

УДК 553.411:553.491.8:549.21(470.32)

## ПРИРОДА УГЛЕРОДА И РУДНОГО ВЕЩЕСТВА ЗОЛОТО-ПЛАТИНОМЕТАЛЬНЫХ РУДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ ВКМ

Н.М.Чернышов

*Воронежский государственный университет*

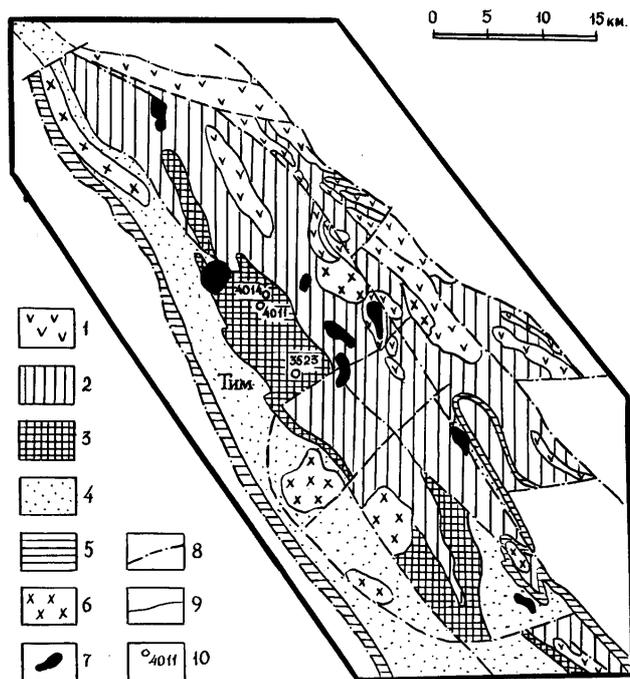
На основе исследований закономерностей размещения оруденения, состава пород и руд, изотопно-геохимических данных делается вывод о полигенной природе углерода, серы, золота и ЭПГ в полихронных золото-платинометальных рудообразующих системах черносланцевых стратифицированных образований ВКМ.

Проблема золото- и платиноносности высокоуглеродистых стратифицированных комплексов непосредственно связана с природой углерода и рудного вещества и происхождением самих черных сланцев, которые имеют глобальный характер, образуются в различных геодинамических обстановках, неоднократно повторяются во времени и прослеживаются с глубокого докембрия на различных этапах формирования коры континентального типа.

В настоящее время наряду с общепринятыми представлениями о металлоносных черносланцевых формациях как сугубо экзогенных образованиях рядом исследователей приводятся многочисленные аргументы об их эндогенной природе, подчеркивается пространственно-временная сопряженность с глубинными (мантийного уровня заложения) разломами, структурами рифтогенного типа, с проявлениями вулканизма. Исходя из данных об общем глобальном распространении и приуроченности к определенным возрастным рубежам, высказывается предположение [1] о связи образований черносланцевых формаций с периодами усиления дегазации жидкого ядра Земли, сопровождаемой генерацией восходящих водородных флюидов, в которых возникают углеводородные соединения ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) за счет свободного углерода и карбидов, содержащихся в мантии. При поступлении флюидов в морские бассейны развиваются реакции диспропорционирования, ведущие к обогащению осадочных образований свободным углеродом по схеме:  $\text{CH}_4 + 2\text{CO} = 3\text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4 + \text{CO} = 2\text{C} + \text{H}_2\text{O}$ . В условиях многократного проявления магматизма, сопровождавшие его сложные по составу ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{F}_2$ , углеводороды ряда  $\text{C}_n\text{H}_m$  и др.) обогащенные металлами флюиды являлись не только одним из источников углеродистого вещества, стимулирующим биологическую активность палеобассейна и процессы преобразования органического вещества. Обогащаясь продуктами разложения органики (прежде всего углеводородами), флюиды могли играть существенную роль в переносе и концентрировании рудных компонентов в виде летучих

элементоорганических соединений [2], за счет которых в длительно формирующейся рудообразующей системе происходило образование разнообразных минеральных фаз.

Полигенная природа источников углеродистого и рудного вещества подтверждается выполненными исследованиями золото-платинометального оруденения, ассоциирующихся с углеродистыми стратифицированными комплексами раннего докембрия Воронежского кристаллического массива (ВКМ). При исключительно широком развитии в его пределах разновозрастных ( $\text{AR}_1$ - $\text{PR}_1$ ) высокоуглеродистых отложений, сформировавшихся в различных геодинамических режимах, наиболее высокими содержаниями благородных металлов характеризуются вулканогенно-осадочные образования раннепротерозойских подвижных поясов, представляющих собой сложные интеркратонные складчатые структуры (грабен-синклинали, надразломные впадины и др.). Пространственно они обычно сопряжены с реактивизированными позднеархейскими коматититсодержащими зеленокаменными поясами. Особенности таких, рифтогенных по своей природе структур, к числу которых относится прежде всего Тим-Ястребовская (рис.1), являются [3-6]: а) полицикличность и многостадийность развития с преобладанием на ранних стадиях терригенно-осадочных (в том числе мощных железорудных) отложений (курская серия) и возрастающей ролью углеродистых вулканогенных и вулканогенно-осадочных металлоносных образований (оскольская серия) на поздних стадиях их формирования; б) широкое развитие дифференцированных пикрит-толеит-базальт-трахибазальт-трахиандезитовых и бимодальных базальт-триацитовых вулканических ассоциаций, сопровождающихся субвулканическими телами, интрузивными и дайковыми образованиями; в) преимущественно низкоградиентный тип метаморфизма в условиях зеленосланцевой и реже эпидот-амфиболитовой фаций; г) обогащенность черносланцевых толщ сульфидами и сульфоарсенидами, специфическая ассоциация сопутствующих золото-пла-



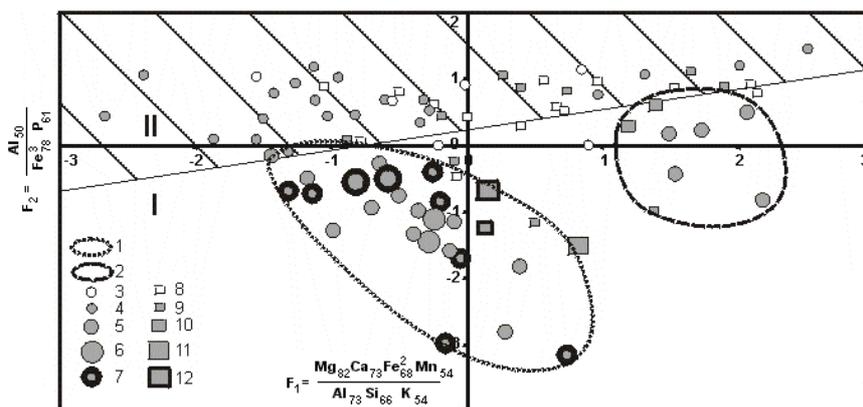
**Рис. 1. Схематическая геологическая карта золото-платиноносной Тим-Ястребовской структуры:** породы 1-5-оскольской (1-4) и курской (5) серий: 1-4-стратифицированные образования: 1-метаэффузивы основного и ультраосновного состава, 2-метаэффузивы кислого и среднего состава в переслаивании с метаосадочными породами, 3-сланцы углеродисто-кварцевые, сульфидизированные золото-платиносодержащие; 4- доломиты, мрамора, амфибол-карбонатные породы, биотит-полевошпатовые сланцы; 5-железистые кварциты, биотит-кварцевые сланцы курской железорудной серии; 6-7-раннепротерозойские интрузивные образования стойло-никалаевского комплекса (6-гранодиориты, кварцевые диориты, 7-габбро, габбродиориты, субвулканические диабазовые порфириты); 8-разрывные нарушения; 9-геологические границы; 10- скважины и их номера.

тинометалльному оруденению элементов - Ag, Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Mn, Cr, Sb, As, Se, Te, Bi, U, V, Ti, P, Ba, В, редкие земли. Неоднократная повторяемость в стратиграфическом разрезе высокоуглеродистых осадочных и вулканогенно-осадочных пород определяет многоуровневый (до 5-7 горизонтов) характер размещения золото-платинометалльного оруденения, которое отличается многокомпонентным, полиминеральным (60 рудных минералов) составом, многообразием форм концентрирования благородных металлов (18 собственных минеральных фаз ЭПГ и Au, высокие - от 100 до 3300 г/т концентрации платиноидов и золота в сульфидах и углеродистом веществе), существенными вариациями изотопного состава серы ( $\delta^{34}\text{S}$  от  $0,2 \div 30,64\%$  до  $-0,72 \div -7,92\%$ ), углерода ( $-23,16 \div -34,54\%$ ) и кислорода (от  $-1,98 \div 2,65\%$  до  $8,99 \div 16,67\%$ ).

Тесная пространственно-временная ассоциация благородных металлов с вулканогенными и вулканогенно-осадочными углеродистыми образованиями; преимущественное (10-20-ти кратное по сравнению с содержанием в исходной породе) накопление благородных металлов в наиболее тонкой (<0,06 мм) сульфидно-углеродистой фракции; специфический состав рудных минеральных парагенезисов; отчетливая взаимосвязь ЭПГ и Au с углеро-

дом, S, As, Sb, Se, Te, Bi и широким комплексом сопутствующих металлов (Cu, Ni, Co, Mo, Zn, Pb, Mn, V, Ti, Cr, Ag, P, Sn, редкими землями) и ряд других геолого-геохимических признаков свидетельствуют о формировании золото-платиносодержащей рудообразующей системы при сопряженной деятельности двух различных по генетической природе источников углеродистого и рудного вещества: а) экзогенных (осадочно-хемогенных) в условиях активной биологической деятельности палеобассейна; б) флюидно-магматогенных, связанных с длительным функционированием мантийных и мантийно-коровых очаговых зон и многоактным проявлением вулкано-интрузивного магматизма с нарастающей щелочностью и флюидонасыщенностью [3,4].

Вывод о вкладе экзогенного источника благородных металлов, С, S и ряда малых элементов при формировании комплексного золото-платинометалльного оруденения подтверждается: а) характерным для седиментогенеза современных океанических и морских бассейнов [7] совместным накоплением рудообразующей элементной ассоциации в наиболее тонкозернистой (пелитовой) фракции; б) наличием в составе тонкодисперсного (седиментационного) углеродистого вещества черносланцевого комплекса битуминоидов с преобладающими алифа-



**Рис.2.** Характер распределения различных по фацальной принадлежности, химическому составу и степени продуктивности на благородные металлы пород Тим-Ястребовской структуры на факторной диаграмме (проекция выборки на плоскость первых двух главных компонент). I - поле пород тимской свиты, перспективных на платиноиды и золото, II - поле бесперспективных пород тимской свиты; 1 - рудовмещающие породы с золоторудным типом оруденения, 2 - рудовмещающие породы с золото-платинометальным типом оруденения. Кружки -углеродистые породы с содержанием золота: менее 0.01г/т (3), 0.01-0.02г/т (4), 0.02-0.05г/т (5), 0.05-0.5г/т (6), более 0.5г/т (6); с содержанием платиноидов более 0.01г/т (7). Квадраты – сопутствующие черным сланцам метавулканогенные породы с содержанием золота: менее 0.01г/т (8), 0.01-0.02г/т (9), 0.02-0.05г/т (10), 0.05-0.5г/т (11); с содержанием платиноидов более 0.01г/т (12).

тически (и в меньшей мере алициклическими) группировками гуминовых кислот [8], которые обладают наиболее высокой аккумулярующей способностью Au, ЭПГ и ряда сопутствующих (Co, Cu, Ni и др.) элементов и одновременно характеризуют сапропелитовую природу органического вещества и его накопление в условиях восстановительной среды с сероводородным брожением; в) заметной обогащенностью рудоносных черных сланцев легким изотопом углерода ( $\delta^{13}\text{C} = -26,6 \div -31,3\text{‰}$ ); г) высокими концентрациями благородных металлов в сульфидно-углеродистой составляющей черных сланцев, свидетельствующие о значительной вероятности их нахождения как в примесной форме, так и возможно в виде малоисследованных металлоорганических соединений (металлоцен) типа карбониллов -  $\text{Ru}(\text{CO})_5$ ;  $\text{Rh}(\text{CO})_8$ ;  $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ ;  $\text{Ir}_2(\text{CO})_8$  и т.п. [2], которые на последующих стадиях в условиях термической диссоциации (по схеме  $\text{M}_x(\text{CO})_y \rightarrow x\text{M} + y\text{CO}$ ) переходят в самородные элементы, а при разложении в газовой (сероводородной) фазе - в разнообразные по составу минералы ЭПГ и Au.

Вместе с тем установлен ряд признаков, свидетельствующих о существенной роли при формировании золото—платинометальной рудообразующей среды глубинного флюидно-магматогенного источника рудообразующих элементов и углерода. Этот вывод подтверждается: а) длительностью функционирования в золото-платиноносных рифтогенных структурах ВКМ разноглубинных очаговых зон, сопровождавшихся проявлением вулканоинтрузивного магматизма с неоднократным поступлением высокомагнезиальных магм с повышенным содержанием щелочей и флюидов, являющихся источником цветных и благородных металлов и сложных эндогенных углеродистых соединений ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{10}$  и др.), которые при поступлении в зоны осадконакопления могут окисляться с выделением

углерода ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ ) и формировать особый тип золото-платиноносных черносланцевых формаций [1]; б) наличием повышенных концентраций Pt и Pd (0,18-0,78 г/т), Au (0,2-1,8 г/т) и углеродистого вещества в различных по составу (пикробазальты, риодациты и др.) и водо-флюидонасыщенности разнофацальных (вулканических, субвулканических, интрузивно-дайкиовых) магматических породах; в) появлением наиболее высоких концентраций ЭПГ и Au в черных сланцах, которые обнаруживают наиболее тесную пространственно-временную ассоциацию с обогащенными благородными металлами вулканитами (рис.2); г) отчетливо выраженным базальтоидным типом распределения ЭПГ ( $\text{Pd} > \text{Pt} > \text{Rh} > \text{Ru} > \text{Ir} (?) > \text{Os} (?)$ ).

По результатам экспериментальных исследований и термодинамическим расчетам углеводороды являются важнейшими составляющими мантийных флюидов, принимающих участие в процессах селективного плавления мантии и глубинном массопереносе [9]. Существование мантийных (трансмагматических) восстановленных флюидов с преобладающей ролью в их составе газовых компонентов системы C-O-H-N и обогащением Cu, Zn, Ni, Co, Mn, Ti, V и другими элементами подтверждается многочисленными данными по составу включений в алмазе, пиропе и оливине кимберлитов, по совместному нахождению графита с самородными металлами и сульфидами в различных по составу вулканоинтрузивных комплексах, пегматитах, продуктах вулканических эксгаляций. Важным индикатором восстановительных условий раннедокембрийской золото-платинометальной высокоуглеродистой рудообразующей системы ВКМ является наличие в минеральном парагенезисе ассоциирующего с палладием станида палладия ( $\text{PdSn}_2$ ), который согласно экспериментальным данным [10] стабилен при температуре 350°C в условиях очень сильной вос-

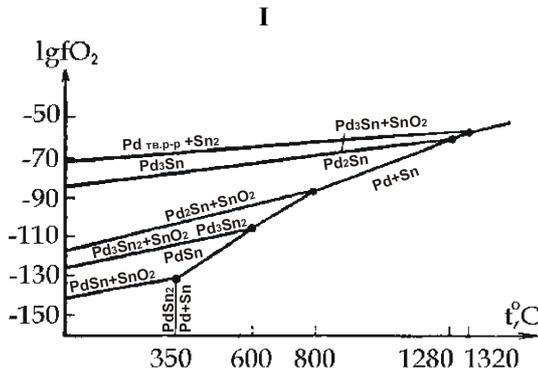


Рис. 3. Положение станида палладия (PdSn<sub>2</sub>) и самородного палладия на топологической схеме системы Pd-Sn-O (I) и диаграмме парагенезисов (II) интерметаллидов Pd и Sn с касситеритом и Pd тв.р.р. (по [10]).

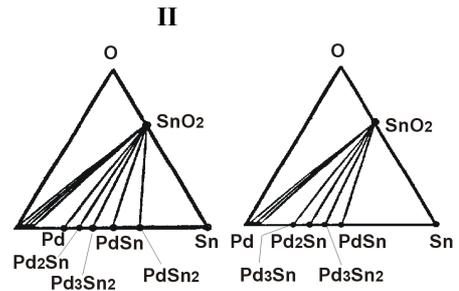


Рис. 4. Модель хондрит-нормализованного распределения МПГ в углеродистых сланцах разнотипных геодинамических обстановок (по [11], с дополнениями): 1-2-рифтовые кембрийские металлоносные (1) и безрудные (2) черные сланцы Южного Китая; 3-рифтовые девонские металлоносные черные сланцы Юкон, Канада; 4-5-металлоносные (4) и нормальные безрудные (2) черные сланцы протерозойских рифтовых структур с проявлениями вулканизма (Богемский массив, Чехия); 6- типичные сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды Садбери, Канада; 7- золото-платинометалльные черные сланцы нижнетимской подсвиты (оскольская серия) Воронежского кристаллического массива (авторские данные).

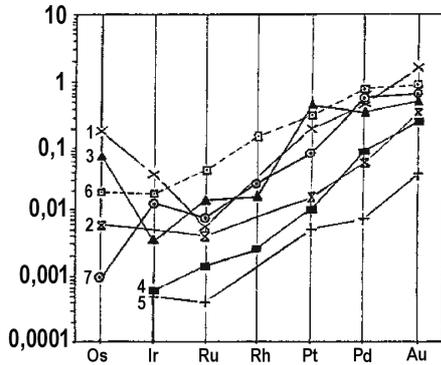


Таблица  
Распределение ЭПГ, Au и сопутствующих элементов в черносланцевых комплексах разнотипных рифтовых структур (по [11], с дополнениями)

Элементы	1 n=10	2 n=8	3 n=9	4 n=5
Pd	46.00	214.0	252 (184)	320.0 (2610.0)
Pt	12.00	410.0	201 (295)	90.0 (442.0)
Pd/Pt	3.83	0.52	1.25 (1.19)	3.55 (5.90)
Os	н.о.	37.00	99 (118)	5.00 (10.0)
Ir	0.30	1.90	20 (1.70)	6.60 (17.2)
Ru	0.97	<30.0	3.8	4.00 (19.2)
Rh	0.50	9.80	н.о.	5.40 (37.6)
Re	н.о.	25875.0	н.о.	н.о.
Au	41.40	85.8	238 (334)	78.0 (274)
Ni	654.90	55375.0	34489 (26000)	294.8
Cu	523.30	318.8	1000.0	449.8
Ni/Cu	1.25	173.6	34.4	0.63
Zn	2259.0	7325.0	н.о.	1496.0
Mo	109.4	2208.0	33598 (39000)	12.1
As	252.0	3146.0	н.о.	24.0
Pb	26.0	82.10	н.о.	52.3
Se	н.о.	1614.0	951.1	н.о.
Co	29.10	264.0	н.о.	49.2
Cr	667.20	160.0	н.о.	133.1

Примечания: 1-4 - металлоносные черные сланцы Богемского массива, Чехия (1); Юкона, Канада (2); Южного Китая (3) и ВКМ (4). По материалам [14,12,13] с дополнением [15] и автора. В скобках приведены уточненные данные по Ю.Китаю (анализ 3) и содержание ЭПГ, Au и сопутствующих элементов в тонкозернистой (<0,06 мм) фракции черных сланцев Тим-Ястребовской структуры КМА [3]. Средние арифметические значения для ЭПГ и Au даны в мг/т (ррб), для других элементов в г/т (ррт); н.о. - элемент не определялся.

становительной среды (fO<sub>2</sub> порядка 10<sup>-130</sup>-10<sup>-160</sup> атм.; рис.3).

Полигенная природа источников вещества высокоуглеродистой золото-платиносодержащей рудообразующей системы ВКМ в известной мере выявляется при сравнительном анализе содержаний и особенностей распределения ЭПГ, Au и сопутствующих им элементов в черносланцевом комплексе с металлоносными черными сланцами, сформировавшимися в различных геодинамических обстановках (рис.4, таблица). По содержанию Pd, Pt, Mo, величинам отношений Pd/Pt, Ni/Cu, рудоносные углеродистые породы ВКМ выявляют признаки сходства с одной стороны - с металлоносными черными сланцами протерозойских рифтов (с широким развитием основного вулканизма) Финляндии и Богемского массива (высокая величина Pd/Pt и низкая - Ni/Cu отношений при пониженных в целом содержаниях Ni и Cu, Mo, базальтоидный тип распределения ЭПГ - Pd>Pt>Ru>Rh>Os; [11]), а с другой - с нижнекембрийскими и девонскими Мо-Ni-Zn-Au-платиносодержащими черными сланцами Канады и Китая (повышенные содержания Pd и Pt, отчасти Ir, Ru, Rh, пониженные - Cr, Zn; [12,13], сформировавшихся в структурах, лишенных проявлений магматизма [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования Российской Федерации по фундаментальным исследованиям в области естественных наук (проект Е00-9.0-23), грант РФФИ «Черноземье» №98-05-03-491, гранта «Университеты России».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маракушев А.А. Происхождение месторождений платиновых металлов и их экспериментальное моделирование // Платина России. -М., 1995. -С. 49-63.
2. Булаева Е.Ю., Новгородова М.И. Элементоорганические соединения в проблеме миграции рудного вещества // -М., 1989. -152 с.
3. Чернышов Н.М. Новый тип золото-платинометалльного оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ (закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и геолого-генетическая модель формирования) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1996. -№1.-С. 114-132.
4. Chernyshov N.M. New type of platino-metalline mineralization in highly carbonaceous stratified Precambrian complexes in Central Russia // International Platinum. - Theophrastus publications. -St. - Petersburg, 1998. -P. 199-205.
5. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометалльные месторождения России. - СПб., 2000. -755 с.
6. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чередникова О.И. Металлогения платиноидов крупных регионов России. -М., 2001.-302 с.
7. Пашкова Е.А. Осаждение золота и сопутствующих микроэлементов в морских илах под влиянием органического вещества: Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. -М., 1994. -22 с.
8. Созинов Н.А., Чистякова Н.Н., Казанцев В.А. Металлоносные черные сланцы Курской магнитной аномалии. -М., 1988. -149 с.
9. Попивняк И.В., Демин Б.Г., Левицкий В.В. и др. Новые данные о летучих компонентах мантийных минералообразующих сред // Докл. АН СССР. -1980. -Т. 254, № 5. -С. 1238-1241.
10. Евстигнеева Т.Л., Некрасов И.Я., Белоусов Г.Г. Условия синтеза фаз и минеральные равновесия в системе Pd-Sn-HCl при 300-400°C и P<sub>H2O</sub> = 1 кбар // Проблемы физико-химической петрологии. -М., 1979. -С. 244-258.
11. Loukola-Ruskeeniemi K., Pasava J., Chernyshov N. Important controls on the origin Proterozoic PGE-metalrich black shales // 4th biennial SGA Meeting. August 11-13. 1997. Turku Finland. -P.11-14.
12. Hulbert L.J., Gregoire C.D. and Paktunc D. Sedimentary nickel, zinc and platinum-group-element mineralization in Devonian black shales at the Nick property, Yukon, Canada: A new deposit type // Explor. Min. Geol. -1992. -V. 1. -P. 39-62.
13. Fan D. Polyelements in the Lower Cambrian black shale series in southern China // The Significance of Trace Metals in Solving Petrogenetic Problems and Controversies. Theophrastus Publications. -S.A. Athens. -1983. -P. 447-474.
14. Pasava J., Sulovsky P., Kovalova M. Geochemistry and mineralogy of proterozoic metal-rich black shales from the Bohemian massif, Czech Republic, with a description of possible new molybdenum selenide and telluride phases // The Canadian Mineralogist. -1993. -V. 31. -P. 745-754.
15. Coveney R.M., Murowchik J.B., Grauch R.I., Chen N et al. Field relations, origins and resource implications for platinumiferous molybdenum-nickels ores in black shales of south China // Explor. Min. Geol. -1992. -V.1. -P. 21-28.

УДК 550.838:519.2 (470.2)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ТИПОВ ГАББРОНОРИТОВ ФЕДОРОВО-ПАНСКОГО МАССИВА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МАГНИТНОЙ ДАКТИЛОСКОПИИ

П.В.Припачкин, К.О.Дудкин

*Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты*

Установленная предыдущими исследованиями пространственная связь структурных типов габброноритов монотонных толщ Федорово-Панского массива (Кольский п-ов) с магнитными аномалиями проверялась с помощью метода магнитной дактилоскопии. В результате исследования магнитных свойств конкретных образцов, принадлежащих к разным структурным типам, на новом уровне были подтверждены более ранние наблюдения. Тем не менее, природа корреляции структуры и магнитных свойств габброноритов требует дальнейшего изучения.

Федорово-Панский расслоенный массив (ФПМ) (рис.1) расположен в центральной части Кольского полуострова, контактируя на севере с породами комплекса основания (гранито-гнейсы архея) и щелочными гранитами, а на юге – с осадочно-вулканогенными породами свиты Имандра-Варзуга. В массиве выделяются три крупных блока: Федоровотундровский, Западно-Панский, Восточно-

Панский. Западно-Панский блок наиболее хорошо изучен, т.к. именно в нем локализованы расслоенные горизонты с малосульфидным платинометалльным оруденением. Основной объем разреза этого блока составляют габбронориты, за исключением маломощных прослоев норитов, тел магнетитовых габбро и собственно расслоенных горизонтов (лейкогаббро-анортозиты, плагиопироксениты, трокто-