

КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКА СУЛЬФИДНОГО ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ЭВОЛЮЦИИ ИНТРУЗИВНО-ДАЙКОВОЙ СИСТЕМЫ МАМОНСКОГО ТИПА (НА ПРИМЕРЕ ПОДКОЛОДНОВСКОГО РУДНОГО РАЙОНА ВКМ)

М. Н. Чернышова, С. П. Молотков

Воронежский государственный университет

На основе комплекса структурно-петрологических, геолого-геофизических и других данных разработаны критерии прогноза и оценки ресурсов сульфидного платиносодержащего медно-никелевого оруденения в интрузивно-дайкивой рудномагматической системе мамонского комплекса Воронежской никеленосной провинции. В качестве основного, определяющего фактора использована модель эволюции длительно развивающейся интрузивно-дайкивой рудномагматической системы Подколodновского рудного района. Выявлены значительные черты аналогии этого рудного района с известным месторождением Линн-Лейк (Канада). На основе эталона последнего выполнен подсчет ресурсов сульфидных медно-никелевых руд восточной зоны Подколodновского рудного района.

1. ТИПЫ И ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ НИКЕЛЬ-ПЛАТИНОНОСНЫХ ИНТРУЗИВНО-ДАЙКОВЫХ ТЕЛ МАМОНСКОГО КОМПЛЕКСА

При значительном многообразии в пределах ВКМ проявлений ультрамафит-мафитового магматизма наиболее важные в промышленном отношении сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения связаны с раннепротерозойским циклом развития. Этот цикл характеризуется наибольшим разнообразием геодинамических обстановок — внутриконтинентальный рифтогенез и реактивизация позднеархейских рифтов, тыловой рассеянный спрединг, возникшие в результате сложного механизма субдукционных процессов в зоне взаимодействия континентов (более «легкого» КМА и Хоперского с «тяжелой» литосферой [10]) и обусловивших высокую степень эндогенной активности, разноуровневый характер очагов магмагенерации, существенное возрастание роли ассимиляции мантийными расплавами корового материала. Предполагается, что на субдукционном этапе развития Лосевской зоны с миграцией восходящих мантийных потоков в сторону Хоперского мегаблока и заглублением очагов магмагенерации связано широкое развитие в его пределах в разной мере дифференцированных ультрамафит-мафитовых интрузий и даек ма-

монского комплекса (2100—2080±10 млн лет [12]), внедрившихся по рассредоточенным зонам растяжения в результате механизма рассеянного спрединга [10], а также более поздних по времени формирования норит-диоритовых тел еланского комплекса (2065—2050±14 млн лет [13]) в зонах реактивизации позднеархейских рифтогенных структур. С последовавшим за ним коллизийным 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-дайкивых тел мамонского комплекса. В его составе выделяется несколько групп интрузивно-дайкивых 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 [3, 4, 6, 8, 9, 14, 15, 17]: 1) ранние ультрамафитовые высоко- и умеренномагнезиальные в разной мере дифференцированные, бесполевошпатовые промышленно рудоносные (мамонский тип); 2) ультрамафит-мафитовые

умеренно магнезиальные камернодифференцированные (расслоенные) с амфибол (титанистая роговая обманка) — плагиоклазсодержащими 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 габброноритовые, габбровые и габбродiorитовые интрузивы (каменский тип), завершающие становление всей рудоносной дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой формации.

Исключительно высокая степень насыщения ультрамафит-мафитовыми и мафитовыми интрузивно-дайковыми породными ассоциациями является, вероятно, следствием существования в пределах крупного (375×475 км²) Хоперского мегаблока магматических систем, развивающихся над головными частями мантийного суперплюма с возникновением над поднимающейся его поверхности 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 (СЗ 340—350°) зон их рассеянного спрединга [7]: 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 различным по количественному соотношению ультраосновных и мафитовых составляющих интрузивно-дайковых систем.

Отдельные звенья такой системы представляют собой, по существу, конвективные ячейки (магматические центры) в пределах автономных структур зон рассеянного спрединга, встроенные в строгий ряд, в котором максимальное количество ультрамафит-мафитовых тел размещаются над восходящими потоками.

Важно особо подчеркнуть, что комагматичность всего спектра пород интрузивно-дайковой системы распространяется, по существу, лишь на автономно функционирующую конвективную ячейку, а их совокупность в пределах осевых структур (зон) рассеянного спрединга определяют в целом их петрологический и рудно-геохимический облик [7, 14].

Выявленные закономерности пространственного размещения различных петролого-геохимических типов интрузивов и связанных с ними руд выступают в качестве основы для металлогенических построений и прогнозной оценки никель-платиноносности ВКМ. Длительный многоэтапный процесс рудообразования, начавшийся с формирования собственно магматических медно-никелевых руд в ультрамафитах мамонского комплекса и завершившихся образованием богатых никель-кобальтовых руд в норит-диоритовых телах, в которых помимо пентландит-пирротинового (±халькопирит) парагенезиса широко проявлена кобальт-никелевая арсенид-сульфоарсенидная минеральная ассоциация, предопределяет возможность обнаружения новых значительных концентраций руд. Многообразие типов руд, в локализации которых наряду с петрологическими факторами значительная роль принадлежит структурным элементам, нередко их пространственное сонахождение в пределах различных зон рассеянного спрединга и реактивизации древних структур не только расширяет общие перспективы никель-платиноносности ВКМ, но и требует иного методологического подхода к их прогнозированию и поискам.

2. КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ СУЛЬФИДНОГО ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ЭВОЛЮЦИИ ИНТРУЗИВНО-ДАЙКОВОЙ СИСТЕМЫ МАМОНСКОГО ТИПА (НА ПРИМЕРЕ ПОДКОЛОДНОВСКОГО РУДНОГО РАЙОНА)

В основе принципов моделирования наряду с данными региональных геологических исследований Хоперского мегаблока ВКМ использованы результаты разнородных геофизических данных типизации крупных, а так же локальных минералогических зон и участков для определения глубинных критериев прогноза платиноидно-медно-никелевых месторождений.

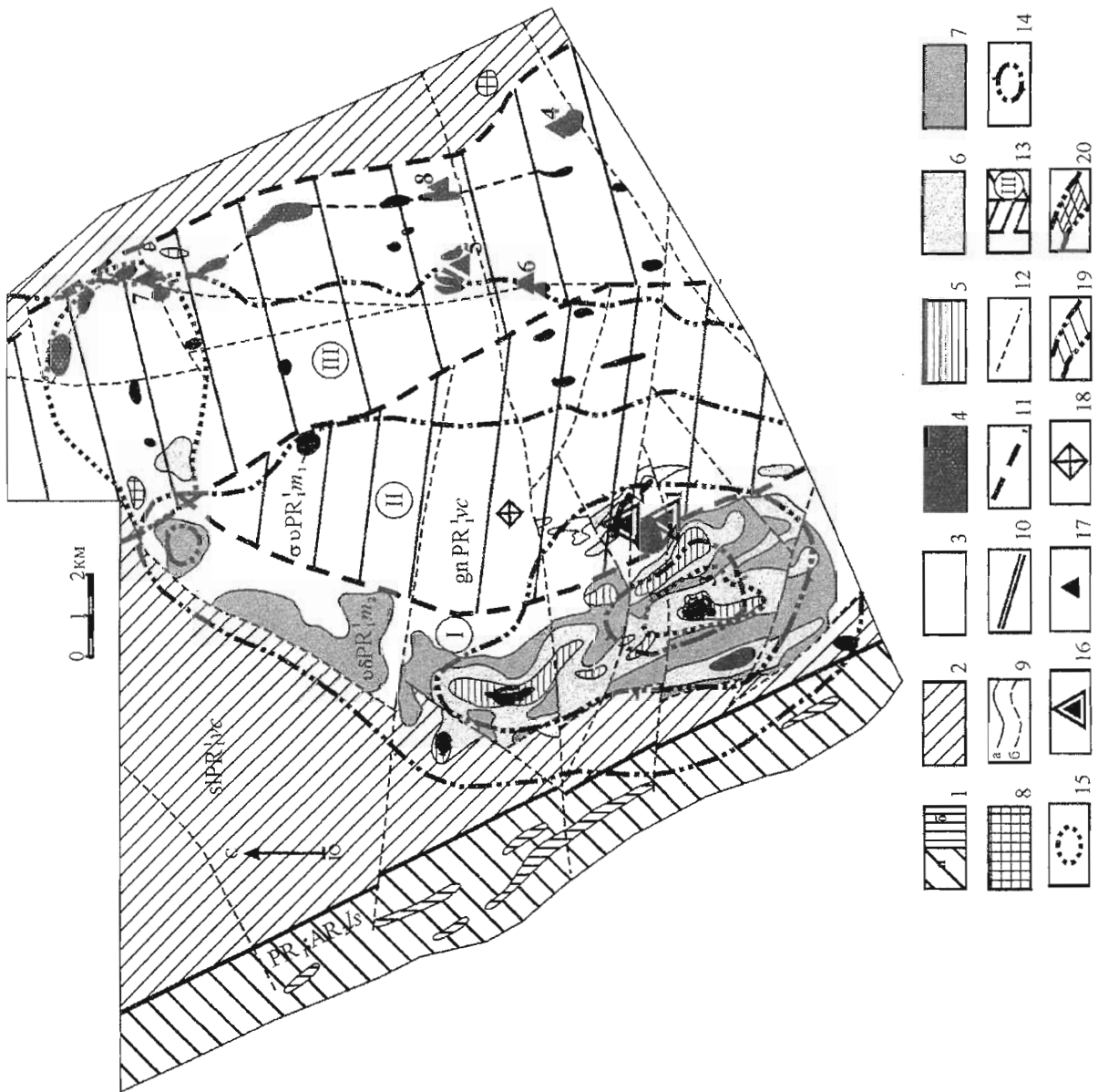
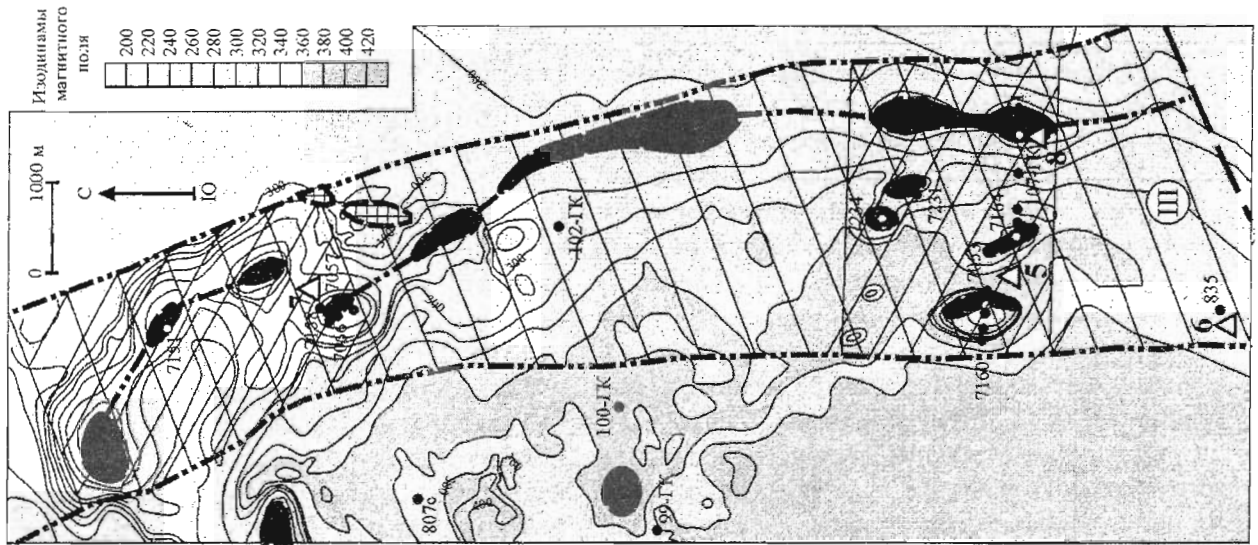
В качестве опорного модельного объекта для выявления глубинных критериев прогнозирования на основе установления условий и механизма формирования интрузивно-дайкивой никель-платиноносной рудномагматической системы, ее последующей эволюции выбран Подколдновский район с одноименным месторождением и многочисленными и разномасштабными рудопроявлениями, ассоциирующими, нередко, с дайковыми телами. Этот выбор определялся следующими критериями: 1 — приуроченностью рудного района к западной (Лосевско-Мамонской) зоне, сопряженной с Лосевской шовной структурой (рис. 1), разделяющей различные геоблоки ВКМ; 2 — наличием установленных комплексом геофизических методов количественных параметров глубинной модели коры и верхов мантии Подколдновского блока (табл. 1); 3 — латеральной неоднородностью этой зоны в коре и верхней мантии с включениями магматитов с высокоскоростными параметрами (слои аномальной электрической проводимости, зоны разуплотнения и разогрева), связанные с участками глубинной трещиноватости и высокой проницаемости; 4 — зональностью и эволюцией фронта тектонических дорудных деформаций в коре, определяющих вероятные пути миграции рудно-силикатных расплавов и флюидов (этот критерий использован при оценке потенциальной рудоносности Подколдновского рудного района; см. рис. 1);

5 — сравнительно небольшой мощностью платформенного чехла (от 60—100 м на западе до 170 м на востоке), полнотой проведенных детальных геофизических исследований, достаточно высоким уровнем геологической изученности разреза докембрийских образований профилями скважин картировочного (до 150—200 м) и поисково-разведочного бурения (до 500—600 м) на месторождениях и рудопроявлениях; 6 — широким развитием различных по масштабам, характеру дифференциации и степени рудоносности мафит-ультрамафитовых и ультрамафитовых массивов мамонского комплекса (включая его дайково-жильные образования) в единой раме гнейсового блока воронцовской серии нижнего протерозоя; 7 — необходимостью выявления природы крупной по размеру и интенсивности аномалии низких электросопротивлений (до 5—500 мВ) в центральной зоне расслоенного мафит-ультрамафитового Донского массива, где мелким картировочным бурением (единичной скважиной № 214а) установлено одноименное (см. рис. 1) рудопроявление (вкрапленного типа в плагиоперидотитах) с содержанием (вес. %): никеля — 0,35; меди — 0,4; кобальта — 0,01 (рудопроявление приурочено к пространственно совпадающим центрам гравитационного поля массива и аномалий низких электросопротивлений); 8 — широким распространением дайково-жильного комплекса пород и метасоматитов в пределах Централь-

Таблица 1

Параметры глубинной модели земной и верхов мантии (Подколдновский блок) по данным Н. С. Афанасьева и И. И. Кривцова

Слой	Средние значения V_p в слоях земной коры, км/сек	Плотность слоев земной коры, г/см ³	Глубины/мощности слоев земной коры, км
Осадочный		2,36	0,26
Гранитный 1	6,25	2,735	<u>7,0</u> 6,7
Гранитный 2		2,725	<u>18,0</u> 11,0
Диоритовый	6,56	2,850	<u>30,0</u> 12,0
Метабазитовый	7,40	2,960	<u>43,5</u> 13,5
Переходный	7,40	3,17	<u>50,0</u> 6,5
Верх. мантийный	8,20	3,26	<u>55,0</u> 5,0
Плотность коры		2,832	
Плотность до 55 км		2,911	
Комплекс: параметр коры			3,84



ной и Восточной зон рудного района с разно-масштабным платиносодержащим сульфидным медно-никелевым оруденением (типа Юбилейного месторождения, Коммунского и др. рудопроявлений) и богатыми сульфоарсенидными никель-кобальтовыми рудами мартовского типа (см. рис. 1).

Модель очагового плавления в головных зонах локальных мантийных плюмов (рис. 2) 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 до 56 км²) расслоенные ультрамафит-мафитовые и существенно ультрамафитовые интрузивно-дайки тела (типа Донского рудоносного, Подколдновского и Юбилейного промышленно-рудоносных)

в раме гнейсовой толщи Западной и Центральной зон (см. рис. 1) с развитием позднеколлизийной крупноблоковой трещиноватостью образовывались из однотипных расплавов, но различающихся своей кумулятивной стратификацией и незначительной пространственной разобщенностью. Механизм формирования расслоенных массивов на средних и верхних уровнях коры предполагает эшелонизированные многократные поступления порций остаточного расплава из промежуточных очагов нижних частей магматической системы в затвердевающих интрузивных камерах с постепенным ростом их объемов [18, 20]. Процессы зонной плавки гранитных расплавов на верхних уровнях коры («гранит-2») при интенсивном массообмене по (по К и Na) в двухслойных камерах между горизонтами базитового и кислого расплава с самостоятельной системой конвекции перекрыли действия нижних корово-мантийных очагов.

Рис. 1. Схематическая геологическая карта (с элементами прогноза) Подколдновского рудного р-на: лосевская серия нерасчлененная — $PR_1:AR_1$ ls 1 — мигматиты по метабазитам и вулканогенным породам среднего и основного состава (а), реликтовые тела ортоамфиболитов (б); воронцовская серия нерасчлененная — PR_1^{1vc} 2 — песчанико-сланцевые образования: ритмично слоистые метапесчаники, метаалевролиты, 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-дайкавый комплекс, ультрамафиты ($suPR_1^1m_1$): 4 — дуниты, оливиниты, перидотиты, в различной степени серпентинизированные, плагиоперидотиты, оливиновые пироксениты, пироксениты; мафиты ($vdPR_1^1m_2$); 5 — габбро-нориты меланократовые, амфиболитизированные; 6 — габбро мезократовые, амфиболитизированные; 7 — габбро-нориты лейкократовые, кварцсодержащие габбро, габбродиориты; породы среднего состава; 8 — диориты биотит-роговообманковые, роговообманковые, кварцевые диориты и биотит-плагиоклазовые породы жильно-дайкавой 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 Подколдновского рудного района с элементами прогноза: I — Западная зона — преимущественно крупноблокового строения рамы гнейсового блока и расслоенного Донского массива мафит-ультрамафитов; II — Центральная зона — крупно-среднеблокового строения с развитием линейных северо-западного простирания разломно-блоковых структур (Юбилейного типа) и узлов интенсивного катаклаза и трещиноватости «центрального» (Подколдновского) типа; III — Восточная зона повышенной трещиноватости, катаклаза гнейсов с будинированными безкорневыми малыми телами гипербазитов (Бычковское, Артюховское, Северобычковское рудопроявления) с дайково-жильным комплексом и метасоматитами по ультрамафитовым породам (Мартовское рудопроявление) и породам среднего состава — диориты, биотит-плагиоклазовые жилы, в том числе сульфидизированных — Коммунское рудопроявление); дайки гранитов бобровского комплекса, узлы линейного меланжа, будинажа с развитием узлов сетчатых псевдотахиллитов; 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 — Подколдновское, 2 — Юбилейное; 17 — сульфидные платиноидно-медно-никелевые рудопроявления: 3 — Донское, 4 — Бычковское, 5 — Северо-Бычковское, 6 — Мартовское, 7 — Артюховское, 8 — Коммунское; 18 — Сухоярское месторождение графита; 19—20 — на врезке: граница Коммунско-Артюховского участка подсчета прогнозных ресурсов металлов эпигенетических брекчиевых платиноидно-медно-никелевых руд коммунского типа в III зоне по категории P_3 (19), по категории P_1+P_2 (20)

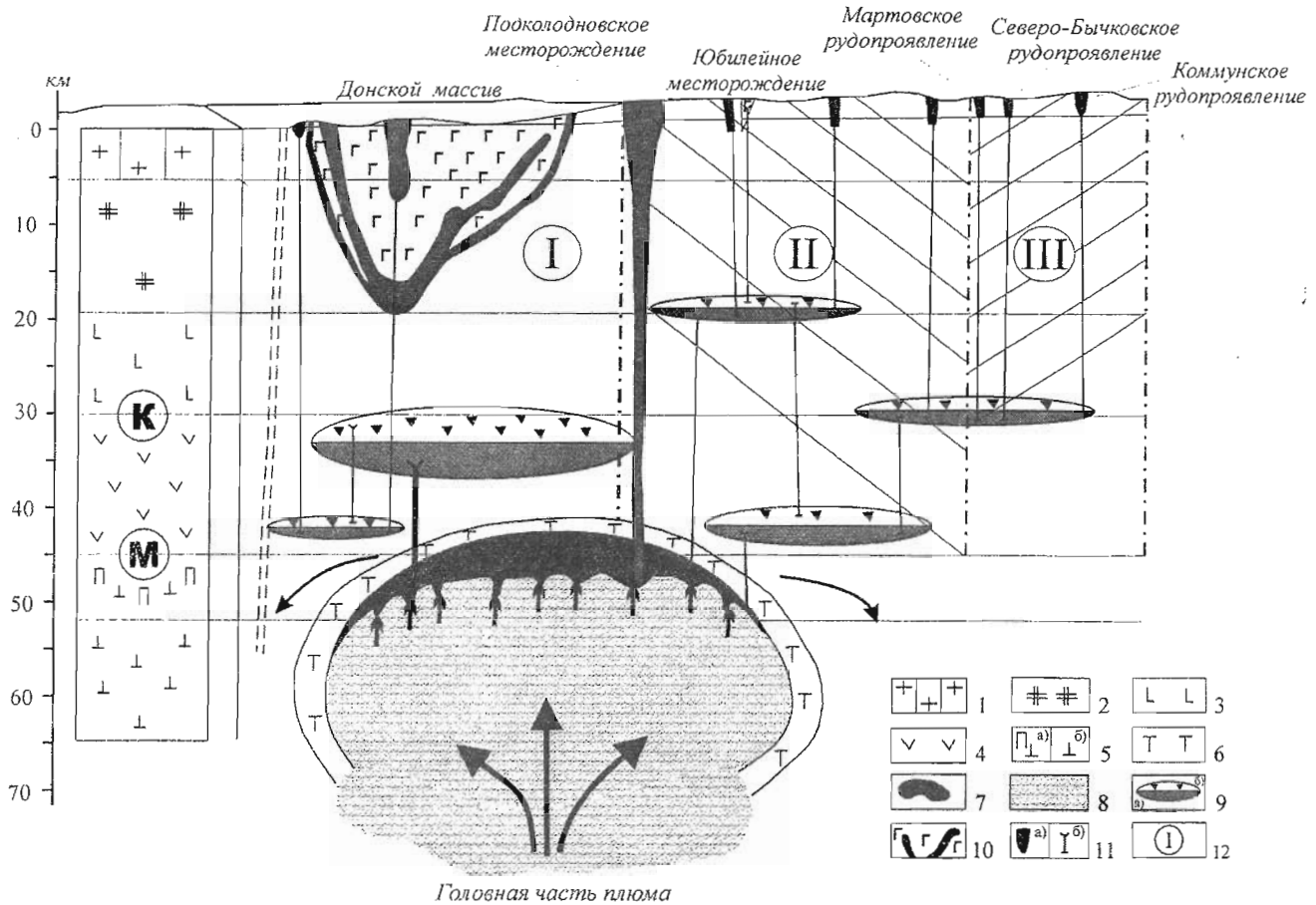


Рис. 2. Принципиальная схема трансформации эволюции магматической системы над локальным плюмом при формировании рудоносного (Подколонновский рудный район) мафит-ультрамафитового интрузивно-дайкивого мамонского комплекса (с элементами прогноза): разрез глубинной геоплотностной модели коры и верхов мантии Подколонновского 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 сейсмopлотностным 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 (Подколонновское месторождение), б) из промежуточных очагов с формированием интрузий и дайковой серии в процессе механизма рассеянного спрединга; 12 — зоны позднеколлизийной структурно-тектонической трещиноватости Подколонновского рудного района с элементами прогноза: (I) — Западная зона, преимущественно крупноблокового строения рамы гнейсового блока и расслоенного Донского массива мафит-ультрамафитов; (II) — Центральная зона крупно-среднеблокового строения с развитием линейных северо-западного простирания разломно-блоковых структур (Юбилейного типа) и узлов интенсивного катаклаза и трещиноватости "центрального" (Подколонновского) типа; (III) — Восточная зона повышенной трещиноватости, катаклаза гнейсов с будинированными безкорневыми малыми телами гипербазитов (Бычковское, Артюховское, Северобычковское рудопроявления с дайково-жильным комплексом метасоматитов по мафит-ультрамафитовым породам среднего состава — диоритов, биотит-плагиоклазовых жил, в том числе сульфидизированных (Коммунарское рудопроявление); дайки гранитов бобровского комплекса, узлы линейного меланжа, будинажа с развитием узлов сетчатых псевдотахиллитов

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 и метасоматитов 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.

В 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 псевдотахиллитов.

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 флюидов на поздних этапах рудогенеза.

Юбилейное месторождение, находящееся в 800 м восточнее Подколодновского (см. рис. 1), приурочено к серии дайкообразных тел ультрамафитового и мафитового состава, инъецированных дайками диоритов и гранитоидов (рис. 3). Прерывистая по мощности (от 3—5 до 60—85 м) основная рудная залежь, ассоциирующая с роговообманковыми перидотитами, сложена сингенетическими вкрапленными ($Ni = 0,303\text{—}2,90\%$; $Cu = 0,15\text{—}2,0\%$; $Co = 0,03\text{—}0,16\%$) и более богатыми эпигенетическими массивными ($Ni = 1,3\text{—}3,0\%$, Cu до $10,12\%$, $Co = 0,13\text{—}0,20\%$) рудами [5, 14, 16, 17].

Наличие в дайках пироксенитов Юбилейного месторождения ксенолитов рудных перидотитов (рис. 4) свидетельствует о временном разрыве их внедрения из промежуточного очага с одной стороны, и возможности более широкого установления эпигенетических руд в группе дайковых пород по всем зонам рудного района — с другой.

Особенностью **Артюховского рудопроявления** (рис. 5) является ассоциация со слюдисто-роговообманковыми гарцбургитами и роговообманковыми оливковыми пироксенитами ряда разномасштабных по мощности (от 1,5—2 м до 10—17,5 м) пласто-жилообразных залежей сингенетических руд ($Ni = 0,3\text{—}0,6\%$, $Cu = 0,22\text{—}0,46\%$, $Co = 0,05\%$) с многочисленными жилами (0,1—0,5 м) богатых эпигенетических руд ($Ni = 2,83\%$, $Cu = 10,1\%$, $Co = 0,13\%$, $Pt+Pd$ до $0,06$ г/т и Au до $0,88$ г/т) в метасоматитах по ультрамафитам в контактах последних с многочисленными дайками диоритов, гранодиоритов и гранитоидов и в зонах их брекчий с ксенолитами сульфидизированных ультрамафитов [14, 16].

Для **Коммунского рудопроявления** характерна [16] отчетливая приуроченность многочисленных разномасштабных по мощности (от 0,2 до 3 м) рудных тел с прожилково-вкрапленным и в большей мере брекчированным типом сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд ($Ni = 0,36\text{—}0,80\%$, $Cu = 0,2\text{—}0,67\%$, $Co = 0,06\%$) к зоне катаклаза, меланжа и брекчирования серии даек рудных ультрамафитов, кварцевых диоритов и биотит-плаггиоклазовых пород с ксенолитами рудных ультрамафитов (рис. 6, 7, табл. 2).

В пределах **Северо-Бычковского рудопроявления** среди рудоносных роговообманковых гарцбургитов и пироксенитов с повышенным содержанием $Ni = 1,48\%$, $Cu = 0,21\%$, $Co = 0,07\%$ были установлены небольшие по мощности (до 1,2 м) тела жильных пироксеновых горнблендитов с вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией ($Ni = 0,57\%$, $Cu = 0,30\%$, $Co = 0,062\%$ и ЭПГ до $0,123$ г/т), а также псевдотахиллиты (см. рис. 8, 9). Следует отметить наличие в Подколодновском рудном районе сетчатых псевдотахиллитов (Северо-Бычковское и Мартовское рудопроявления), аналогичных объемным брекчиям Талнахского массива. Процесс быстрого расплавления кристаллического материала по сети объемных взрывных трещин рассматривается как следствие тектоническессонного эффекта [1], т.е. с проявлением концентрированного выделения значительной энергии, тепловые эффекты которого были достаточны для расплавления значительных масс горных пород.

Мартовское кобальт-никелевое рудопроявление находится в 9 км северо-восточнее Подко-

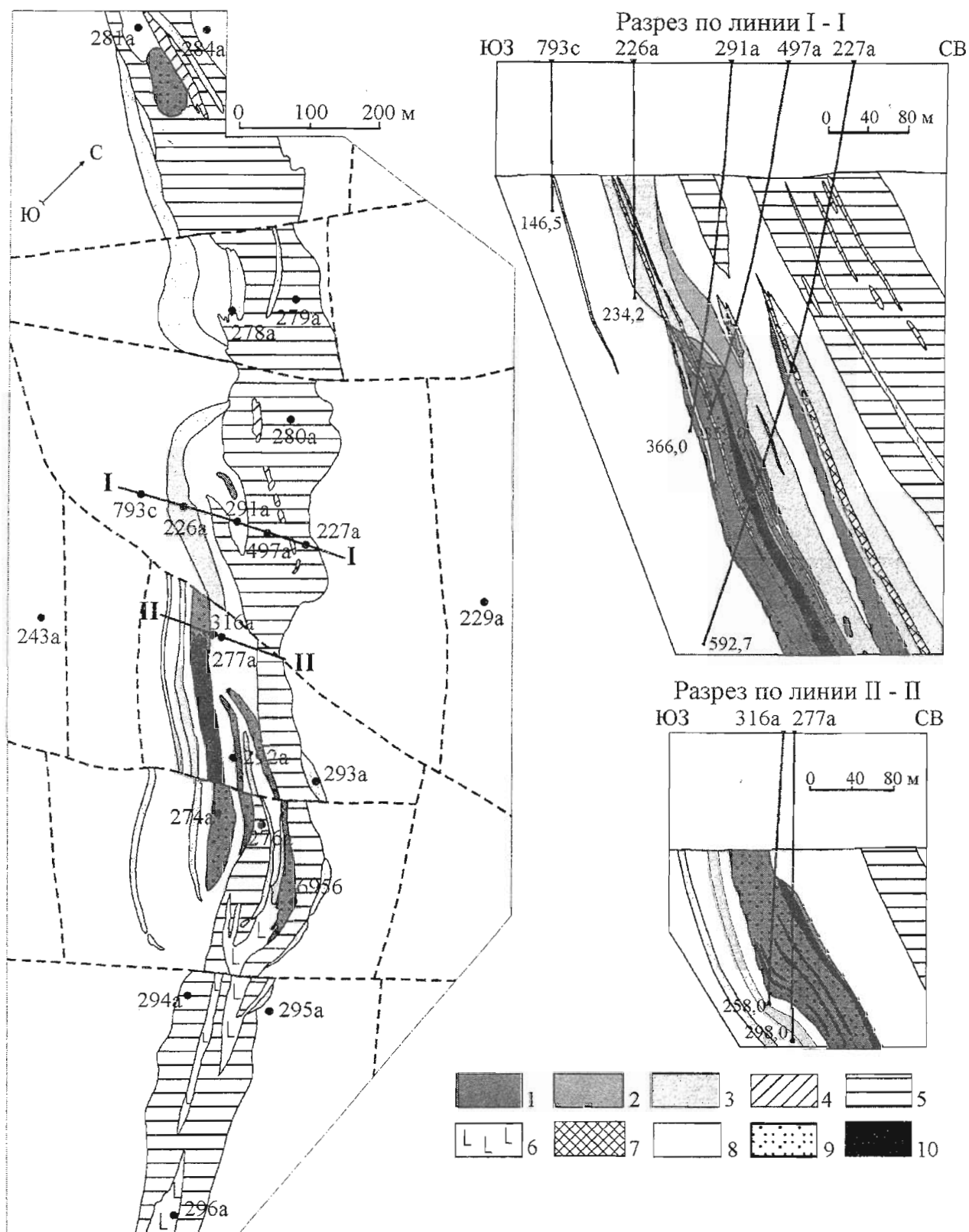


Рис. 3. Схематическая геологическая карта и разрезы Юбилейного сульфидного платиноидно-медно-никелевого месторождения: 1 — роговообманково-сланцевые гарцбургиты; 2 — оливин-роговообманковые пироксениты; 3 — крупнозернистые такситовые горблендиты; 4 — габбронориты; 5 — роговообманковые (безпироксеновые) габбро; 6 — роговообманковые диориты и габбродиориты; 7 — гранодиориты, микроклин-плагиоклазовые граниты; 8 — гнейсы кварц-биотит-плагиоклазовые; 9 — бедная сульфидная медно-никелевая минерализация; 10 — зоны массивных богатых руд

лодновского месторождения и располагается среди гнейсов воронцовской серии в зоне контакта жильных пироксенитов мамонского типа и гранитоидов бобровского комплекса. Вмещающими кобальт-никелевое оруденение (скв. 835) являются карбонат-хлорит-амфиболовые метасоматические породы с различной по густоте (от 3—5 до 30 %) вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией (Ni = 1,25 мас. %, Cu = 0,41 мас. %, Co = 0,032 мас. % на мощность 8,3 м) и рядом небольших по мощности (первые сантиметры) кварц-сульфидно-арсенидных жил с высокими концентрациями Ni (14,5 мас. %) и Co (2,2 мас. %).

В скважине № 0148, пробуренной по проектированию рудной зоны (ранее вскрытой скв. 835),

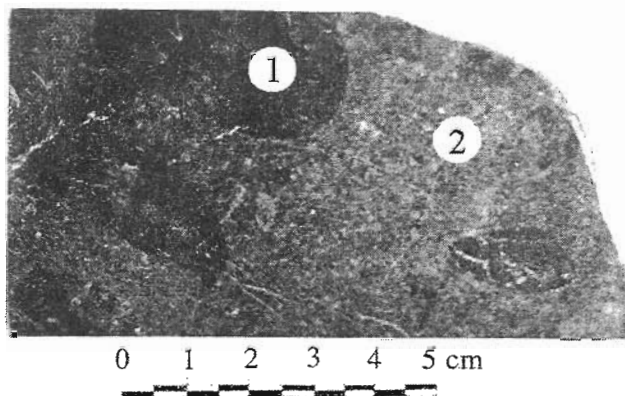


Рис. 4. Изометрично-овальные (от 1,5×2 до 3×4 см) ксенолиты роговообманкового гарцбургита (1) в оливинном пироксените (2) Юбилейного месторождения (скв. 291а, гл. 356,2 м)

Таблица 2

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

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

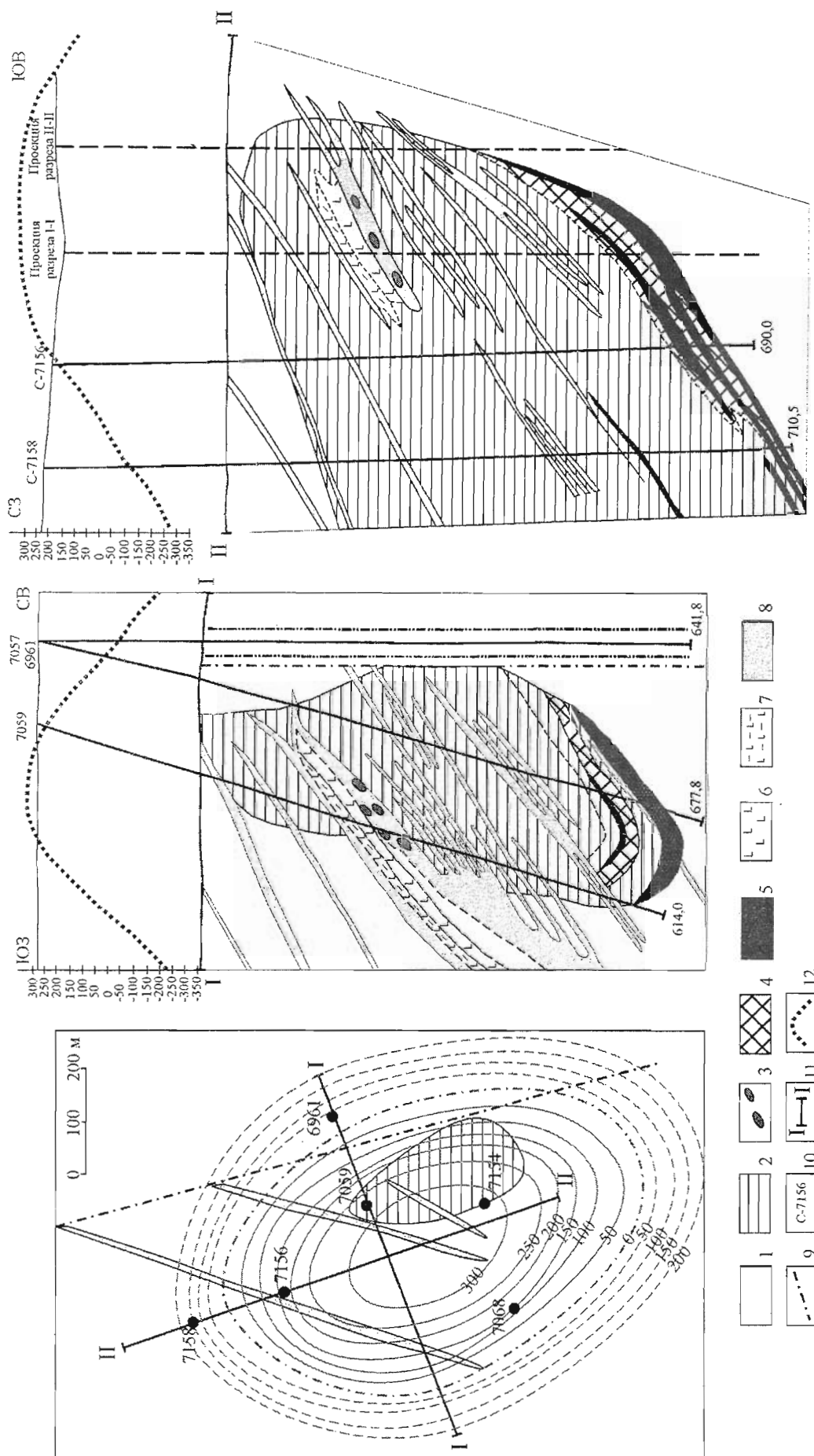


Рис. 5. Схематическая геологическая карта Артуховского рудопроявления: 1 — вмещающие метаморфические породы (гнейсы, метапесчаники); 2 — серпентинизированные гарцбургиты слюдино-роговообманковые; 3 — оливковые роговообманковые пироксениты с сульфидной вкрапленностью; 4 — оливковые пироксениты; 5 — сульфидные руды; 6 — диориты роговообманковые; 7 — гнейсоидиориты; 8 — биотитовые плагиограниты и микроклин-плагиоклазовые граниты; 9 — тектонические нарушения; 10 — скважины и их номера; 11 — линии разрезов; 12 — график интенсивности магнитного поля Z_a в гаммах

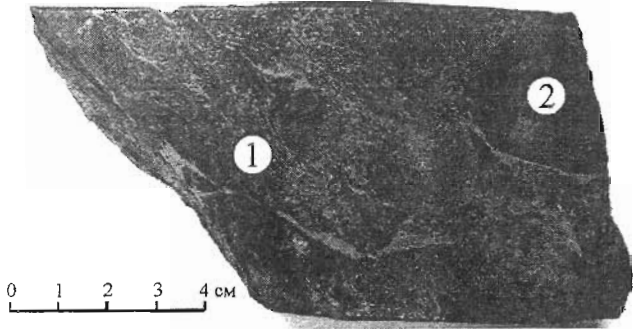


Рис. 6. Сульфидная (пирротин-пентландит-халькопиритовая) рудная (1) брекчия оливинных пироксенитов в кварцевых диоритах (2). Коммунское рудопроявление. Скв. 7161 глб. 594,3 м

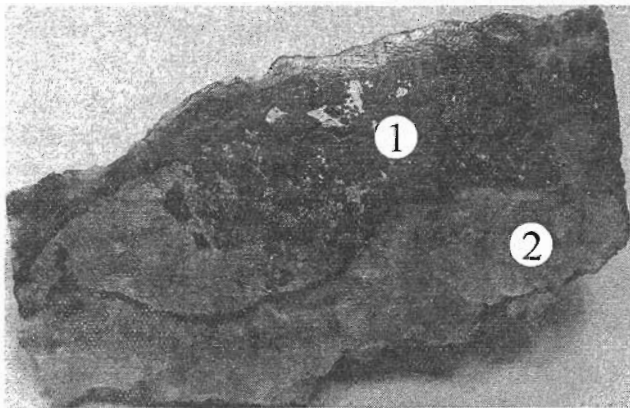


Рис. 7. Ксенолит рудного оливинового пироксенита (1) в кварц-карбонатной жиле из зоны брекчирования сульфидизированных биотит-плагиоклазовых пород и кварцевых диоритов (2). Коммунское рудопроявление. Скв. 7161 Пл. 579,5 м, натуральная величина

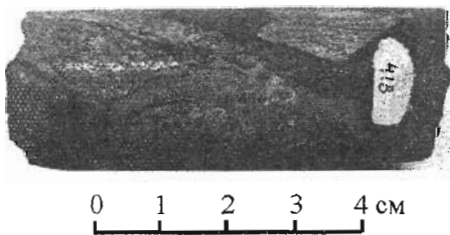


Рис. 8. Сетчатый псевдотакхиллит (черное) в биотитовых гнейсах. Северо-Бычковское рудопроявление. Скв. 7153, гл. 418 м

в метапироксенитах с сульфидной минерализацией мощностью 6,7 м (в интервале 103,3–110,0 м) выделено жильное рудное тело мощностью 2,5 м (в интервале 104,0–106,5 м) со средним содержанием (масс. %): Ni = 0,90, Cu = 0,44, Co = 0,21 (при колебаниях содержания металлов в пробах: Ni = 0,5–1,2 мас. %, Cu = 0,2–0,655 мас. %, Co = 0,02–0,024 мас. %).

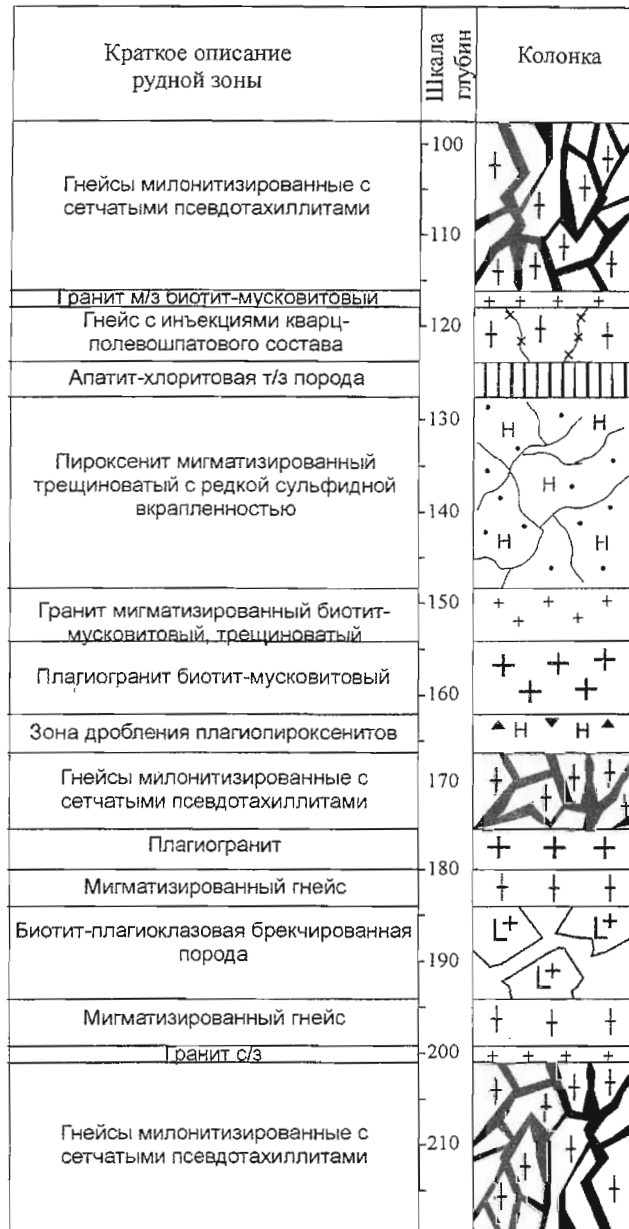


Рис. 9. Структурно-петрографический разрез по скв. 6962 восточного фланга Мартовского рудопроявления

В восточной части рудопроявления в разрезе скв. 6962 в брекчированных гнейсах с метасоматически измененными дайками пироксенитов (до актинолит-хлоритовых пород) наряду с жилами гранитов и биотит-плагиоклазовых пород широко отмечаются достаточно мощные зоны мигматизации и дробления с обильной сетью прожилков псевдотакхиллитов в интервалах мощностью до 20–30 м (см. рис. 9).

Кроме того, медно-кобальт-никелевые руды мартовского типа характеризуются высокими содержаниями Ag (200 г/т), Au (0,5 г/т) и повышенными — Mo, Pb, Zn, Sn, Bi, As, Sb.

Анализ достаточно сложной полукольцевой структуры в блоке гнейсов воронцовской серии, включающей (см. рис. 1) большую группу рудоносных мафит-ультрамафитовых и собственно ультрамафитовых интрузий, а также дайково-жильных (включая их метасоматиты) образований Подколодновского рудного района, позволяет сделать следующие выводы.

1. Вся совокупность рудоносных объектов принадлежит к петрологически единой ассоциации интрузивных и дайково-жильных образований мамонского комплекса. Характер проявлений магматизма этого комплекса и связанного с ними процесса платиноидно-медно-никелевого син- и эпигенетического рудогенеза подчеркивается структурной обстановкой вмещающей гнейсовой рамы в выделенных зонах и уровнем эрозионного среза с увеличением его глубинности в направлении с запада на восток (от I к III зоне).

2. Во всех трех зонах наблюдаются признаки увеличения глубины эрозионного уровня среза в северной части рудного района, что отчетливо подчеркивается здесь спадом интенсивности и характером градиентов гравитационного поля (см. рис. 1).

3. Предполагается, что концентрически зональное замыкание цепочки тел преимущественно ультрамафитового ряда с Артюховским рудопроявлением донных сингенетических залежей в массиве серпентинизированных слюдисто-роговообманковых гарцбургитов отражает вероятный уровень среза, вскрывающий фрагменты неровной подошвы Донского расслоенного интрузива с «карманами» оруденелых гипербазитов в его лежачем боку. Этому предположению не противоречит характер пологой затяжки в эту зону слабо аномального гравитационного поля (см. рис. 1). Структурное замыкание северо-восточного фланга Донского массива осложняется с юга Коммунско-Артюховской линейной субмеридиональной рудоносной зоной брекчирования даек ультрамафитов, биотит-плагиоклазовых жил, диоритов и мелких тел гарцбургитов (см. рис. 6, 7; табл. 2).

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

Подколодновского рудного района: I — Западная зона — преимущественно крупноблокового строения рамы гнейсового блока и расслоенного Донского массива мафит-ультрамафитов является перспективной на установление сульфидных 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 (Подколодновского) 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 мальми и дайковыми телами гипербазитов (Бычковское, Артюховское, Северобычковское рудопроявления), с дайково-жильным комплексом метасоматитов по 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 и др. 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 Чёрчилл [19].

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 большем, северном рудоносном штоке размером 3,5×1,5 км зафиксировано шесть небольших рудных тел: А, В, С, Е, F, G (рис. 10). Рудное тело "А", наиболее крупное, включающее 5 млн т руды со средним содержанием никеля 1,22 %, меди 0,64 % и незначительным количеством кобальта, имеет неправильную форму, хотя его длина и ширина почти одинаковы. В вертикальном разрезе рудное тело состоит из серии блоков минерализованных амфиболитов, залегающих между крутопадающими на запад надвигами. Количество руды прямо пропорционально интенсивности брекчирования.

Другие рудные тела по своим основным признакам аналогичны рудному телу "А". Оруденение представлено вкрапленностью сульфидов в амфиболитах и диоритах со средним содержанием никеля 0,79 % и меди 0,43 %. Оруденение развито либо в виде сплошных сульфидов, либо в виде ряда зон, которые, группируясь произвольно, составляют рудное тело, расчлененное на серию блоков. Запасы руды в телах "Е", "F" и "G" составляют 1,6 млн т.

К южному штоку сечением 400×500 м приурочено более крупное рудное тело EL (рис. 11). Запасы руды (до глубины 200 м) в нем подсчитаны в количестве 2,5 млн т со средним содержанием никеля 2,5 % и меди 0,93 %. Руды представлены двумя типами: а) массивными сплошными и брекчиевидными с содержанием никеля — 4,5 %, меди — 1,5 % и кобальта — 0,2 %; б) вкрапленными с содержанием никеля — 0,75 % и меди — 0,4 %. В образовании и размещении рудных тел исключительно большую роль играют разрывные нарушения, сопровождаемые интенсивным дроблением пород. Руда всегда встречается в зонах дробления и брекчирования диоритов, амфиболитов (горнблендитов) и других основных пород.

Параметры оруденения месторождения Линн-Лейк, принятого в качестве эталонного объекта для подсчета прогнозных ресурсов (по категории $P_1 + P_2 + P_3$) эпигенетических сульфидных медно-никелевых руд Коммунско-Артю-

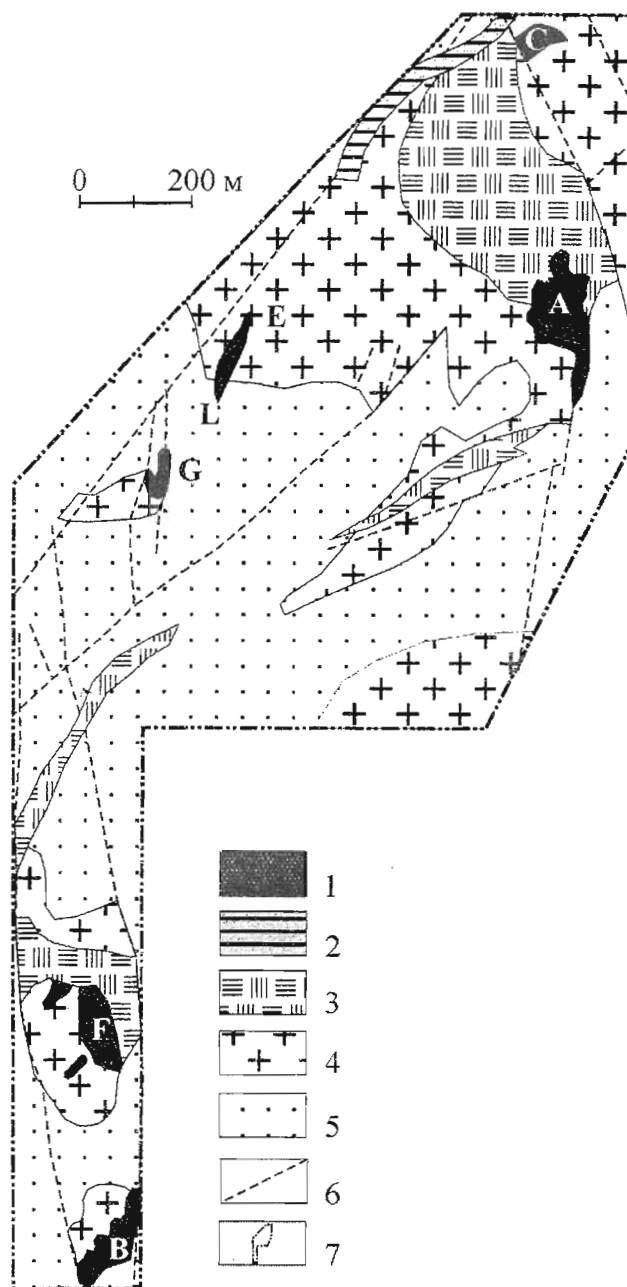


Рис. 10. Месторождение Линн-Лейк [2, 19]. Геологический план района шахты А (горизонт 328 м): 1 — рудные тела; 2 — полевошпатовые порфиры; 3 — кварцево-роговообманковые диориты; 4 — диориты; 5 — амфиболиты; 6 — зоны нарушения или дробления; 7 — граница участка расчета площадного коэффициента рудоносности по месторождению Линн-Лейк

ховского участка (зона III) Подколodновского рудного района, приведены в таблицах 3, 4.

Выполненный расчет свидетельствует о выявлении лишь в пределах Восточной зоны Подколodновского рудного района суммарных ресурсов ($P_1 + P_2 + P_3$) Ni — 2123 тыс. т; Cu — 1068 тыс. т; Co — 60 тыс. т.

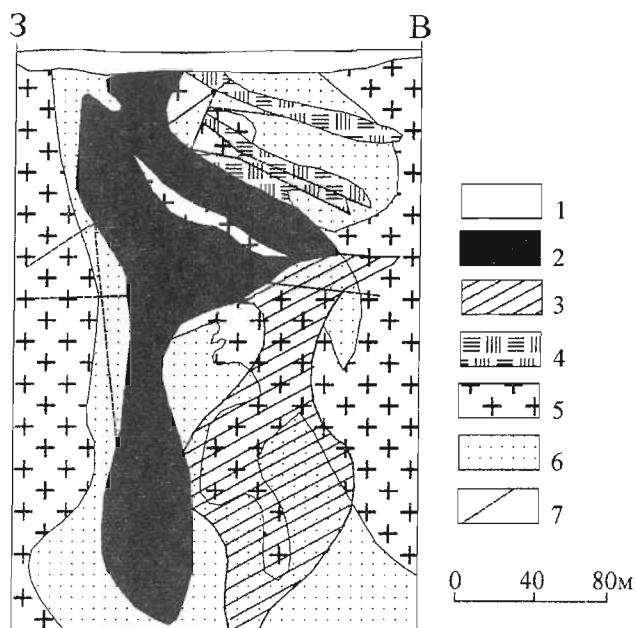


Рис. 11. Месторождение Линн-Лейк. Геологический разрез через рудное тело Е L: 1 — наносы; 2 — массивные руды; 3 — оруденелая брекчия; 4 — кварцево-роговообманковые диориты; 5 — диориты; 6 — амфиболиты; 7 — тектонические нарушения

Предложенная модель эволюции интрузивно-дайки 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-металлогенетических построений с целью наращивания потенциальных ресурсов платиноидно-медно-никелевых руд.

Следует отметить, что подобно Подколдовскому блоку (с одноименным рудным районом) Хоперский мегаблок ВКМ характеризуется широким развитием куполовидных структур с преобладающей ролью в их формировании вертикальной мантийно-коревой геодинамики с многократным проявлением магматизма и перемещением рудного вещества в процессе эндогенного рудообразования. К числу таких структур относятся Аннинская, Ширяевская, Восточно-Мамоновская, Песковатская (Липов-Кустовская), Архангельско-Демьяновская и др., характеризующиеся преимущественным развитием различных по составу и степени мигматизации гнейсами, аномально повышенными концентрациями разнотипных групп (мамонская, ширяевская, каменная) интрузивно-дайки тел мафитов и ультрамафитов мамонского комплекса и иногда в пространственной ассоциации с норит-диоритовыми интрузивами еланского комплекса (Архангельско-Демьяновская структура) с сульфидным платиносодержащим медно-никелевым и существенно никелевым оруденением, которые в совокупности определяют высокий потенциал на цветные и благородные металлы Хоперского мегаблока для проведения поисковых и оценочных работ.

Предложенная модель эволюции интрузивно-дайки 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-металлогенетических построений с целью наращивания потенциальных ресурсов платиноидно-медно-никелевых руд.

Таблица 3

Расчет параметров площадной продуктивности (на 1 км кв) запасов (по [2]) 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, %			Запасы металлов, тыс. т			Площадь рудного поля эталонного месторождения, км ²	Площадная продуктивность запасов металлов на 1 км ² . 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
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								48,0	17,9	3,8		
G												
EL* (до гл. 300 м)	2,500	2,50	0,93	0,20	62,5	23,3	5,0	133,5	67,2	3,8		
Итого:	14,100				173,5	87,4	5,0					

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 4

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

Подколотновский рудный район (зона III — Коммунско-Артюховский участок)				
Площадь потенциально рудоносной зоны III, км ²		Суммарные потенциально перспективные ресурсы металлов зоны III Подколотновского рудного района, тыс. т		
		Ni	Cu	Co
Общая площадь	26,5	3538	1781	100
		с понижающим коэффициентом $k=0,6$ на низкую изученность и неравномерность распространения вкрапленных и богатых руд		
По категории P_1+P_2	13,0	2123	1068	60
По категории P_3	13,5	1041	524	30
		1082	544	30

Примечание: в отдельных маломощных (0,1—0,4 м) жилах Подколотновского 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 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горяинов П.М., Давиденко И.В. Тектоно-кеосонный эффект в массивах горных пород и рудных месторождений — важное явление геодинамики. — Докл. АН СССР, 1979. — Т. 247. — № 5. — С. 1212—1215.
2. Кусочкин В.И. Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных месторождений полезных ископаемых. Никель. — М.: ВИ-ЭМС, Серия: экономика мин. сырья и геол.-разв. работ, 1970. — С. 3—50.
3. Молотков С.П. Никеленосная габбро-норит-гипербазитовая формация юго-восточного склона Воронежского кристаллического массива: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. — Воронеж, 1974. — 26 с.
4. Фролов С.М. Генетические типы базит-гипербазитовых интрузий мамонского комплекса ВКМ и их взаимоотношения // Вопросы геологии и металлогении докембрия Воронежского кристаллического массива. — Воронеж, 1976. — С. 61—66.
5. Чернышов Н.М. Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива: Породы, руды, генетические особенности. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1971. — 312 с.
6. Чернышов Н.М. Типы никеленосных интрузий и медно-никелевого оруденения Воронежского массива // Сов. геология. — 1986. — № 12. — С. 42—54.
7. Чернышов Н.М., Богданов В.М., Кривцов И.И. Структурное положение никеленосных интрузий юго-востока Воронежского кристаллического массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1987. — № 6. — С. 50—57.
8. Чернышов Н.М. Промышленно-генетические типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений новой никеленосной провинции России и проблема их освоения // Вест. Воронеж. ун-та. Естеств. науки. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1993. — Сер. 2. — Вып. 1. — С. 188—215.
9. Чернышов Н.М. Формационно-генетические типы платинометалльных проявлений Воронежского кристаллического массива // Платина России. Пробл. развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. — М.: АО «Геоинформмарк», 1994. — С. 85—103.
10. 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.
11. Чернышов Н.М. Типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудномагматических систем различных геодинамических режимов развития ВКМ (Систематика, состав, граничные признаки, основные черты эволюции) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 1998. — Вып. 6. — С. 70—80.
12. Чернышов Н.М., Баянова Т.Б., Чернышова М.Н. и др. Уран-свинцовый возраст норит-диоритовых интрузий Еланского никеленосного комплекса и их временные соотношения с габброноритами дифференцированных ультрамафит-мафитовых плутонов мамонского комплекса ВКМ // Геология и геофизика, 1998. — Т. 39. — № 8. — С. 1064—1071.
13. Чернышов Н.М., Баянова Т.Б., Чернышова М.Н., Левкович Н.В. Уран-свинцовый возраст норит-диоритовых интрузий Еланского никеленосного комплекса Воронежского кристаллического массива // Доклады РАН. — 1998. — Т. 359, № 1. — С. 98—101.
14. Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. — 448 с.
15. Чернышова М.Н. Дайки никеленосных комплексов Воронежского кристаллического массива (формационно-генетические типы и пространствен-

но-временные соотношения // Вест. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 1996. — № 1. — С. 50—60.

16. *Чернышова М.Н.* Дайки мамонского никеле-носного комплекса и их соотношение с оруденением / Воронеж: ВГУ, 1999. — 121 с.

17. *Чернышова М.Н.* Дайки сульфидных платино-идно-медно-никелевых месторождений еланского типа и их соотношение с оруденением (Воронежский кристаллический массив) / Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2002. — 184 с.

18. *Шарков Е.В.* Строение магматических систем крупных изверженных провинций континентов по геолого-петрологическим данным. // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 2004. — № 2. — С. 7—22.

19. *Щерба Г.Н.* Никелевые пояса Томсон и Линн Лейк // Геология рудных месторождений, 1973. — № 2. — С. 42—55.

20. *Щукин Ю.И.* Региональные исследования и актуальные проблемы глубинной геологии // Геофизика, 2000. — № 1. — С. 19—30.