

РОЛЬ ДАЕК В ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТИ ИНТРУЗИЙ МАМОНСКОГО И ЕЛАНСКОГО КОМПЛЕКСОВ НА СУЛЬФИДНОЕ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

М. Н. Чернышова

Воронежский государственный университет

Предложен комплекс структурно-вещественных, минералого-петрографических, петрогеохимических параметров дайковых образований, характеризующих потенциальную никель-платиноносность мамонского и еланского типов интрузивно-дайковых систем ВКМ. Промышленные и потенциально промышленные интрузии, по сравнению с безрудными, отличаются высокой степенью насыщенности дайками, общностью состава породообразующих минералов и типичной для сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений мамонского и еланского типа аксессуарной минеральной ассоциацией, однотипным распределением и сходными значениями отношений породо- и рудообразующих элементов.

Ключевые слова: мамонский, еланский комплексы, интрузивно-дайковые системы, породообразующие и аксессуарные минералы, критерии прогнозирования.

При достаточно широком проявлении в докембрийском фундаменте Воронежского кристаллического массива (ВКМ) разномасштабного сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения наиболее важные в промышленном отношении сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения ВКМ связаны лишь с многофазными интрузивами двух раннепротерозойских формаций: а) дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой зоной рассеянного спрединга (мамонский комплекс, 2100–2080±10 млн лет), б) субвулканической ортопироксенит-норит-диоритовой реактивизированных структур рифтогенного типа (еланский комплекс, 2065–2050±14 млн лет). Пространственно они располагаются в пределах Хопёрского мегаблока [9]. Важнейшим структурно-вещественным и рудонесущим компонентом комплексов являются дайковые образования, на долю которых приходится от 6 до 12 % объёма рудоносных интрузивов. Широкое развитие даек, тесная пространственно-генетическая связь и отчетливо выраженная минералого-петрогеохимическая комплементарность их с различными по возрасту, формационной принадлежности, составу и степени рудоносности интрузивами выступают надежной методологической основой использования жильных образований для оценки потенциальной рудоносности массивов. В условиях повсеместного перекрытия докембрийских образований Хоперского мегаблока мощным

чехлом платформенных отложений, исключающих возможность прямых геологических наблюдений всей совокупности сложных пространственно-временных соотношений интрузивно-дайковых породных ассоциаций с сульфидным платиноидно-медно-никелевым оруденением, особая роль принадлежит структурно-вещественным признакам и геохимическим особенностям жильных пород, ассоциирующих с разнотипными по составу, возрасту, формационной принадлежности и степени рудоносности интрузивами мамонского и еланского комплексов.

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

щими умеренно магнезиальными ($12 < \text{MgO} < 27\%$) ультрамафитами (елань-вязовский тип); 3) количественно преобладающие слабодифференцированные и недифференцированные безрудные габброноритовые, габбровые и габбродиоритовые ($\text{MgO} < 8\%$) интрузивы (каменский тип), завершающие становление всей никеленосной формации.

Петролого-геохимическая и рудногеохимическая индивидуальность интрузивов мамонского комплекса определяется [1, 9]: а) обширным сингенетически родственным рядом пород (от дунитов до диоритов) и значительными вариациями состава породообразующих минералов с последовательным увеличением железистости оливина (Fa_{14-53}), орто- (Fs_{15-43}) и отчасти клинопироксена (Fs_{8-32}), снижением анортитового компонента в полевых шпатах (An_{75-35}), появлением ортоклаза в интрузивных дифференциатах елань-вязовского и титанистой роговой обманки (TiO_2 до 10 %) в ширяевском типах интрузий; б) апатит-хромшпинелид-сульфидно-магнетитовой (бадделейт, муассанит, циркон) акцессорной минеральной ассоциацией; в) повышенной и умеренной магнезиальностью при повышенной железистости ($10 < \sum \text{FeO} < 15\%$), SO_3 (0,5–0,8 %) и отчетливом накоплении TiO_2 (от 0,3 до 1,4 %), щелочей (от 0,2 до 8,1 %) при возрастающей роли K_2O (относительно Na_2O), P_2O_5 (до 0,8 %); г) четким обособлением рудообразующей (Fe-Ni-Cu-Co-S) ассоциации от силикатного (Si, Mg, Ca, Al) парагенезиса в ультрамафитах рудоносных интрузий в отличие от безрудных; д) близким к метеоритному составу серы, преобладанием Ni над Cu в ультрамафитах ($\text{Ni}/\text{Cu} > 1,5-2$; $\text{Ni}/\text{Co} > 7-10$) и Cu над Ni в мафитах ($\text{Ni}/\text{Cu} < 0,9$); е) приуроченностью преимущественно бедных ($\text{Ni} = 0,21-0,75\%$; $\text{Cu} = 0,12-0,7\%$; $\text{Co} = 0,04\%$), менее распространенных густовкрапленных ($\text{Ni} = 0,30-3,14\%$; $\text{Cu} = 0,10-1,30\%$; Co до 0,05 %) и реже массивных и брекчиевидных ($\text{Ni} = 1,67-5,93\%$; $\text{Cu} = 0,15-4,01\%$; $\text{Co} = 0,08-0,23\%$, ЭПГ $> 0,5$ г/т, $\text{Pd}/\text{Pt} = 0,9-1,9$; $\delta^{34}\text{S}$ близка к метеоритному) платиноидно-медно-никелевых руд к тем частям разреза интрузивов, которые наиболее обогащены оливином и характеризуются многократным чередованием дунитов, перидотитов, пироксенитов; ж) ведущей ролью в минеральном парагенезисе пирротина (80–90 %) при близких количественных соотношениях халькопирита и пентландита, постоянным присутствием хромшпинелидов и магнетита, крайне редко — арсенидов и сульфоарсенидов Ni, Co, а также молибденита, сфалерита, кубанита, миллерита и др.

Еланский никель-платиноносный ортопироксенит-норит-диоритовый комплекс, расположенный в пределах Калач-Эртильской зоны (реактивизированного рифта позднеархейского заложения), представляет собой многофазную последовательно развивающуюся сингенетически единую магматическую систему, включающую три различных по составу, морфологии и степени рудоносности автономных или пространственно совмещенных с более ранними ультрамафит-мафитовыми плутонами мамонского комплекса группы интрузивно-дайковых тел: а) ортопироксенитовую; б) норитовую (обычно безрудную) и в) норит-диоритовую, промышленно рудоносную (Еланское и Елkinsкое месторождения). Рудовмещающие нориты отличаются рядом специфических, присущих лишь еланскому типу РМС, комплексом признаков [5, 9, 16]: 1) минералогических — наличие в породах неравновесной ассоциации минералов — высокомагнезиальных оливина (Fo_{77-86}), ортопироксена (En_{72-91}) и высокохромистой (до 60 мас. % Cr_2O_3) шпинели, с одной стороны, и калишпата, кварца и низкокальциевого плагиоклаза (An_{17-62}) — с другой; резкое преобладание ортопироксена среди феррических минералов; 2) петрохимических (несоответствие между высокими содержаниями MgO и повышенными концентрациями SiO_2 и K_2O ; высокие величины отношений MgO/CaO , SiO_2/CaO , MgO/FeO); 3) 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); высоконикелистый состав руд ($\text{Cu}/\text{Ni} < 0,01$) при одновременном обогащении их As, Mo, Sb, Bi, Au, Ag); 4) изотопно-геохимических (высокие величины отношений $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$; $\delta^{18}\text{O} > 6\%$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; облегченный изотопный состав серы — $\delta^{34}\text{S}$ от $-1,6$ до $-9,5\%$ и углерода — $\delta^{13}\text{C}$ до -33%).

Руды крупных по запасам и ресурсам цветных, благородных и других сопутствующих металлов месторождений еланского типа характеризуются [9, 16]: а) ведущей ролью вкрапленных и гнездовокрапленных ($\text{Ni} = 1,31-5,48$ мас. %; $\text{Co} = 0,04-0,25$ мас. %, $\text{Cu} = 0,19$ мас. %; ЭПГ = 0,30 г/т) и ограниченным распространением брекчиевидных и массивных ($\text{Ni} = 8,01$ мас. %; $\text{Co} = 0,19$ мас. %, $\text{Cu} = 0,10$ мас. %; ЭПГ до 1,3 г/т); б) высокими содержаниями (до 30–50 %) пентландита и низкими халькопирита (2,5 %, иногда до 10–15 %), постоянным присутствием высокохромистых цинк-содержащих хромшпинелидов, повышенные коли-

чества арсенидов и сульфоарсенидов, теллуридов, самородного золота и др. По содержанию главных рудообразующих элементов (Ni, Co, Cu) и ЭПГ руды еланского типа РМС принадлежат к маломедистым высоконикелистым с повышенными концентрациями Co, значительно обогащены изотопно легкой серой ($\delta^{34}\text{S}$ до $-11,6\%$).

Среди широкого спектра групп (ультраосновные, основные, средние и кислые), семейств (пироксениты, горнблендиты, габброиды, диориты, гранодиориты, граниты, лампрофиры), видов и разновидностей (свыше 50) дайковых образований сульфидных медно-никелевых рудномагматических систем (РМС) мамонского и еланского типа развиты две формационно и генетически разнородные группы. Первая из них [10], сопряженная со становлением никель-платиноносных комплексов, представлена: а) дайковыми телами-апофизами интрузивных эквивалентов во вмещающих породах (перимагматические дайки); б) жильными отщеплениями интеркумулусного расплава автономно кристаллизующихся никель-платиноносных РМС (интрамагматические дайки). Ко второй группе относятся дайки более поздних, различных по формационной принадлежности комплексов (бобровский; 2022 ± 3 млн лет и шукавский), а также гетерогенные по своей природе и составу лампрофиры.

Важнейшими признаками дайковых образований, характеризующих потенциальную никель-платиноносность РМС мамонского и еланского типов, являются общность структурно-вещественных, минералого-петрографических, петрогеохимических и рудногеохимических параметров с рудоносными коагматами, многократное обогащение дайковых пород цветными и благородными металлами [17–20].

1. КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО РУДОНОСНЫХ ИНТРУЗИЙ НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ДАЙКОВЫХ ПОРОД И СОСТАВА СЛАГАЮЩИХ ИХ ПОРОДОБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

В оценке потенциальной перспективности на сульфидное платиноидно-медно-никелевое оруденение интрузий существенную роль играют количественные параметры по распространенности в них жильных пород. Промышленно и потенциально никель-платиноносные дифференцированные ультрамафитовые интрузии мамонского типа отли-

чаются высокой степенью насыщенности (до 6,6 об. %) и разнообразными по составу (до 17 видов и разновидностей) жильными породами двух групп [15, 16]: а) сингенетическим (интрамагматическими) интрузивным дифференциатам пироксенитами (ортопироксениты, вебстериты, диопсидиты) и горнблендитами; б) дайками ультрамафит-мафитовых (ширяевский и елань-вязовский типы) и недифференцированных мафит-мезомафитовых интрузивов (каменский тип), завершающими формирование никель-платиноносной формации (в объеме мамонского комплекса), а также апофизами гранитоидов бобровского комплекса и лампрофирами. В недифференцированных и обычно безрудных ультрамафитовых телах мамонского типа количество даек снижается почти вдвое, а их породная ассоциация не превышает 5–6 видов и разновидностей. При сравнительно высокой насыщенности мафитовых интрузий каменского типа жильными породами (до 7 об. %) их состав ограничивается габброидами, диоритами, лампрофирами, а также гранитоидами бобровского и редко встречающимися дайками еланского комплексов. Более чем в 2 раза (по сравнению с безрудными) возрастает роль дайковых образований в норит-диоритовых телах Еланского и Елkinsкого месторождений [12, 14].

Вещественная индивидуальность жильных пород, ассоциирующих с различными по формационной принадлежности и потенциальной рудоносности никель-платиноносными комплексами, отчетливо прослеживается в особенностях минеральных парагенезисов и их составе [14, 15, 16]. Породы дайковой фации, коагматичные ультрамафитовым дифференциатам рудоносных и потенциально рудоносных на цветные и благородные металлы интрузий мамонского комплекса, характеризуются ведущей ролью в минеральном парагенезисе оливина (Fa_{18-25}), количественным преобладанием ортопироксена (Fs_{12-30}), сравнительно широким развитием клинопироксена (эндиопсида, диопсида) и обыкновенной роговой обманки [12, 14]. Бурая титанистая разновидность Са-амфиболов эденит-паргаситовой серии весьма характерна для жильных пироксенитов ширяевского типа с гнездово-вкрапленными и массивными малоникелистыми пирротиновыми рудами [8, 12].

Дайковые породы основного состава, промышленно рудоносных интрузий еланского комплекса, отличаются неравновесным составом минерального парагенезиса, включающего резко преобладающий ортопироксен (Fs_{17-30}), редко встречающийся

оливин высокой магнезиальности (Fs_{18-30}), а иногда обыкновенную роговую обманку, с одной стороны, и плагиоклаз средней основности, кпш, биотит и кварц — с другой, при крайне ограниченном развитии клинопироксена. Сопровождающие безруд-

ные интрузивы дайки-апофизы норитов характеризуются высокожелезистым ортопироксеном (Fs_{35-43}), повышенным содержанием (до 10–15 %) клинопироксена, кварца и пониженным биотита и полным отсутствием оливина ([15]; рис. 1).

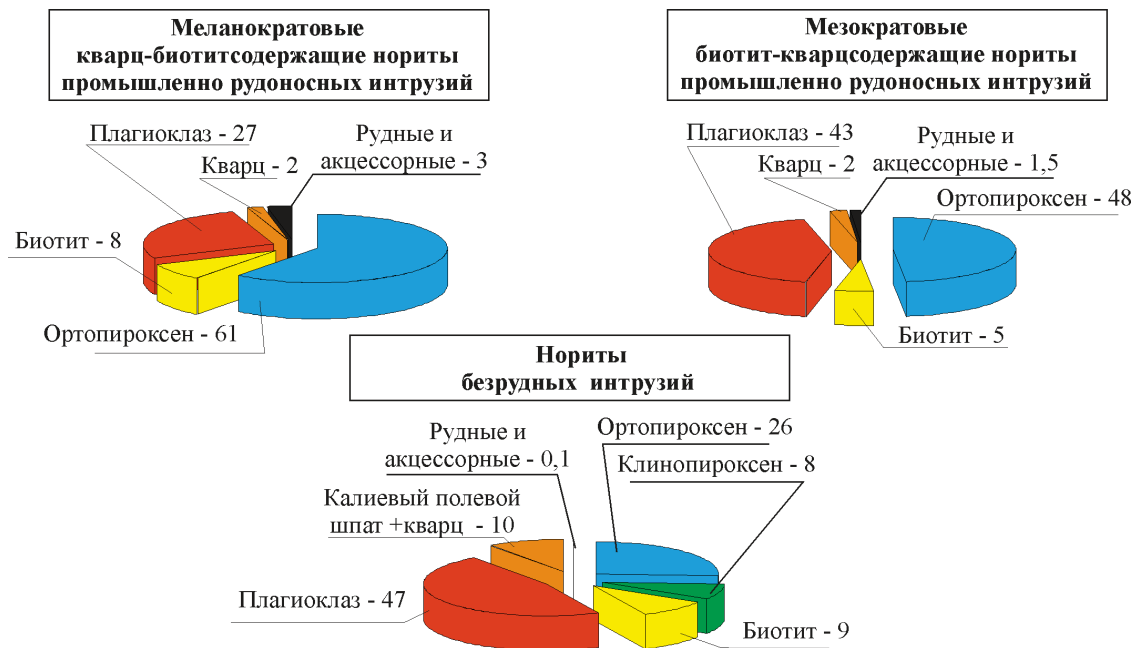


Рис. 1. Количественно-минеральный состав (об. %) главнейших типов интрузивных пород еланского комплекса различной степени рудоносности

2. АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ДАЙКОВЫХ ПОРОД КАК ИНДИКАТОРЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТИ ИНТРУЗИЙ

Общеизвестно [3, 6, 13], что видовой состав и содержание акцессорных минералов отражают степень обогащения магматического очага рудными и редкими элементами. Этот вывод подтверждается и результатами исследований акцессорных минералов дайковых пород, развитых среди интрузий мамонского и еланского комплексов [14, 16], при этом наличие в дайках характерных для сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений минералов может служить несомненным указанием на потенциальную рудоносность интрузий, с которой эти дайки пространственно и генетически связаны [13]. Ниже приводятся особенности видовой состава и содержания ведущих акцессорных минералов семейства габброидов (габбро, норит-порфириды, габбро-порфириды; рис. 2) и диоритов (рис. 3), а также гранитоидов, которые присутствуют в различных по составу, степени дифференцированности и рудоносности интрузивах мамонского и еланского комплексов [3, 13, 14, 15].

Минеральная ассоциация дайковых габбро-порфиридов, встречающихся среди ультрамафитовых интрузий мамонского типа с платиноидно-медно-никелевым оруденением, помимо сульфидов, включает характерные для интрузивных дифференциатов высокие концентрации хромшпинелидов (454,4 г/т), оксидов Fe и Ti. Габбро-порфириды, ассоциирующие с безрудными габброидными массивами (каменский тип), практически полностью лишены хромшпинелидов, сульфидов, но значительно (в 2,5—3,5 раза) обогащены магнетитом, титаномагнетитом, ильменитом и апатитом (см. рис. 2). Норит-порфириды, широко развитые на Еланском месторождении, отличаются (см. рис. 2), прежде всего, повышенным содержанием пирротина (3285,0 г/т), халькопирита (7573,6 г/т), постоянным присутствием пирита, галенита, арсенопирита, молибденита — весьма характерных минералов сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд еланского типа, а также наличием периклаза, бадделеита и хромшпинелидов, которые постоянно встречаются в рудовмещающих интрузивных норитах [6, 13, 14, 16].

Роговообманковые габбро дайковой фации Еланского месторождения по сравнению с одно-

именными породами Ширяевского ультрамафит-мафитового массива, в пределах которого не установлено промышленно значимого оруденения, характеризуются в несколько раз превосходящими

концентрациями пирита (77830,5 и 0,03 г/т соответственно), пирротина (3284,3 и 33,2 г/т), арсенопирита (4512,0 г/т и ед. знаки), апатита (42,3 и 2,3 г/т), циркона (10,4 и 4,8 г/т; см. рис. 2).

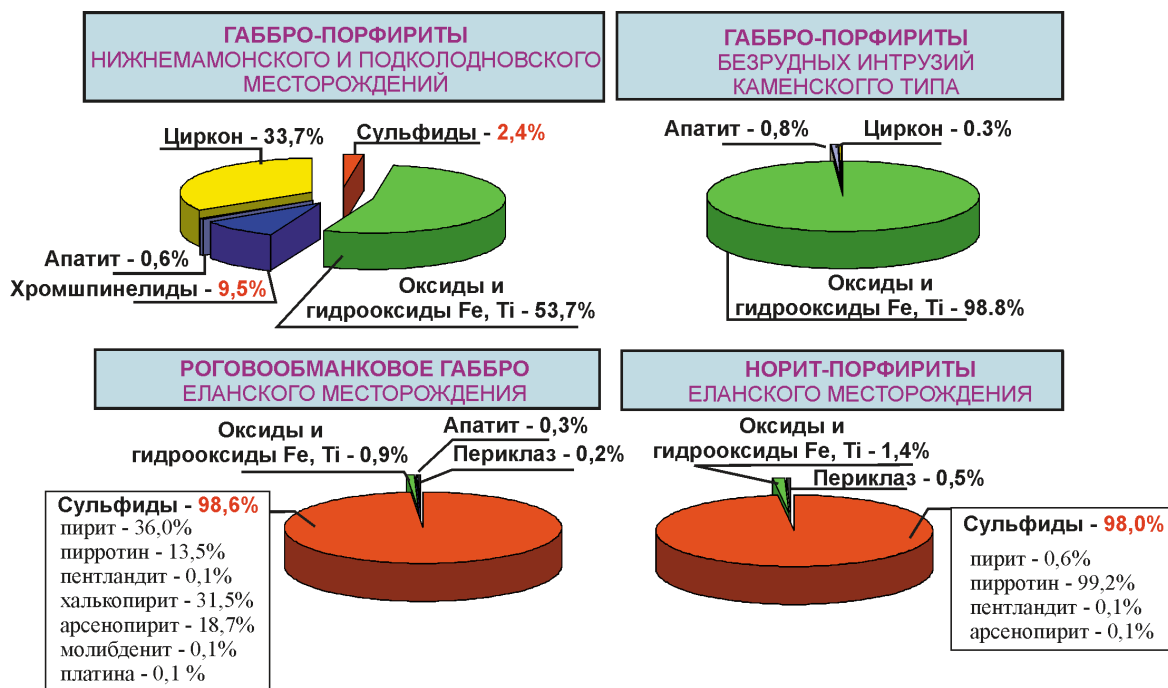


Рис. 2. Диаграмма распределения аксессуарных минералов в дайковых породах семейства габброидов, ассоциирующихся с различными по степени рудоносности интрузивами мамонского и еланского никель-платиноносных комплексов

Важную минерагеническую информацию несут аксессуарно-минеральные ассоциации дайковых диоритов, широко развитых во всех структурно-фациальных типах интрузий мамонского и еланского комплексов [13, 14, 15] и являющихся обычно послерудными по отношению к сингенетическому сульфидному платиноидно-медно-никелевому оруденению. Приуроченность диоритов к различным по составу, степени дифференцированности и рудоносности интрузивам заметно проявляется, прежде всего, в видовом составе и характере распределения аксессуарных минералов (рис. 3).

В диоритах гипербазитовых интрузивов с сульфидным платиноидно-медно-никелевым оруденением мамонского типа установлено 14 аксессуарных минералов [13, 14], среди которых ведущую роль играют магнетит и титаномагнетит (993,0 г/т), ильменит (3470,7 г/т), апатит (1421,5 г/т), циркон (78,3 г/т), сфен (46,7 г/т), пирит (38,3 г/т). Ассоциирующие с никель-платиноносными массивами дайки диоритов, по сравнению с аналогичными образованиями безрудных интрузий (см. рис. 3), заметно обогащены пиритом (52,0 г/т), халькопиритом (6,2 г/т), арсенопиритом (4,5 г/т), апатитом

(2131,5 г/т), магнетитом (1440,0 г/т) и ильменитом (5146,0 г/т); в них постоянно отмечается пирротин. В недифференцированных безрудных габброидных интрузивах (каменский тип) того же комплекса диориты и кварцевые диориты характеризуются в целом небогатой (менее 10 минералов) аксессуарной минеральной ассоциацией и повышенным содержанием в ее составе магнетита и в особенности ильменита (7586,0 г/т), апатита (3000,0 г/т), циркона (100,0 г/т); сульфиды (пирит, халькопирит) отмечаются спорадически.

Дайковые диориты еланского никеленосного комплекса отличаются более разнообразным видовым составом аксессуарных минералов (свыше 20; см. рис. 3). Помимо пирита (26,9 г/т), пирротина (805,6 г/т), халькопирита (3243,0 г/т), в диоритах Еланского месторождения постоянно отмечаются пентландит, арсенопирит (иногда с тонкорассеянным золотом^{1*}), киноварь, галенит, кобальтин*, иногда молибденит* и макинавит*; резко снижается доля магнетита и ильменита. В заметных количествах появляется периклаз — весьма характерный

^{1*} Золото, кобальтин, молибденит и макинавит выявлены при исследовании полированных шлифов.

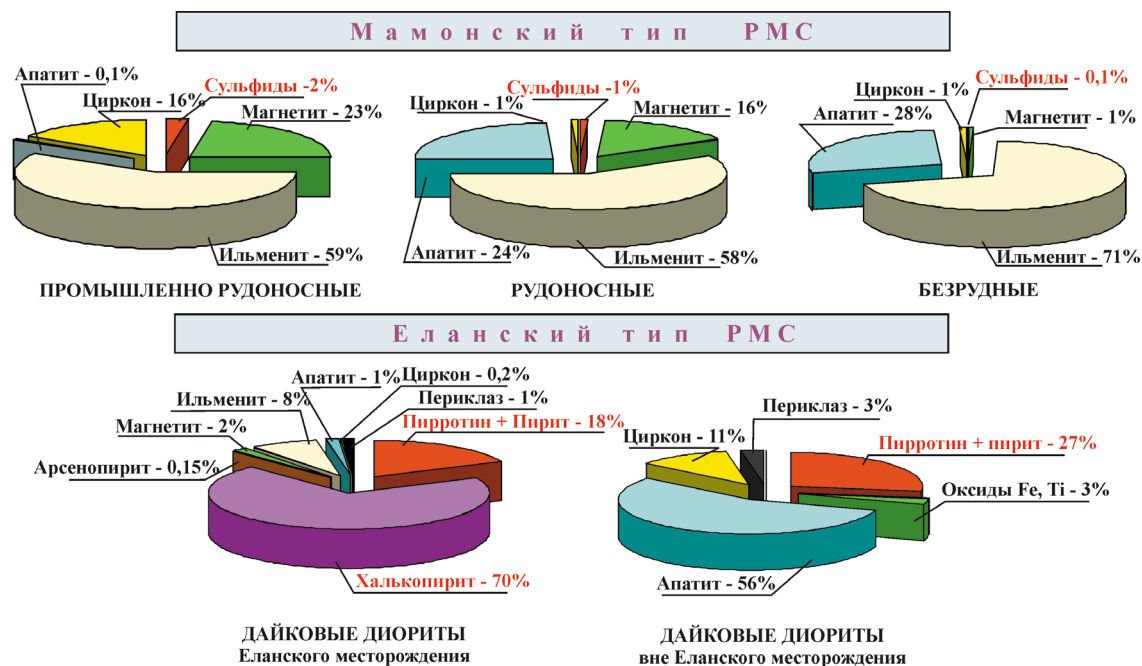


Рис. 3. Распределение аксессуарных минералов в дайковых диоритах, ассоциирующихся с различными по степени рудоносности интрузиями мамонского и еланского комплексов ВКМ

аксессуарный минерал интрузивных пород еланского комплекса, а также турмалин (6098,3 г/т). Располагающиеся вне рудных зон диориты того же комплекса крайне обеднены аксессуарными минералами и в особенности сульфидами (см. рис. 3), среди которых отмечается только пирит (19,2 г/т).

В оценке потенциальной никель-платиноносности важную информацию несут аксессуарные минералы различных по составу лампрофиоров и гранитоидов, которые постоянно встречаются среди массивов как мамонского, так и еланского комплексов [3, 13, 14, 15]. По составу и характеру распределения аксессуарных минералов лампрофиры в целом обнаруживают определенные черты сходства с дайками габброидов и диоритов и подобно последним в известной мере наследуют особенности аксессуарной минеральной ассоциации интрузивных дифференциатов. Кроме циркона, апатита и других сравнительно редко встречающихся минералов (турмалин, корунд и др.) в лампрофирах выделяются две ведущие ассоциации [11]: а) оксидная (магнетит, титаномагнетит, ильменит, лейкоксен, рутил) в парагенезисе со сфеном; б) сульфидная (пирротин, пирит, халькопирит±кубанит, арсенопирит, виоларит, кобальтин, пентландит), характерная в целом для дайковых пород никель-платиноносных комплексов ВКМ. Следует особо подчеркнуть: а) существенное возрастание доли сульфидов в лампрофирах, которые размещаются в интрузивах с промышленным сульфидным платиноидно-медно-никеле-

вым оруденением; б) наличие хромшпинелидов в минеральном парагенезисе лампрофиоров, ассоциирующих с ультрамафитовыми телами мамонского типа; в) постоянное присутствие сульфоарсенидов Fe, Ni, Co в лампрофирах Еланского месторождения [14, 16]. Сравнительный анализ состава и содержаний аксессуарных минералов интрузивных гранитоидов бобровского комплекса с их дайковыми дериватами, развитыми в интрузивах мамонского и еланского комплексов, выявляет общую закономерность для всех дайковых пород □ существенное обогащение гранитоидов сульфидами, доля которых особенно резко возрастает в жильных образованиях, размещающихся в рудоносных интрузивах [3, 16].

3. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ДАЙКОВЫХ ПОРОД — КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ НИКЕЛЬ-ПЛАТИНОНОСНОСТИ ИНТРУЗИЙ

Важнейшей предпосылкой оценки потенциальной рудоносности является высокая степень петрогеохимической комплементарности дайковых пород с интрузивными дифференциатами мамонского и еланского комплексов, разнотипные структурно-вещественные группы интрузий которых характеризуются различными масштабами сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения [9].

Определяющими петрохимическими признаками пород интрамагматической дайковой фа-

ции – ультрамафитовых интрузий мамонского типа, с которыми ассоциируют наиболее важные в промышленном отношении сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды, являются (табл. 1): а) повышенная магнезиальность ($K_{Mg} = 63,5-70,3$) при относительно невысоких значениях общей железистости ($K_{Fe} = 29,7-36,3$) и низкой глиноземистос-

ти ($al' = 0,08-0,16$); б) низкие содержания щелочей при натровой в целом специализации ($K_{щ} = 1,0-1,3$); в) относительно высокая концентрация серы ($K_s = 11,3-12,3$) и близкие к рудоносным интрузивным дифференциатам [1, 9] величины отношений $S/\Sigma Me$ (1,8–2,1), S/Ni (4,3–9,5), Ni/Cu (1,1–9,7), Ni/Co (1,7–3,2), Ti/Mg (1,8–2,1).

Таблица 1

Величины некоторых пороодо- и рудообразующих элементов в дайковых породах семейства пироксенитов-горнблендитов в различных по степени рудоносности структурно-вещественных типах интрузий мамонского комплекса (по М. Н. Чернышовой, 1999, 2005)

	Пироксениты						Горнблендиты			
	1(3)**	2(6)	3(2)	4(4)	5(6)	6(2)	7(6)	8(2)	9(1)	10(4)
M/F	4,3	3,23	3,58	3,62	2,36	2,12	0,75	3,52	3,90	3,07
Ti/Mg	2,1	1,85	1,86	2,25	5,91	5,17	2,15	3,52	2,96	3,34
al'	0,08	0,12	0,14	0,093	0,27	0,28	0,16	0,24	0,09	0,30
Na ₂ O/K ₂ O	3,45	1,66	6,0	2,1	2,03	7,0	2,12	0,86	4,5	2,52
K_{Mg}	70,27	63,53	66,81	76,08	61,54	61,47	64,77	65,99	49,75	75,37
K_{Fe}	29,73	36,27	33,19	38,45	47,53	51,15	35,23	34,0	39,32	36,49
K _щ	1,00	1,23	2,98	1,46	6,73	3,71	1,31	3,45	2,75	3,22
S/Me*	1,78	2,09	1,43	2,89	3,21	0,40	0,40	0,55	2,25	2,14
S/Ni	4,36	4,35	1,9	1,1	5,65	0,93	9,47	0,72	2,88	7,5
Ni/Cu	1,15	1,06	5,0	1,67	1,71	0,94	9,74	10,0	3,85	0,5
Ni/Co	1,66	7,08	8,0	6,0	5,8	3,75	3,17	5,0	50,0	2,0
K _s	11,33	12,33	2,53	11,01	5,47	0,47	12,0	1,2	4,8	5,0

Примечание: 1–2 — пироксениты мамонского типа интрузий (Нижнемамонское, Подколодновское, Юбилейное месторождения и рудопроявления): 1 — ортопироксенит; 2 — роговообманковый вебстерит; 3 — роговообманковые вебстериты елань-вязовского типа; 4 — титанистороговообманковосодержащие пироксениты среди рудоносных интрузий мамонского типа; 5 — титанистороговообманковые пироксениты и плагиопироксениты-вебстериты ширяевского типа среди рудоносных интрузий мамонского типа; 6 — титанистороговообманковые пироксениты (вебстериты) ширяевского типа; 7–10 — горнблендиты субультрамафитового ряда: 7 — оливин-пироксеновые и пироксеновые мамонского промышленно рудоносного типа интрузий; 8 — елань-вязовского типа; 9 — пироксен-плагиоклазсодержащий и 10 — с обыкновенной роговой обманкой среди интрузий мамонского промышленно рудоносного типа. *) S/Me = S/Ni + Co + Cu, **) в скобках — количество анализов.

Дайковым породам, сингенетичным интрузивным дифференциатам, лишенным сульфидного платиноидно-медно-никелевого мамонского типа, характерна несколько пониженная магнезиальность, увеличение общей железистости, количества титана, алюминия, кальция, щелочей. Размещающиеся среди рудоносных ультрамафитовых интрузивов дайки пироксенитов и горнблендитов ширяевского и елань-вязовского типа сохраняют присущие их интрузивным дифференциатам петрохимические характеристики [13].

Определяющими петрохимическими признаками потенциальной никель-платиноносности норит-диоритовых интрузий выступают также близкие значения ряда величин отношений некоторых пороодообразующих ($Al_2O_3/MgO = 0,6-1,3$ и

$0,6-1,3$; $al' = 0,4-0,6$ и $0,4-0,8$; $K_{Mg} = 64,7-57,6$ и $64,5-60,6$; $TiO_2/Fe_2O_3 + FeO = 3,9-7,9$ и $7,0-8,0$) и рудообразующих ($Ni/Cr = 0,10-0,6$ и $0,3-0,6$; $S/Ni + Co + Cu = 1,9-15,5$ и $1,5-3,8$) элементов в интрузивных норитах, дайковых норитах и роговообманковом габбро, соответственно; табл. 2).

Редко встречающиеся дайки и апофизы безрудных норитовых тел характеризуются пониженной магнезиальностью ($MgO < 9$ мас. %), повышением кремнекислотности ($SiO_2 \sim 57$ мас. %) и щелочности (до $4,5-5,0$ мас. %) при возрастающей роли калия в сумме щелочей ($Na_2O/K_2O = 21,0-1,2$), увеличением содержаний Al_2O_3 , TiO_2 , $\Sigma FeO + Fe_2O_3$ относительно MgO , что обуславливает повышенные значения величин отношений $Ti/Fe (> 10)$, $Ti/Mg (> 9,4)$, $S/Me (< 1,4$; см. табл. 2, рис. 4).

Таблица 2

Величины отношений некоторых пороодо- и рудообразующих элементов в интрузивных норитах и их дайковых комагматах различных по степени рудоносности норит-диоритовых телах еланского комплекса (по М. Н. Чернышовой, 2002, 2005)

Величины отношений	Типы руд и пород										
	1	2	3	4	5(5)	6(6)	7(3)	8	9(2)	10(13)	11(5)
M/F	3,7–3,8	4,5–6,1	4,0–4,8	3,2–4,4	2,9	3,2	2,4	3,5	1,8	1,9	2,1
Ti/Fe	7,9–7,3	5,3–3,9	4,7–4,1	9,1–12,4	7,1	7,0	7,2	8,0	10,4	8,4	9,7
Ti/Mg	5,0–5,2	2,9–2,8	3,0–3,5	9,4–9,6	6,2	3,8	5,4	7,0	10,4	8,1	7,7
Al/Mg	0,7–1,1	0,6–1,0	0,8–1,3	1,1–2,3	0,6	0,6	1,2	1,3	1,7	1,6	1,5
al'	0,4–0,6	0,4–0,6	0,5–0,6	0,7–0,9	0,38	0,4	0,67	0,7	0,84	0,84	0,77
Na ₂ O/K ₂ O	1,5	1,2–1,6	1,3–1,4	1,2–1,0	1,9	2,4	2,3	1,9	1,1	1,3	1,2
K _{Mg}	60,2–59,6	64,7–58,5	57,6–58,0	57,0–48,4	60,6	64,5	57,1	53,3	49,9	51,3	52,4
K _{Fe}	39,8–40,4	41,7–41,5	42,4–40,0	43,2–51,6	39,4	35,0	42,9	46,6	50,3	48,7	47,6
Kщ	6,3–11,1	8,7–6,0	10,6–9,5	13,0–13,2	5,8	6,4	5,6	9,4	12,5	13,4	12,9
S/Me	1,9–2,4	5,3	15,5	1,4–1,2	1,4	1,7	2,3	3,8	1,2	5,2	4,1
S/Ni	1,4–3,5	3,6–6,8	24,3–6,8	1,7–2,5	2,7	3,6	6,4	7,3	1,7	9,3	7,6
Ni/Cu	3,0–3,1	3,5–7,7	2,3–3,0	~1	2,0	0,9	0,8	1,1	4,0	1,4	1,3
Ni/Co	8,0–12,0	7,0	7,0–9,1	5,0	2,5	15,0	2,1	20,5	8,0	11,0	8,2
Ni/Cr	0,2–0,6	0,10	0,10–0,20	0,2–0,5	–	0,4	0,3	0,6	0,4	0,6	0,6

Примечание: 1–4 — интрузивные нориты: 1 — промышленно-рудоносных интрузий (Еланское, Елкинское месторождения); 2 — рудоносные (Новопокровское, Троицкое рудопроявления); 3 — с неустановленным оруденением (Бороздиновский, Русановский); 4 — безрудных (Некрыловский); 5–13 — дайковые породы: 5 — роговообманковое габбро среди рудоносных интрузий (Еланское месторождение); 6–7 — мелано-мезократовые нориты-апофизы рудоносных интрузий (Еланское месторождение); 8 — нориты среди Елань-Вязовского плутона; 9 — нориты-апофизы Некрыловского интрузива; 10–11 — норит-порфириты среди Еланского и Елкинского месторождений. Анализы 1–4 и 8 по [5], с дополнениями; в скобках количество анализов.

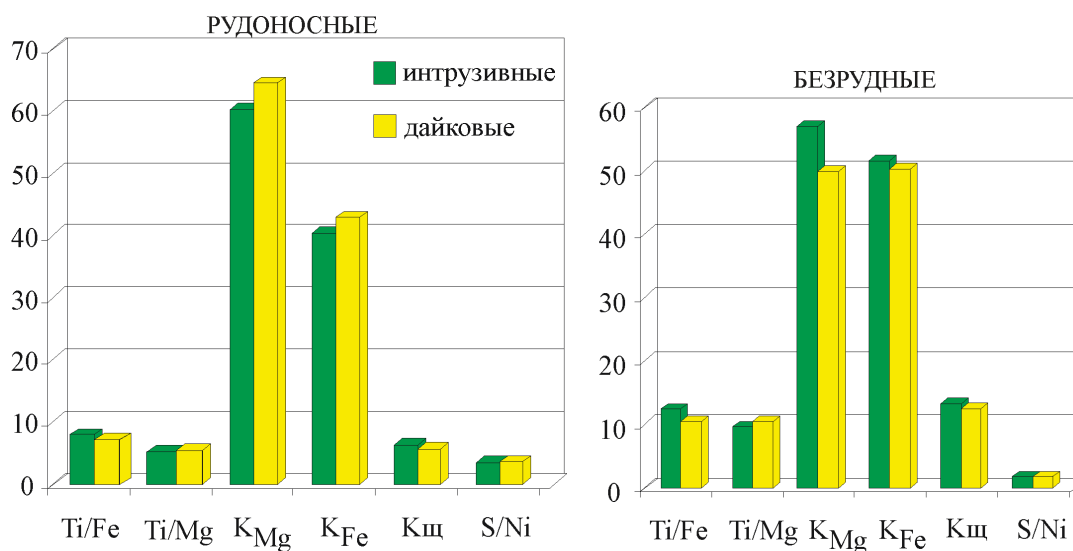


Рис. 4. Величины отношений пороодо- и рудообразующих элементов в интрузивных и дайковых норитах в различных по степени рудоносности норит-диоритовых телах еланского комплекса

Эти различия в характере распределения ряда индикаторных элементов и величин их отношений отчетливо прослеживаются на диаграммах $TiO_2 / MgO \times 100 - (Na_2O + K_2O)$ и $Al_2O_3 / MgO - (Na_2O + K_2O)$, на которых дайковые породы занимают обособленное положение в пределах полей составов норитов рудоносных (Еланское и Елкинское месторождения, ряд рудопроявлений) и безрудных интрузий (рис. 5)

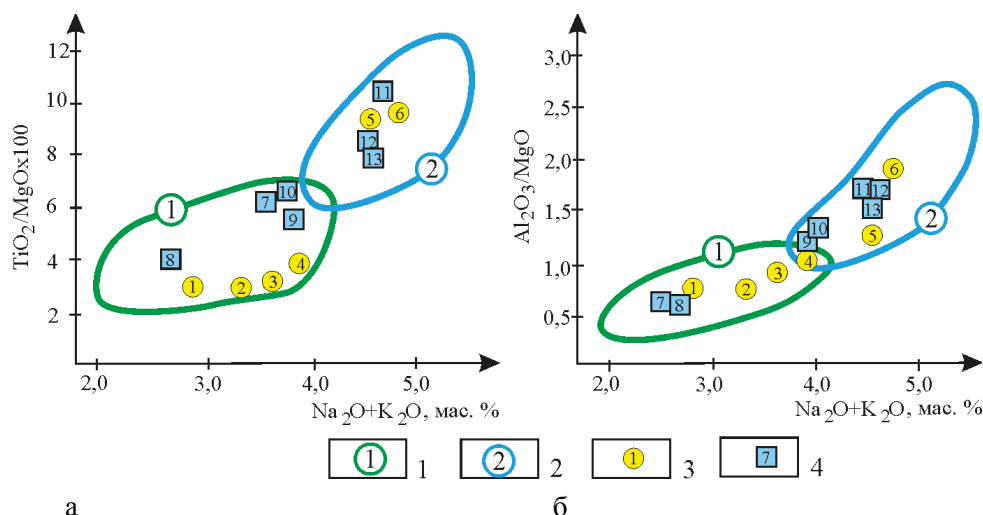


Рис. 5. Положение рудоносных и безрудных норитов и их дайковых комагматов на диаграммах $TiO_2/MgO \times 100 - (Na_2O + K_2O)$ и $Al_2O_3/MgO - (Na_2O + K_2O)$. 1–2 — поля составов рудовмещающих (1) и безрудных (2) норитов Еланского и Елkinского месторождений; 3 — средние составы норитов (1 — Новопокровское и 2 — Троицкое рудопроявления; 3 — Русановский; 4 — Бороздиновский; 5 — Некрыловский; 6 — Романовский интрузивы; 4 — средние составы дайковых пород (7 — роговообманковое габбро среди Еланского месторождения; 8–9 — мелано- (8) и мезократовые (9) нориты-апофизы Еланского месторождения; 10 — нориты среди Елань-Вязовского плутона; 11 — нориты-апофизы Некрыловского интрузива; 12–13 — норит-порфириты Еланского и Елkinского месторождений

Отмеченная особенность в определенной мере характерна и для дайковых диоритов, которые в зависимости от их ассоциации с различными по степени рудоносности норит-диоритовыми интрузивами образуют несколько обособленные поля на диаграммах составов в координатах $FeO/(FeO + MgO) - Al_2O_3$ и $Al_2O_3 - MgO$ (рис. 6).

зивами образуют несколько обособленные поля на диаграммах составов в координатах $FeO/(FeO + MgO) - Al_2O_3$ и $Al_2O_3 - MgO$ (рис. 6).

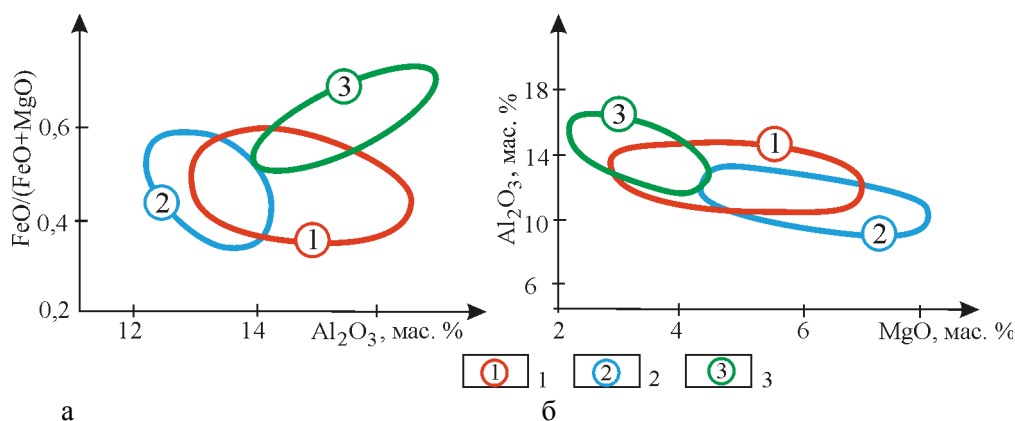


Рис. 6. Положение на диаграммах $FeO/(FeO + MgO) - Al_2O_3$; $MgO - Al_2O_3$ полей составов дайковых диоритов Еланского и Елkinского месторождений (1), Некрыловского интрузива с неустановленным оруденением (2) и Романовского безрудного тела (3)

Одной из самых характерных особенностей сульфидно-платиноидно-никелевой РМС еланского типа является аномально высокое содержание серы и обогащенность ее легким изотопом [1, 2]. При этом неодинаковые по степени никеленосности норит-диоритовые тела заметно различаются по её концентрации и изотопному составу серы. Эту

общую закономерность наследуют дайковые образования. Нориты-апофизы промышленно рудоносных тел характеризуются обычно высокими содержаниями серы (0,2–0,7 %) и значительно обогащены легким изотопом ($-0,2 > \delta^{34}S < -5,6 \text{ ‰}$) по сравнению с норитами безрудных интрузий ($S = 0,01\text{--}0,15 \text{ ‰}$; $\delta^{34}S = -1,2 \text{ ‰}$; [15]). Дайковые

диориты еланского типа в промышленно рудоносных телах также обогащены серой ($0,04 < S < 0,52 \%$), а ее изотопный состав при заметных вариациях ($\delta^{34}S$ от 1,2 до $-5,1 \%$) характеризуется в целом незначительным смещением в сторону отрицательного значения [1, 2, 9].

Существенная роль в оценке потенциальной никеленосности интрузий мамонского и еланского комплексов принадлежит количественным параметрам распределения в породах дайковой фации ряда ведущих (Cr, Ni, Co, Cu, Ti, V) и некоторых сопутствующих оруденению элементов (Mo, Pb, Zn и др.). Анализ их распределения выявил общую, вне зависимости от состава, возраста и формационной принадлежности даек закономерность — значительное (2–4-кратное) обогащение Cr, Ni , отчасти Co, Cu и платиноидами при одновременном снижении роли Ti и V в дайковых образованиях, развитых среди рудоносных интрузий мамонского комплекса, по сравнению с безрудными. Эта особенность проявляется при сравнении по-существу всех однотипных или

близких по составу дайковых пород (рис. 7): а) пироксенитов, ассоциирующих с рудоносными и безрудными интрузивами мамонского типа ($Cr = 837,5$ г/т и $262,5$ г/т, $Ni = 250$ г/т и 65 г/т, $Ti = 800$ г/т и 4100 г/т, соответственно); б) габброидов ($Cr = 200$ г/т и 59 г/т, $Ni = 51$ г/т и 27 г/т, $Ti = 1500$ г/т и 7875 г/т при близких содержаниях Co и Cu); в) габбродиоритов ($Cr = 307$ г/т и 90 г/т, $Ni = 33$ г/т и 21 г/т, $Co = 38$ г/т и 18 г/т, $Cu = 72$ г/т и 38 г/т) и диоритов ($Cr = 210$ г/т и 55 г/т, $Ni = 55$ г/т и 25 г/т, $Ti = 3625$ г/т и 8500 г/т), размещающихся среди никель-платиноносных и безрудных ультрамафитовых (мамонского типа) интрузий, а так же мафитов каменского типа, с которыми генетически связаны эти дайковые породы. Существенные различия в характере распределения ряда ведущих элементов и их отношений прослеживаются и на диаграммах $Cr - (Ni + Co + Cu) - (Ti + V/10)$, на которых, в зависимости от пространственно-временной сопряженности с рудоносными и безрудными интрузивами, породы дайковой фации образуют обособленные поля [13, 15].

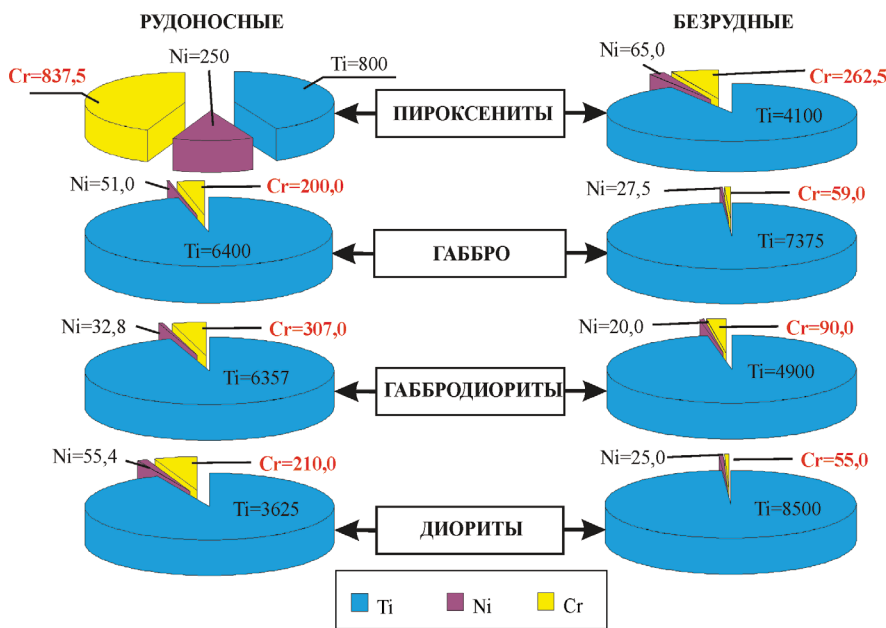


Рис. 7. Распределение рудообразующих элементов (г/т) в дайковых породах рудоносных и безрудных интрузий мамонского комплекса

Ограниченное развитие даек — производных комагматов норитовой фазы среди безрудных интрузий, не позволяет в полной мере выявить геохимические признаки дайковых образований для надежной оценки никель-платиноносности массивов еланского комплекса. Анализ распределения Cr, Ni, Co, Ti, V и других элементов в норитах, роговообманковом габбро, норит-порфиритах,

размещающихся непосредственно в Еланском месторождении и вне его (Елань-Коленовский и Вязовский плутоны), выявляет близкие значения концентрации этих элементов (табл. 3), что определяется, вероятно, общностью магматического очага, продуцирующего рудоносные нориты и их дайковые производные.

Таблица 3

Средние содержания элементов-примесей в дайковых породах, ассоциирующих с еланским никель-платиноносным комплексом, г/т (по М. Н. Чернышовой, 2005)

Породы	n	Cr	Ni	Co	Cu	Ti	V	Mo	Zr	Be	Pb	Zn	Sn	Ga	Yb	Sc	Sr	Ba
1. Ортопироксениты	5	1120	290	26.25	310	2500	132	3.3	18	2.1	10	59	-	16	-	23	440	152
2. Нориты	4	370	235	40	137	3100	63	1.5	90	1.3	10	50	-	10	-	21	240	172
3. — " —	7	462	190	30	96.2	3250	81.2	6	93.7	2.0	22.5	60	-	10	-	6.2	187.5	350
4. — " —	4	350	133	41.2	141.2	1500	121.2	2.2	35.0	1.2	10	70	-	8.7	-	20	425.0	223.7
5. Габбро	2	525	300	52.5	50	2000	60	2	300	1.7	-	50	-	5	-	10	175	27.5
6. Норит-порфириты	4	398.7	85	21	51.5	3000	65	2.7	140.7	2.9	11.7	108.3	-	14.2	-	6	268.8	412.5
7. — " —	4	462.5	157.5	26.2	45	3000	77.5	2.3	120	1.3	1.8	60	-	10	-	17.5	212.5	850
8. Диориты	9	376.2	150.2	17.9	53.9	4051	53.3	4.1	144	3.6	22.3	6.6	-	17.9	1.7	7.5	278	465.6
9. — " —	6	200	62.5	25.5	88.3	5416	110	2.3	150	3.0	8.3	42.5	-	19.1	1.3	18	291.6	442.0
10. Габбродиабазы	5	248	81	39	39	5300	130	2.8	115	3.7	10	65	7	15	-	17	440	450
11. Граниты	5	197	61.2	12.5	64	1420	22	1.4	34	5.4	16	25	5	17	-	3	214	265
12. — " —	4	93.7	47	7.7	30	437.5	42.5	1.0	60	2.5	35	5	-	15	-	2	332.5	900
13. Плагиоклазиты	1	10	80	8	30	100	15	-	80	1	40	-	-	20	-	-	2000	200

Примечание: 1 — ортопироксениты с сульфидной медно-никелевой минерализацией, Центральное рудопоявление; 2—4 — нориты: 2 — ассоциирующие с ортопироксенитами, там же, 3 — Елань-Коленовский интрузив, 4 — Вязовский плутон; 5 — роговообманковые габбро, Вязовский плутон; 6—7 — норит-порфириты: 6 — Еланское месторождение, 7 — Елань-Коленовский интрузив; 8—9 — диориты: 8 — Еланское месторождение, 9 — Елань-Вязовский плутон; 10 — габбродиабазы норит-диоритовых интрузий, Еланское месторождение; 11—12 — граниты бобровского комплекса в пределах Еланского месторождения (11) и Елань-Вязовского плутона (12); 13 — плагиоклазиты Елань-Вязовского плутона

Сопоставление этих данных с норитами Романовского и Некрыловского интрузивов, относимых к безрудным [15], показывает полуторо-двухкратное снижение в них концентраций Cr и суммы Ni, Co, Cu. Заметными различиями в распределении тех же элементов отличаются дайковые диориты еланского (Cr = 376 г/т и 200 г/т, Ni = 150 г/т и 62 г/т, Ti = 4051 г/т и 5416 г/т) и гранитоиды бобровского комплексов (Cr = 197 г/т и 94 г/т, Ni = 61 г/т и 47 г/т, Cu = 64 г/т и 30 г/т), размещающиеся среди никеленосных норит-диоритовых тел и вне их [15].

ВЫВОДЫ

В качестве ведущих вещественных признаков дайковых пород, характеризующих потенциальную никель-платиноносность вмещающих их интрузивов мамонского и еланского комплексов, выступают следующие.

1. Высокая степень насыщенности промышленно рудоносных интрузий мамонского и еланского комплексов разнообразными породами дайковой

фации и общность состава минеральных парагенезисов и слагающих их главных (оливин, пироксены, амфиболы, Mg-Fe слюды, полевые шпаты) породообразующих минералов.

2. Наличие в породах дайковой фации рудоносных интрузий специфической акцессорной минеральной ассоциации, многообразие ее видового состава и многократное обогащение размещающихся среди промышленно рудоносных массивов дайковых пород типичными для сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений мамонского и еланского типов рудными минералами.

3. Однотипный характер распределения, близкие значения величин отношений породо- и рудообразующих элементов и четкое обособление полей составов промышленно-рудоносных и безрудных интрузивно-дайковых породных ассоциаций по ряду петрогенных и рудообразующих компонентов. Комплекс критериев прогнозирования, поисков и оценки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений, базирующийся на ведущих струк-

турно-вещественных, минералого-петрографических, петрогеохимических и рудногеохимических признаках дайковых образований, в совокупности с авторской моделью трансоровой эволюции интрузивно-дайковых систем является методологической и методической основой для прогнозно-минералогических построений и эффективного направления геолого-разведочных работ с целью наращивания ресурсов и запасов стратегически важных металлов в условиях закрытых регионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант р-офи, № 08-05-99003)

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров В. Л. Геохимия и рудоносность ультрамафит-мафитовых формаций Воронежского кристаллического массива : автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук / В. Л. Бочаров. — Киев, 1985. — 56 с.
2. Гриненко Л. Н. Особенности формирования сульфидной никелевой минерализации в норит-диоритовых интрузиях ВКМ / Л. Н. Гриненко, Н. М. Чернышов // Геохимия. — 1988. — № 10. — С. 1421–1428.
3. Египко О. И. Некоторые минералого-петрографические и геохимические особенности докембрийских гранитоидов юго-восточной части Воронежского кристаллического массива : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / О. И. Египко. — Воронеж, 1971. — 23 с.
4. Молотков С. П. Никеленосная габбро-норит-гипербазитовая формация юго-восточного склона Воронежского кристаллического массива : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / С. П. Молотков. — Воронеж, 1974. — 26 с.
5. Переславцев А. В. Петрология норит-диоритовых интрузий докембрия Воронежского кристаллического массива в связи с проблемой их никеленосности : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / А. В. Переславцев. — Воронеж, 1993. — 23 с.
6. Плаксенко А. Н. Типоморфизм акцессорных хромшпинелидов ультрамафит-мафитовых магматических формаций / А. Н. Плаксенко. — Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1989. — 224 с.
7. Фролов С. М. Генетические типы базит-гипербазитовых интрузий мамонского комплекса ВКМ и их взаимоотношения / С. М. Фролов // Вопросы геологии и металлогении докембрия Воронежского кристаллического массива. — Воронеж. — 1976. — С. 61–66.
8. Хунг Ч. К. Ширяевская дифференцированная интрузия среднепротерозойского никеленосного мамонского комплекса : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / Ч. К. Хунг. — Воронеж, 1975. — 20 с.
9. Чернышов Н. М. Золото-платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. — Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. — 448 с.
10. Чернышова М. Н. Дайки никеленосных комплексов Воронежского кристаллического массива (формационно-генетические типы и пространственно-временные соотношения) / М. Н. Чернышова // Вест. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 1996. — № 1. — С. 50–60.
11. Чернышова М. Н. Лампрофиры никеленосных интрузий ВКМ / М. Н. Чернышова // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — Воронеж, 1996. — № 1. — С. 66–79.
12. Чернышова М. Н. О генетической природе жильных титанистороговообманковых пироксенитов никеленосных интрузий мамонского комплекса ВКМ / М. Н. Чернышова // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 1996. — № 2. — С. 42–48.
13. Чернышова М. Н. Состав и особенности распределения акцессорных минералов в дайковых породах, ассоциирующих с различными по степени рудоносности интрузивами мамонского и еланского комплексов ВКМ / М. Н. Чернышова // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 1998. — № 6. — С. 94–106.
14. Чернышова М. Н. Дайки мамонского никеленосного комплекса и их соотношение с оруденением / М. Н. Чернышова. — Воронеж : ВГУ, 1999. — 121 с.
15. Чернышова М. Н. Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений еланского типа и их соотношение с оруденением (Воронежский кристаллический массив) / М. Н. Чернышова. — Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. — 184 с.
16. 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.
17. Чернышова М. Н. Петролого-геохимические и структурно-вещественные критерии прогноза и оценки интрузивно-дайковой системы мамонского типа на сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды / М. Н. Чернышова // Отечественная геология, 2006. — № 4. — С. 25–32.
18. Чернышова М. Н. Критерии прогнозирования и оценка сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения на основе модели эволюции интрузивно-дайковой системы мамонского типа (на примере Подколдновского рудного района ВКМ) / М. Н. Чернышова, С. П. Молотков // Вестн. Воронеж. ун-та. — Сер.: Геология. — 2006. — № 1. — С. 75–86.
19. Чернышова М. Н. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые и никель-кобальтовые руды в дайково-жильных комплексах и метасоматитах Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова // Литосфера, 2006. — № 3.
20. Чернышова М. Н. Модель трансоровой эволюции интрузивно-дайковой рудномагматической системы над локальными плюмами при формировании сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений ВКМ (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова // Международная конференция «Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения». — Воронеж, сентябрь 2006. — С. 40–44.