагает развитие промежуточных магматических очагов в пределах континентальной коры разных уровней через систему подводящих каналов – «даек». Самые нижние из них формировались на границе охлажденной кровли плюмов, определяя появление новообразований расплавов в зоне нижней базитовой коры.

Разномасштабные (от 2-4 км<sup>2</sup> до 56 км<sup>2</sup>) расслоенные ультрамафит-мафитовые и существенно ультрамафитовые интрузивно-дайковые тела (типа Донского рудоносного, Подколдновского и Юбилейного промышленно-ру-

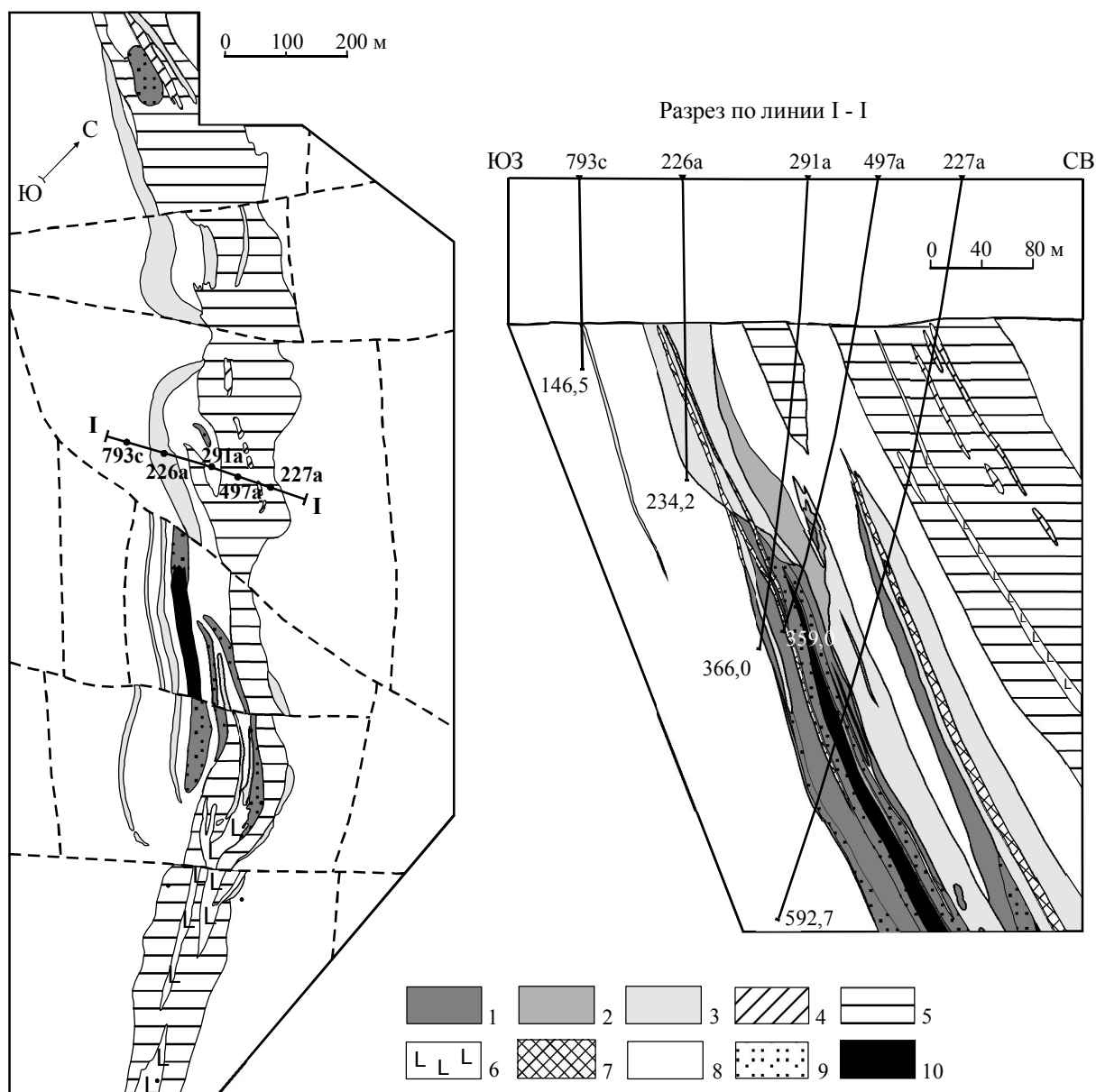


Рис. 3. Схематическая геологическая карта и разрезы Юбилейного сульфидного платино-медно-никелевого месторождения [Чернышова, 2005].

1 – роговообманково-слюдистые гарцбургиты; 2 – оливин-роговообманковые пироксениты; 3 – крупнозернистые такситовые горблендиты; 4 – габбронориты; 5 – роговообманковые габбро; 6 – диориты и габбро-диориты; 7 – гранодиориты, микроклин-плагиоклазовые граниты; 8 – гнейсы кварц-биотит-плагиоклазовые; 9 – бедная сульфидная медно-никелевая минерализация; 10 – зоны массивных богатых руд.

доносных) в раме гнейсовой толщи Западной и Центральной зон (см. рис. 2), с развитием позднеколлизийной крупноблоковой трещиноватости, образовывались из однотипных расплавов, но различаются своей кумулятивной стратификацией и незначительной пространственной разобщенностью. Механизм формирования расслоенных массивов на средних и верхних уровнях коры предполагает эшелони-

зированные многократные поступления порций остаточного расплава из промежуточных очагов нижних частей магматической системы в затвердевающих интрузивных камерах с постепенным ростом их объемов [Шарков, 2004; Щерба, 1973]. Процессы зонной плавки гранитных расплавов на верхних уровнях коры («гранит-2») при интенсивном массообмене по (по К и Na) в двухслойных камерах между

## СУЛЬФИДНЫЕ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ

горизонтами базитового и кислого расплава с самостоятельной системой конвекции перекрыли действия нижних корово-мантийных очагов.

В Восточной зоне рудного района с преобладанием мелкообломочного линейного меланжа и брекчирования гнейсов, развиты мелкие безкорневые ультрамафитовые тела (в том числе рудоносные) и разнообразный по составу пород дайково-жильный комплекс с выявленными рудопроявлениями (Мартовское, Коммунское, Северо-Бычковское).

Важно особо подчеркнуть, что приуроченность интрузивно-дайковых тел к различным зонам отчетливо прослеживается в характере и масштабах оруденения, в соотношении сингенетических и эпигенетических руд при

возрастающей роли последних в Восточной (III) зоне. К этой зоне, осложняющей купольно-сводовую структуру гнейсового блока, приурочена субмеридиональная сеть разломов с постколлизией активизацией их с проявлениями высокоинтенсивных процессов деформаций с объемным течением пород, их дроблением, диспергацией и частичным локальным переплавлением с образованием узлов псевдо-тахиллитов. Вовлечение в такие зоны наряду с породами гнейсовой рамы мелких рудоносных интрузий ультрамафитов и их дайково-жильных образований определило увеличение проницаемости всей совокупности пород, повышение химической активности, условий миграции и концентрации рудоносных растворов и

Краткое описание рудной зоны	Колонка	Шкала глубин	Мощность, м	Результаты химических анализов		
				Ni	Cu	Co
Оруденелые брекчированные биотит-плагиоклазовые породы (диориты, гнейсо-диориты) с ксенолитами и будинами оливиновых и безоливиновых пироксенитов дайково-жильной фации	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>	577	0,5	0,130	0,050	0,011
	L <sup>+</sup> H L <sup>+</sup>		0,5	<b>0,587</b>	0,057	0,042
	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>	578	0,5	0,272	0,090	0,014
	H H H		0,4	0,052	0,050	0,008
Пироксениты жильные	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>	579	0,7	<b>0,360</b>	0,237	0,028
Оруденелые брекчированные биотит-плагиоклазовые породы (диориты, гнейсо-диориты) с ксенолитами и будинами оливиновых и безоливиновых пироксенитов дайково-жильной фации	L <sup>+</sup> H L <sup>+</sup>	580	1,8	0,242	0,082	0,017
	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>	581	0,2	0,497	0,075	0,034
	H H		0,5	0,095	0,032	0,009
Жильные пироксениты с сульфидами	L <sup>+</sup> H L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>		0,5	0,260	0,117	0,020
Оруденелые брекчированные биотит-плагиоклазовые породы (диориты, гнейсо-диориты)	H H	588	0,5	<b>0,662</b>	0,237	0,050
Оруденелые брекчированные биотит-плагиоклазовые породы (диориты, гнейсо-диориты) с вкрапленностью и шширами сульфидов и графитом	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>	589	1,0	<b>0,355</b>	0,125	0,027
	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>	590	1,0	<b>0,317</b>	0,087	0,024
	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>		0,6	0,200	0,125	0,019
	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>	591	0,3	<b>0,447</b>	0,145	0,038
	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>		0,5	0,130	0,075	0,014
	L <sup>+</sup> L <sup>+</sup> L <sup>+</sup>	592	0,7	<b>0,525</b>	0,130	0,042
Оруденелые брекчированные пироксениты с сульфидными медно-никелевыми рудами	H H H	593	0,3	<b>0,485</b>	0,147	0,039
	H H H	593	0,7	<b>0,472</b>	0,205	0,037
	H H H	594	0,9	<b>0,740</b>	0,387	0,053
	H H H	595	0,8	0,080	0,052	0,009
	H H H	595	0,3	<b>0,767</b>	0,132	0,061
	H H H	596				

Рис. 4. Разрез одного из участков Коммунского рудопоявления (скв. 7161) с брекчиевидными сульфидными медно-никелевыми рудами.

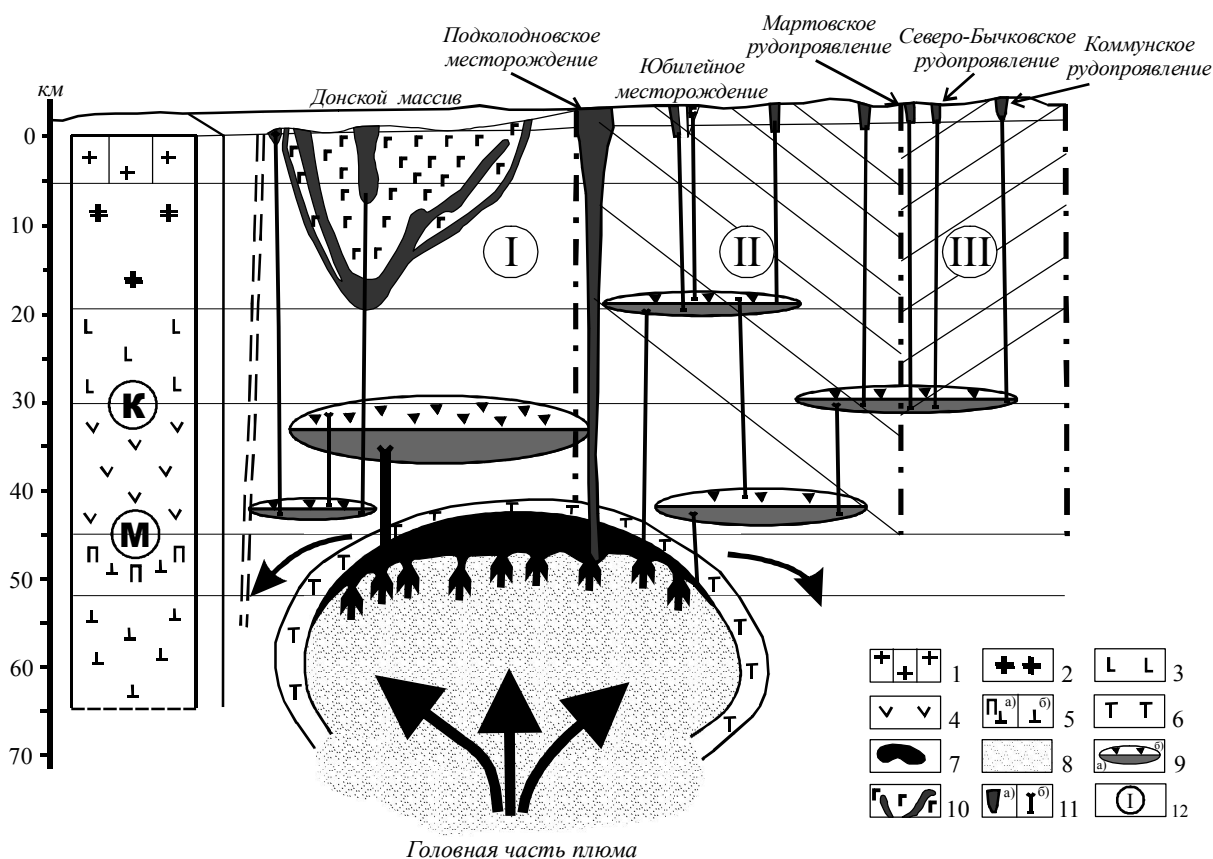


Рис. 5. Принципиальная схема трансхоровой эволюции магматической системы над локальным плюмом при формировании рудоносного (Подколodновский рудный район) мафит-ультрамафитового интрузивно-дайкивого мамонского комплекса (с элементами прогноза).

Разрез глубинной геоплотностной модели коры и верхов мантии Подколodновского блока: 1 – слой «гранит 1» (стратифицированная часть – петрографически разнородный комплекс); 2 – слой «гранит 2» – амфиболсодержащие гранитогнейсы; 3 – «диоритовый слой» (переходный): амфибол-гиперстеновые плагиогнейсы, гранулиты высокожелезистые; 4 – метабазитовый слой: габбро-амфиболиты, основные гранулиты, гиперстеновые плагиогнейсы, эндербито-гнейсы; 5 – верхи мантии по сейсмоплотностным свойствам: а) – переходная зона кора-мантия: габбро-амфиболитовые гранулиты, пироксениты, перидотиты, б) – верхнемантийные образования (бесполовошпатовый амфибол-шпинель-гранатсодержащий парагенезис); головная часть плюма: 6 – охлажденная краевая часть плюма; 7 – область мантийного магмаобразования; 8 – внутренняя часть плюма; 9 – промежуточные магматические очаги, дифференцированные от ультрамафитового (а) до мафитового (б) расплава; 10 – расслоенный мафит-ультрамафитовый Донской массив; 11 – условные магмаводы: а) из верхней зоны плюма (Подколodновское месторождение), б) из промежуточных очагов с формированием интрузий и дайковой серии в процессе механизма рассеянного спрединга; 12 – зоны позднеколлизийной структурно-тектонической трещиноватости Подколodновского рудного района с элементами прогноза: (I) – Западная зона; (II) – Центральная зона; (III) – Восточная зона.

флюидов на поздних этапах рудогенеза, что отчетливо прослеживается в составе рудовмещающих дайково-жильных образований и метасоматитов, структурно-текстурных и минеральных типах руд и содержании в них рудообразующих элементов (табл. 1).

Таким образом, приведенные данные, базирующиеся на обобщенной модели эволюции магматической системы и анализе структурно-

петрологических критериев размещения сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения, позволяют выделить три разнотипных по степени перспективности зоны в пределах Подколodновского рудного района: I – Западная зона – преимущественно крупноблокового строения рамы гнейсового блока и расслоенного Донского массива мафит-ультрамафитов является перспективной на установление суль-



Таблица 1

Типы платиносодержащих медно-никелевых и никель-кобальтовых руд в дайково-жилых образованиях мамонского комплекса и их метасоматитах

Состав рудовмещающих дайково-жилых образований и метасоматитов	Текстурные типы руд	Содержание рудообразующих элементов	Минеральные типы руд	Примеры месторождений и рудопроявлений
Комплекс дайковых пород (роговообманковые перидотиты, плагиогорнблендиты, роговообманковосе габбро, диориты, гранитоиды) многократного внедрения	Рассеянно- и густовкрапленный	Ni = 0,30-2,90 %; Cu = 0,15-2,0 % Co = 0,03-0,16 %; ЭПГ > 0,3 г/т	Халькопирит-пентландит-пирротиновый (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, валлерит, кубанит, бравоит, сульфиды Pb, Zn, Mo, арсениды, сульфоарсениды Ni, Co; самородное золото, минералы платиновой группы)	Юбилейное
	Массивные	Ni = 1,3-3,0 %; Cu до 10-12% Co = 0,13-0,20 %; ЭПГ = 0,48 г/т		
2. Дайки ортопироксенитов, габбро-диоритов, диоритов, гранитоидов	Вкрапленные, гнездово-вкрапленные	Ni = 0,37-2,84 %; Cu = 0,21-0,39 % Co = 0,03-0,16 %	Халькопирит-пентландит-пирротиновый и пентландит-пирротиновый при ограниченной роли арсенид-сульфоарсенидного никель-кобальтового (± хромшпинелиды, макинавит, ильменит, магнетит, сфалерит, молибденит и др.)	Восточно-Садовское
	Массивные	Ni = 2,38-3,4 %; Cu = 0,14-0,30 % Co = 0,11-0,21 %; ЭПГ = 0,46 г/т		
3. Дайки пироксеновых горнблендитов среди рудоносных роговообманковых перидотитов	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные	Ni = 0,60 %; Cu = 0,30 % Co = 0,02 %; ЭПГ = 0,24 г/т	Халькопирит-пентландит-пирротиновый (± магнетит, хромшпинелиды, кобальтин, герсдорфит, пирит, вюларит)	Северо-Бычковское
4. Дайки титанистогообманковых пироксенитов среди рудоносных роговообманковых перидотитов	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные	Ni = 0,20 %; Cu = 0,19 % Co = 0,04 %; Pt+Pd = 0,20 г/т	Существенно пирротиновый и пирротиновый малоникелистый (± магнетит, ильменит, хромшпинелиды, макинавит)	Рудопроявления в пределах Нижне-мамонского и Подколдновского месторождений
5. Флогопит-биотит-вермикулит-хлоритовые (±серпентин, тальк) метасоматиты зон контакта ультрамафитов с дайками гранитоидов	Массивные	Ni = 2,83 %; Cu = 10,0 % Co = 0,13 %; Au = 0,88 г/т Pt+Pd = 0,6 г/т	Пентландит-халькопирит-пирротиновый (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, молибденит, валлерит, кобальтин, никелин, сфалерит, пирит, золото самородное)	Артюховское
	Вкрапленные	Ni = 1,25 %; Cu = 0,41 % Co = 0,03 %	Халькопирит-пентландитовый и сульфоарсенид-арсенидный никель-кобальтовый (герсдорфит, кобальтинистый герсдорфит, никелистый кобальтин, кобальтин, никелин, гаухекорнит, миллерит, хизлевудит, графит и др.)	Мартовское
6. Карбонат-хлорит-амфиболовые метасоматиты и кварц-сульфидно-арсенидные жилы на контакте жильных пироксенитов, диоритов и гранитоидов	Массивные	Ni = 14,5 %; Cu = 0,44 % Co = 2,2 %; Au = 0,5 г/т ЭПГ = 1,7 г/т	Халькопирит-пентландит-пирротиновый с ограниченной ролью арсенид-сульфоарсенидного никель-кобальтового (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, пирит, молибденит, галенит, кубанит, арсенопирит и др.)	Коммуное
	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные, редко массивные	Ni = 0,30-0,80 %; Cu = 0,20-0,67 % Co до 0,06 %		

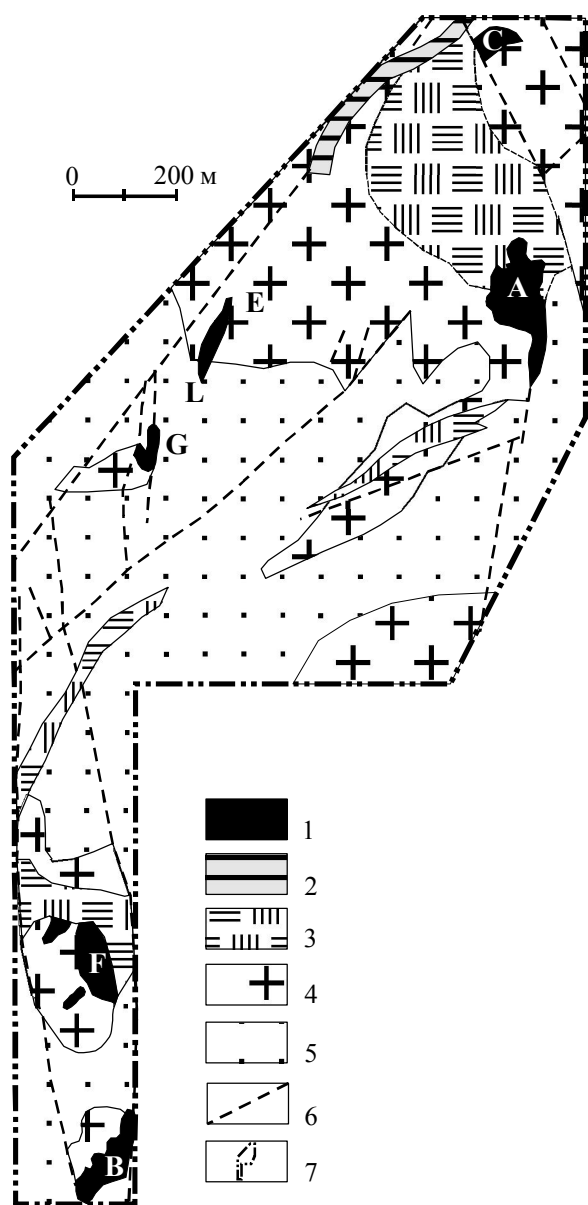


Рис. 6. Месторождение Линн-Лейк [Кучочкин, 1970; Щерба, 1973]. Геологический план района шахты А (горизонт 328 м).

1 – рудные тела; 2 – полевошпатовые порфиры; 3 – кварцево-роговообманковые диориты; 4 – диориты; 5 – амфиболиты; 6 – зоны нарушения или дробления; 7 – граница участка расчета площадного коэффициента рудоносности по месторождению Линн-Лейк.

ультрамафитовым породам (Мартовское рудопроявление) в ассоциации с породами среднего состава – диоритами, биотит-плагиоклазовыми жилами, в том числе сульфидизированными (Коммунское рудопроявление). Особое значение эта зона представляет на обнаружение объектов сульфидных платиносодержащих никель-кобальтовых руд мартовского типа. В совокупности выделенные перспективные зоны позволяют значительно (в 2-3 раза) увеличить ресурсы этого рудного района.

Высокая степень перспективности в известной мере подтверждается также наличием мировых аналогов некоторых типов платиноидно-медно-никелевых руд, развитых в рудном районе. В частности, вероятным аналогом коммунского, мартовского, артюховского типов рудопроявлений может рассматриваться известное месторождение Линн-Лейк (Канада), которое расположено в 1600 км на север от Садбери и представлено шестью рудными телами, приуроченными к двум штокам диоритов, габбро и амфиболитов (горнблендитов). На месторождении выделяются: массивные, вкрапленные, прожилковые и брекчиевидные типы руд. Представлены они ассоциацией пирит – халькопирит – пентландит – пирротин.

Вмещающими породами пояса Линн-Лейк являются метаморфические образования гнейсового ряда (AR-PR ?) провинции Черчилл [Щерба, 1973]. В их составе преобладают парагнейсы, мигматиты, гнейсодиориты. Брекчиевые руды месторождения Линн-Лейк представлены обломками даек пироксенитов (амфиболитов), метаперидотитов, реже вмещающих гранито-гнейсов, парагнейсов, мигматитов и редко жильного кварца, сцементированных сульфидами.

В северном рудоносном штоке зафиксировано шесть небольших рудных тел: А, В, С, Е, F, G (рис. 6). Параметры оруденения месторождения Линн-Лейк, принятого в качестве

фидных платиносодержащих медно-никелевых донных рудных залежей в ультрамафитах; II – Центральная зона – крупно-среднеблокового строения с развитием линейных северо-западного простирания разломно-блоковых структур (Юбилейного типа) и узлов интенсивного катаклаза и трещиноватости (Подколдновского типа), перспективная на установление в мелких массивах ультрамафитов и породах дайковой серии месторождений сингенетических и эпигенетических платиносодержащих медно-никелевых руд; III – Восточная зона повышенной трещиноватости, катаклаза гнейсов с будинированными безкорневыми малыми и дайковыми телами гипербазитов (Бычковское, Артюховское, Северобычковское рудопроявления), с дайково-жильным комплексом и метасоматитами по

СУЛЬФИДНЫЕ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ

Таблица 2

Расчет параметров площадной продуктивности (на 1 км<sup>2</sup>) запасов [Кусочкин, 1970] эпигенетических медно-никель-кобальтовых руд эталонного месторождения Линн-Лейк (провинция Манитоба, Канада)

Рудное поле эталонного месторождения Линн-Лейк											
Рудные тела месторождения Линн-Лейк	Запасы руды (млн. т)	Среднее содержание металлов (в %)			Запасы металлов (тыс. т)			Площадь рудного поля эталонного месторождения (км <sup>2</sup> )	Площадная продуктивность запасов металлов на 1 км <sup>2</sup> площади эталонного месторождения (тыс. т)		
		Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co		Ni	Cu	Co
A	5,000	1,22	0,64	–	61,0	32,0	-	1,3	47,0	24,6	–
B	4,275	0,74	0,50	–	31,6	21,4	-		24,3	16,5	–
C	0,760	0,77	0,50	–	5,8	3,8	-		4,5	2,9	–
E	1,600	0,79	0,43	–	12,6	6,9	-		9,7	5,3	–
F											
G											
EL* (до гл. 300 м)	2,500	2,50	0,93	0,20	62,5	23,3	5,0		48,0	17,9	3,8
Итого:	14,100				173,5	87,4	5,0	133,5	67,2	3,8	

Примечание. \* на участке EL выделяется 2 типа руд: 1) сплошные руды (около 18 %) с содержанием Ni – 4,5 %; Cu – 1,5 %; Co – 0,2 %; 2) вкрапленные руды в амфиболитах и диоритах с содержанием Ni – 0,75 %; Cu – 0,4 %.

Таблица 3

Подсчет потенциально перспективных ресурсов эпигенетических сульфидных медно-никель-кобальтовых руд в дайково-жильном комплексе пород мамонского комплекса в Восточной зоне (III) Коммунско-Артюховского участка Подколодновского рудного района с использованием параметров площадной продуктивности эталонного месторождения Линн-Лейк

Подколодновский рудный район (зона III – Коммунско-Артюховский участок)				
Площадь потенциально рудоносной зоны III (км <sup>2</sup> )		Суммарные потенциально перспективные ресурсы металлов зоны III Подколодновского рудного района (тыс. т)		
		Ni	Cu	Co
Общая площадь	26,5	3538	1781	100
		<i>с понижающим коэффициентом k=0,6 на низкую изученность и неравномерность распространения вкрапленных и богатых руд</i>		
		2123	1068	60
По категории P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub>	13,0	1041	524	30
По категории P <sub>3</sub>	13,5	1082	544	30

Примечание. В отдельных маломощных (0,1-0,4 м) жилах Подколодновского рудного района содержание Ni достигает 1,1 %, Cu – 0,5 %, Co – 0,093%; на Мартовском рудопроявлении содержание Ni возрастает до 14,5 %, Co до 2,2 %.

эталонного объекта для подсчета прогнозных ресурсов (по категории P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub> +P<sub>3</sub>) эпигенетических сульфидных медно-никелевых руд Коммунско-Артюховского участка (зона III) Подколодновского рудного района, приведены в табл. 2, 3.

Выполненный расчет свидетельствует о выявлении лишь в пределах Восточной зоны

Подколодновского рудного района суммарных ресурсов (P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>+P<sub>3</sub>) Ni – 2123 тыс. т; Cu – 1068 тыс. т; Co – 60 тыс. т.

Предложенная модель эволюции интрузивно-дайковой РМС мамонского типа, в которой дайковые образования являются не только структурно-вещественными, но и рудонесущими компонентами, выступают как поисково-

оценочные критерии и могут служить методологической основой для прогнозно-металлогенических построений с целью наращивания потенциальных ресурсов платиноидно-медно-никелевых руд.

### Список литературы

- Кусочкин В.И.* Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных месторождений полезных ископаемых. Никель. М.: ВИЭМС, 1970. С. 3-50.
- Чернышов Н.М.* Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. 448 с.
- Чернышов Н.М.* Промышленно-генетические типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений новой никеленосной провинции России и проблема их освоения // Вестник Воронежского гос. университета. Естеств. науки. 1993. Сер. 2. Вып. 1. С. 188-215.
- 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. 1998а. Т. 39. № 8. С. 1064-1071.
- Чернышов Н.М., Баянова Т.Б., Чернышова М.Н., Левкович Н.В.* Уран-свинцовый возраст норит-диоритовых интрузий Еланского никеленосного комплекса Воронежского кристаллического массива // Докл. РАН. 1998б. Т. 359, № 1. С. 98-101.
- Чернышов Н.М., Ненахов В.М., Лебедев И.П., Стрик Ю.Н.* Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии // Геотектоника. 1997. № 3. С. 21-30.
- Чернышова М.Н.* Дайки мамонского никеленосного комплекса и их соотношение с оруденением. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1999. 121 с.
- Чернышова М.Н.* Дайки никеленосных комплексов Воронежского кристаллического массива (формационно-генетические типы и пространственно-временные соотношения // Вестник Воронежского гос. университета. Сер. геол. 1996. № 1. С. 50-60.
- Чернышова М.Н.* Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений еланского типа и их соотношение с оруденением (Воронежский кристаллический массив). Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. 184 с.
- Чернышова М.Н.* Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия). Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. 368 с.
- Шарков Е.В.* Строение магматических систем крупных изверженных провинций континентов по геолого-петрологическим данным // Вестник Воронежского гос. университета. Сер. геол. 2004. № 2. С. 7-22.
- Щерба Г.Н.* Никелевые пояса Томсон и Линн Лейк // Геология рудных месторождений. 1973. № 2. С. 42-55.

*Рецензент член-корр. РАН К.К. Золоев*