

МИНЕРАГЕНИЯ ДОКЕМБРИЙСКИХ УЛЬТРАОСНОВНЫХ-ОСНОВНЫХ ВУЛКАНО-ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОРЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ТИПА ВКМ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ)

Статья 1. Минерагения высокомагнезиальных вулcano-интрузивных комплексов раннеархейского геодинамического цикла формирования коры континентального типа ВКМ

Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова, М. В. Рыборак, Е. М. Боброва

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 3 сентября 2015 г.

Аннотация: приводится цикл статей, раскрывающих эволюцию высокомагнезиальных образований различных геодинамических режимов докембрия ВКМ в связи с их рудонесущей ролью.

Первые две статьи посвящены составу и минерагении высокомагнезиальных вулcano-интрузивных образований ранне- и позднеархейского геодинамических циклов мегаблока КМА.

В первой статье установлено положение вулcano-интрузивных ультраосновных-основных породных ассоциаций в раннеархейских структурно-вещественных комплексах (СВК) и связанных с ними разнообразных по составу (цветные, благородные и другие металлы) и в целом малоперспективных рудно-магматических системах (РМС). Приведены типовые минералогическо-петрографические, петрохимические и рудно-геохимические признаки вулcano-интрузивных ультраосновных-основных породных ассоциаций, которые определяются близкой к примитивной мантийной по своей природе магматических очагов на нуклеократонном геодинамическом режиме раннеархейского этапа формирования докембрийской коры континентального типа Воронежского кристаллического массива (ВКМ).

Ключевые слова: геодинамика, вулcano-интрузивные комплексы, ультраосновные-основные породные ассоциации, рудообразующие системы, цветные и благородные металлы, Воронежский кристаллический массив, Центральная Россия.

MINERAGENCY OF THE PRECAMBRIAN ULTRABASIC-BASIC VOLCANO-INTRUSIVE COMPLEXES OF THE VARIOUS GEODYNAMIC REGIMES OF FORMATION OF THE CONTINENTAL CRUST OF THE VCM (CENTRAL RUSSIA)

ARTICLE 1. MINERAGENCY OF THE HIGH-MAGNESIUM VOLCANO-INTRUSIVE COMPLEXES OF THE EARLY AND LATE ARCHEAN GEODYNAMIC CYCLE OF FORMATION OF THE CONTINENTAL CRUST OF THE VCM

ABSTRACT PRESENT THE CYCLE OF ARTICLES, EXPLAINING THE EVOLUTION OF HIGH-MAGNESIUM FORMATIONS OF VARIOUS GEODYNAMIC REGIMES OF THE PRECAMBRIAN OF THE VCM MEGABLOCK BECAUSE OF THEIR ORIGIN AND ROLE.

FIRST TWO ARTICLES ARE DEDICATED TO COMPOSITION AND MINERAGENCY OF THE HIGH-MAGNESIUM INTRUSIVE FORMATIONS OF THE EARLY AND LATE ARCHEAN GEODYNAMIC CYCLES OF THE KMA MEGABLOCK.

IN THE FIRST ARTICLE THE POSITION OF VOLCANO-INTRUSIVE ULTRABASIC-BASIC ROCK ASSOCIATIONS IN THE EARLY AND LATE ARCHEAN STRUCTURAL-MATERIAL COMPLEXES (SMC) AND ASSOCIATED WITH THEM DIFFERENT IN COMPOSITION (COLORED, PRECIOUS AND OTHER METALS), AND, IN GENERAL, UNPROMISING ORE-MAGMATIC SYSTEMS (ORIGINS) ARE ESTABLISHED.

TYPICAL MINERALOGICAL AND PETROGRAPHIC, PETROCHEMICAL AND ORE-GEOCHEMICAL FEATURES OF VOLCANO-INTRUSIVE ULTRABASIC-BASIC ROCK ASSOCIATIONS THAT ARE DETERMINED CLOSE TO PRIMITIVE MANTLE Magma CHAMBERS ON NUCLEOKRATON GEODYNAMIC REGIME IN THE EARLY ARCHEAN STAGE OF THE PRECAMBRIAN CONTINENTAL CRUST OF THE VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF (VCM) ARE GIVEN.

KEYWORDS GEODYNAMICS, VOLCANO-INTRUSIVE COMPLEX, ULTRABASIC-BASIC ROCK ASSOCIATIONS, ORE-FORMING SYSTEMS, NON-FERROUS AND PRECIOUS METALS, VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF, CENTRAL RUSSIA.

1. Основные черты тектоники, стратиграфии и магматизма ВКМ и его положение в общей структуре ВЕП

Воронежский кристаллический массив (ВКМ) – крупный (540x1000 км) сегмент Восточно-Европейской платформы (ВЕП), включающий ряд разнотипных по геодинамическим режимам геоблоков, в том числе – ранне- и позднеархейские зеленокаменные пояса – ЗП, специфические структуры палеопротерозоя с различными сценариями развития Хопёрского и Курского мегаблоков и разделяющей их Лосевской шовной зоной (ЛШЗ) со сложным характером взаимодействия двух важнейших компонентов древнего основания ВЕП (Сарматия, Волго-Уралья; рис. 1, 2). ВКМ характеризуется высоким нераскрытым минералогическим потенциалом природных источников цветных, благородных и других металлов.

Курский (КМА) мегаблок (500x550 км) строго автономен и по своим петрофизическим характеристикам относится к категории «легких» и «высокомагнитных» структур со значительной мощностью земной коры. Он включает ряд макроблоков 2-го ранга: Брянский (наиболее глубоко эродированный [3, 4–11]) и Красногорско-Рославльский (ранее относимых к самостоятельным структурам), Курско-Бесединский и Ливенско-Ефремовский. Характерной особенностью мегаблока КМА является дифференцированный метаморфизм (от зеленосланцевой до гранулитовой фации) и широкое развитие раннекарельских рифтогенных структур 3-го ранга (Михайловская, Тим-Ястребовская, Белгородская и др.), отличающихся специфическим набором формаций и наследующих структурный план Белгородско-Михайловского (Льговско-Ракитнянского) и Орловско-Тимского позднеархейских зеленокаменных поясов с четко выраженными положительными аномалиями силы тяжести и высокоинтенсивными полосовидными положительными магнитными аномалиями.



Рис. 1. а) три кристаллических сегмента Восточно-Европейского кратона [1]; б) кристаллические домены Сарматии [1, 2]. Воронежский кристаллический массив (ВКМ) выделен темным цветом.

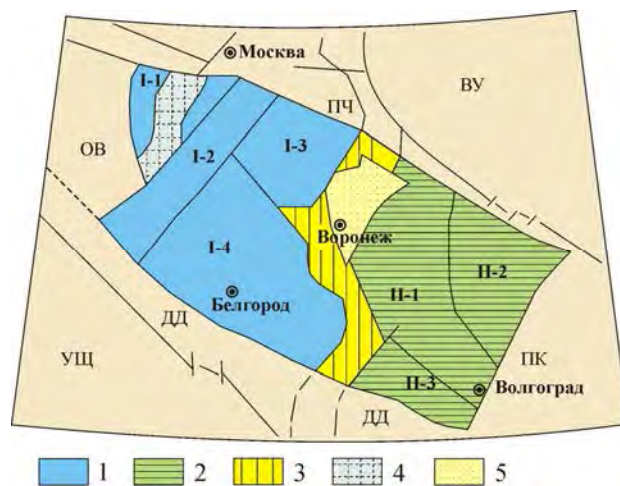


Рис. 2. Схема структурно-формационного районирования ВКМ [3]: ВУ – Волго-Уральский сегмент, ПЧ – Пачелмский авлакоген, ПК – Прикаспийская впадина, ДД – Днепро-Донецкий авлакоген, УЩ – Украинский щит, ОВ – Оршанская впадина. 1- мегаблок КМА (макроблоки: I-1 – Красногорско-Рославльский, I-2 – Брянский, I-3 – Ливенско-Ефремовский, I-4 – Курско-Белгородский), 2 – Хоперский мегаблок (макроблоки: П-1 – Калач-Эртильский, П-2 – Камышинский, П-3 – Варваринский), 3 – Лосевская шовная зона, 4 – Волыньско-Двинский вулканоплутонический пояс, 5 – Ольховско-Шукавская грабенинклинальная структура.

Хоперский мегаблок (375 x 475 км) относится к категории «тяжелых» структур. По сравнению с мегаблоком КМА он является более плотным, менее магнитным, и включает Камышинский, Варваринский и Калач-Эртильский макроблоки 2-го ранга (см рис. 1), в пределах которого сосредоточены известные платиноидно-медно-никелевые месторождения [3–5, 12–15]. В геофизических полях Хоперский мегаблок выделяется региональным проявлением 2-х структурно-вещественных комплексов: а) архейского (в контурах Камышенского и Варваринского макроблоков), имеющего более высокий (гранулитовая фация?) и однородный метаморфизм и ограниченное развитие высокомагнитных образований (типа Тамбовско-Чернышевского зеленокаменного пояса); б) нижнека-

рельского (в контурах Камышенского и Варваринского макроблоков), имеющего более высокий (гранулитовая фация?) и однородный метаморфизм и ограниченное развитие высокомагнитных образований (типа Тамбовско-Чернышевского зеленокаменного пояса); б) нижнека-

рельского (в пределах Калач-Эртильского макроблока), сложенного интенсивно складчатыми ритмично-слоистыми метаморфизованными (от зеленосланцевой до эпидот-амфиболовой фации) флишсоидными образованиями.

Каждая из выделенных структур первого порядка, включающая, в свою очередь, ряд разновозрастных и разноранговых рифтогенных по своей природе поясов, эпикратонных впадин и разнообразных элементов тектоно-магматической активизации, характеризуется присущими им структурно-вещественными комплексами – СВК (табл. 1) с разнотипными магматическими и рудными формациями [3, 4, 5, 8], отражающими последовательную смену геодинамических и эндогенных режимов формирования сравнительно мощной слоисто-блоковой коры континентального типа.

Пространственно и генетически связанные с разновозрастными и разнотипными породными ассоциациями различные по составу месторождения и рудопроявления в совокупности образуют специфические рудообразующие системы (РС) – целостные природные сообщества рудных формаций, являющихся производными единых неоднократно повторяющихся во времени и пространстве петрорудно-геохимических процессов. Вместе с тем, совместно с другими типами рудообразующих систем они являются, по-существу, лишь составными частями определенных структурно-вещественных комплексов, объединяющих сопряженные во времени и пространстве стратифицированные метаморфические, вулкано-интрузивные и интрузивные породные ассоциации, которые в совокупности наиболее полно отражают специфику геодинамических и эндогенных режимов длительного (более 3 млрд лет) формирования коры континентального типа ВКМ [3, 13, 14, 16, 17].

Связь оруденения с различными по составу и формационной принадлежности рудообразующими и рудоконтролирующими СВК, сформировавшимися в геодинамических режимах наиболее интенсивной эндогенной активности и структурной дифференциации земной коры, обуславливают в совокупности многообразие формационно-генетических типов месторождений и рудопроявлений ВКМ, поливариантный характер распределения количественных содержаний цветных, благородных и других металлов и соотношений их ассоциаций с сидерофильными и халькофильными элементами [16]. Эти же факторы, контролирующие закономерности размещения и термодинамическую обстановку рудообразующих систем, определяют их минералого-геохимический облик, масштабы и степень продуктивности [3, 12, 16, 18].

Подобно другим докембрийским структурам Земли [3, 16, 19, 20] наиболее характерной особенностью минерации ВКМ является тесная пространственно-временная связь, возрастание спектра рудных формаций и их продуктивности по мере последовательной смены механизмов геодинамичес-

ких режимов формирования сравнительно мощной слоисто-блоковой коры континентального типа и её длительной структурно-вещественной эволюции [3, 17, 21].

Предлагаемый цикл статей, в рамках общей проблемы минерации докембрийских ультраосновных-основных вулкано-интрузивных комплексов различных геодинамических режимов формирования коры континентального типа ВКМ (Центральная Россия) базируется на комплексе индикаторных (минералого-петрографических, петрохимических, изотопно-геохимических и рудно-геохимических) признаков и наиболее полно отражает условия его длительного (AR_1-K_2) формирования и смены мантийных мантийно-коровыми источниками магматических расплавов.

2. Особенности состава и минерации высокомагнезиальных вулкано-интрузивных породных ассоциаций раннеархейского геодинамического цикла развития ВКМ

Раннеархейская эпоха становления литосферы связана с механизмом формирования своеобразных доменов межплумового торошения и последующего многоэтапного их амальгамирования с образованием в пределах гранит-зеленокаменной области (ГЗО) континентальных разномасштабных нуклеократонов (Курско-Бесединский, Шептуховский, Комаричский и др.) с кружевным, характерным для ранних зеленокаменных поясов (ЗП-1), рисунком (рис. 3) и невысокой изменчивостью состава пород. Относительно слабая дифференцированность раннеархейской земной коры, преобладающий ареальный характер изотермических и изобарических условий проявления регионального метаморфизма и ультраметаморфизма, сравнительно небольшое разнообразие формационных типов магматогенных пород, являющихся в основном вулкано-интрузивными дифференциатами примитивной коматиит-базальтовой магмы, преобладающее развитие в составе СВК плагиогранито-гнейсовых образований. Совместно с вулкано-интрузивными магматитами они принадлежат к единому геодинамическому континиуму, определяют в совокупности малую металлогеническую продуктивность СВК нуклеарного этапа [5, 22] (рис. 4).

Наиболее существенная роль в минерации раннеархейского СВК принадлежит сформировавшейся в этот этап из примитивной (неистощенной) мантии сульфидоносной высокомагнезиальной вулкано-плутонической ассоциации в объеме коматиит-базальтовых вулканитов брянского и покровского типов и, прежде всего, бесединского комплекса. Последний принадлежит к габбро-пироксенит-перидотитовому [24] формационному типу и, совместно с железорудными образованиями (пироксеновые гранулиты, кварциты) железисто-кремнисто-вулканогенной формации, присутствует в Курско-Бесединском, Комаричском и других блоках КМА.

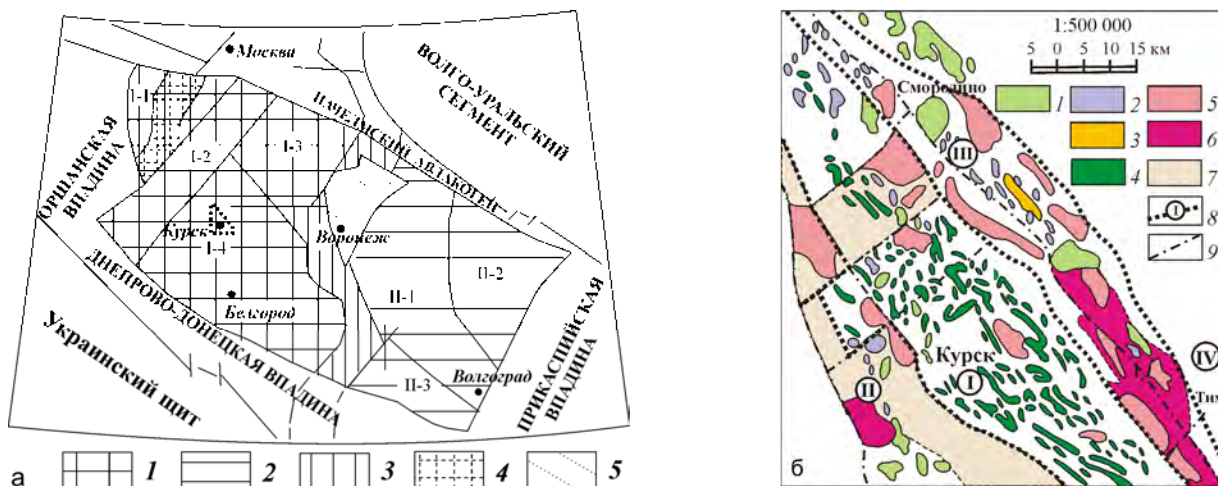


Рис. 3. Положение в структуре ВКМ (а) раннеархейского Курско-Бесединского блока (б) и особенности размещения в его пределах высокомагнезиальной породной ассоциации: а) 1 – мегаблок КМА (макроблоки: I-1 – Красногорско-Рославльский, I-2 – Брянский, I-3 – Ливенско-Ефремовский, I-4 – Курско-Белгородский), 2 – Хоперский мегаблок (макроблоки: II-1 – Калач-Эртильский, II-2 – Камышинский, II-3 – Варваринский), 3 – Лосевская шовная зона, 4 – Волынско-Двинский вулcano-плутонический пояс, 5 – Ольховско-Шукавская грабенсинклинальная структура; б) На врезке (по [23]): 1 – габбродолериты трапповой формации (смородинский комплекс); 2 – ультраосновные-основные тела дунит-перидотит-габброноритовой формации (золотухинский комплекс); 3 – габбро-диорит-гранодиоритовые интрузивы стойло-николаевского комплекса; 4 – перидотит-пироксенит-габброноритовые тела бесединского комплекса в ассоциации с высокожелезистыми коматиит-базальтовыми вулканитами, метаморфизованными в условиях гранулитовой фации; 5 – пироксеновые и плагиоклаз-микроклиновые граниты; 6 – микроклин-плагиоклазовые и биотит-микроклиновые граниты; 7 – плагиограниты; 8 – границы раннеархейского Курско-Бесединского блока (I) и раннекарельских зон – Михайловской (II), Зиновьевско-Мантуровской (III) и Тим-Ястребовской (IV); 9 – тектонические нарушения.

Модель возникновения и развития континентальной протокрыши и эволюции гранит-зеленокаменных областей: а - стадии формирования межплумовых протодоменов, б - стадии слияния протодоменов и формирования континентальных доменов, в - стадии изостатического выравнивания протоконтинентов

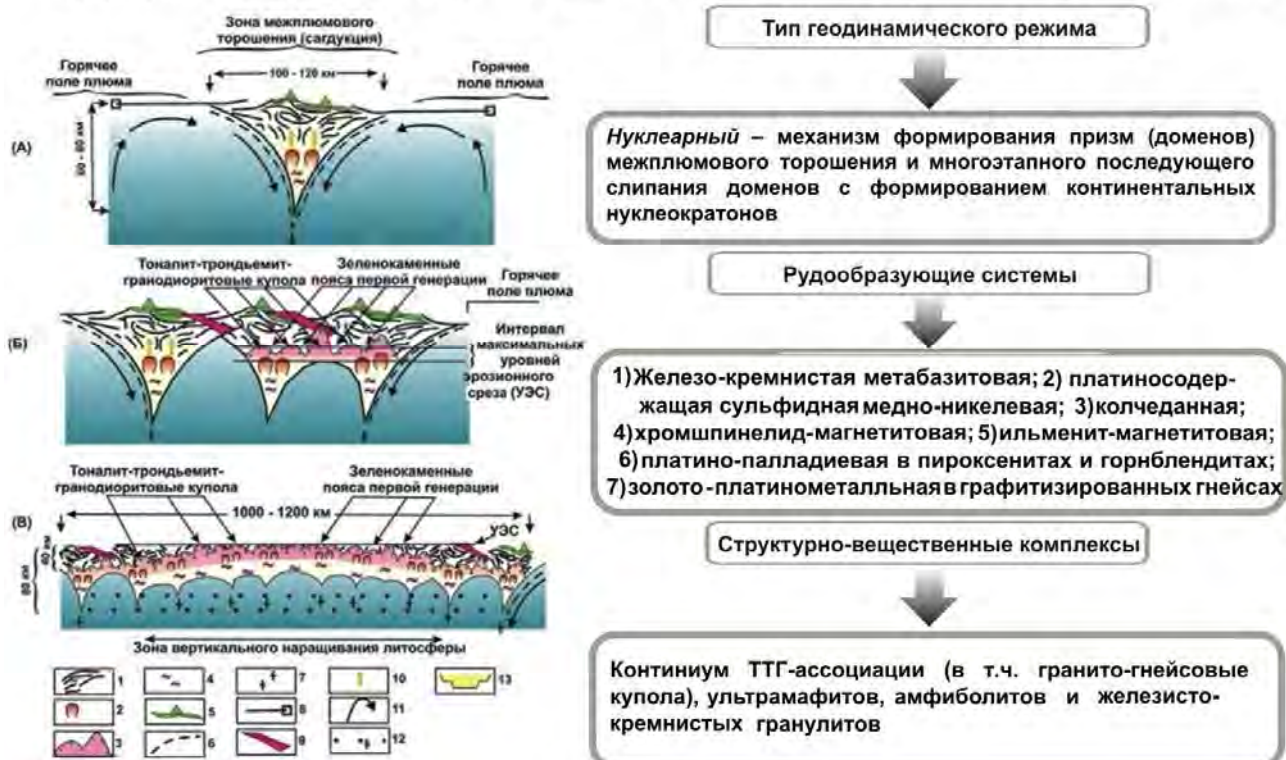


Рис. 4. Геодинамика и минерогения раннеархейского этапа (по [13, 14, 17, 18]): 1 – коматиит-голеит-базальтовая кора и ее деформированные фрагменты в зонах торшения; 2, 3 – тоналит-трондьемит-гранодиоритовые купола: 2 – ранней генерации (низкокальциевые эндербиты), 3 – поздних генераций (кальциевые эндербиты); 4 – "базитовый" континентальный слой реститового происхождения; 5 – известково-щелочные магматические серии зеленокаменных поясов первого типа; 6 – фрагменты базитовой коры, затасенные на глубину нисходящими ветвями плумов; 7 – эклогитизированные фрагменты базитовой протокрыши; 8 – площадные спрединговые зоны надплумового пространства; 9 – зоны протосутур; 10 – пути подъема известково-щелочных магматических диапиров; 11 – направление адвективного перемещения вещества в плумах; 12 – литосферная мантия; 13 – бимодальные магматиты зеленокаменных поясов второго типа.

Вулканические образования коматиит-базальтовой формации [9, 11, 24] выявлены по разрезам скважин в виде реликтовых тел. Пространственно локализуются вдоль западной окраины Касторненско-Ливенского блока, образуя Коденцовско-Покровский пояс, а ближе к западной окраине Курско-Бесединского и Комаричского блоков формируют Истобнянско-Комаричский пояс северо-западного простирания. Макроскопически образования представляют собой актинолититы, тремолититы и роговообманковые амфиболиты, принадлежность которых к магматическим продуктам определяется по фрагментам реликтово-псевдоморфной структуры и, главным образом, по петрохимическим параметрам [3, 5, 9]. Актинолититы и тремолититы характеризуются (табл. 2) средним содержанием MgO 21,14 % и TiO₂ <1 %, что по классификации Арндта [20] соответствует коматиитам. Амфиболиты имеют более низкую концентрацию MgO 5,01–8,30 % (среднее значение 6,74 %), но отличаются повышением содержания TiO₂ (среднее значение 1,5 %) и щелочей ($\Sigma(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) > 2,50 \%$, $\text{Na}_2\text{O} >> \text{K}_2\text{O}$) и относятся к породам толеито-

вой серии – толеитовым базальтам (рис. 5).

Гипербазитовые тела бесединского комплекса представляют собой слабо дифференцированные образования, главным образом двучленного типа – перидотит-пироксенит, реже с многократным чередованием этих разновидностей и генетически связанных с ними горнблендитов. В породной ассоциации этого комплекса присутствуют габбронориты более поздней фазы.

Ультраосновные породы, включаемые в состав бесединского комплекса, составляют три группы [9, 24]: 1) собственно метаморфические разновидности, в значительной мере измененные – перидотиты, оливниновые пироксениты, безоливниновые пироксениты, горнблендиты; 2) метаморфические аналоги перидотитов и пироксенитов, представленные серпентинитами, тремолит-роговообманковыми породами и тремолититами (тремолититы, тремолит-роговообманковые породы отличаются от коматиитов при микроскопическом определении, для пород бесединского комплекса характерно псевдоморфное замещение первичных минералов с образованием амфиболов

Таблица 2

Химический состав пород коматиит-базальтовой формации КМА [9]

Типпород	Компоненты															
	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	Сумма
2932/366*	49,20	0,15	0,2	6,00	2,30	6,3	0,20	20,80	9,25	0,55	0,30	0,06	0,22	4,62	0,10	100,15
2932/370,2	48,20	0,14	0,16	5,60	3,52	4,93	0,19	21,48	9,05	0,56	0,40	0,05	0,26	4,40	0,05	98,94
2918/414,5	49,23	1,42	0,02	12,97	2,33	12,6	0,18	6,12	9,65	2,65	0,80	0,17	0,05	1,88	0,12	100,07
2918/418,5	49,28	2,63	0,00	12,46	0,88	14,18	0,22	5,01	9,18	2,20	0,60	0,16	0,18	2,65	0,05	99,63
2932/473	51,20	0,64	0,01	14,40	3,36	10,22	0,18	6,73	8,54	2,55	0,84	0,05	0,02	1,38	0,08	100,12
2932/532,5	51,40	1,16	0,02	14,00	2,76	9,14	0,17	6,53	9,37	2,97	0,84	0,20	0,02	1,56	0,00	100,14
1515/203,6	50,45	0,95	0,01	14,56	3,44	8,02	0,14	7,55	9,68	2,15	0,63	0,22	0,16	2,11	0,17	100,07
13к/185,5	51,44	1,95	0,00	13,38	0,65	9,2	0,11	6,96	9,26	2,90	0,96	0,07	0,05	2,96	0,00	99,89
5832/339	50,50	2,00	0,02	14,80	4,00	9,9	0,230	6,73	9,10	2,10	0,57	0,19	0,17	0,31	0,16	100,62
5835/371,2	47,97	1,20	0,02	15,82	4,64	6,9	0,160	8,30	8,09	3,10	0,80	0,19	0,15	3,30	0,09	100,64

Примечание: 1, 2 – коматииты, 3-10 – толеитовые базальты, 2932/366* – номер скважины / глубина

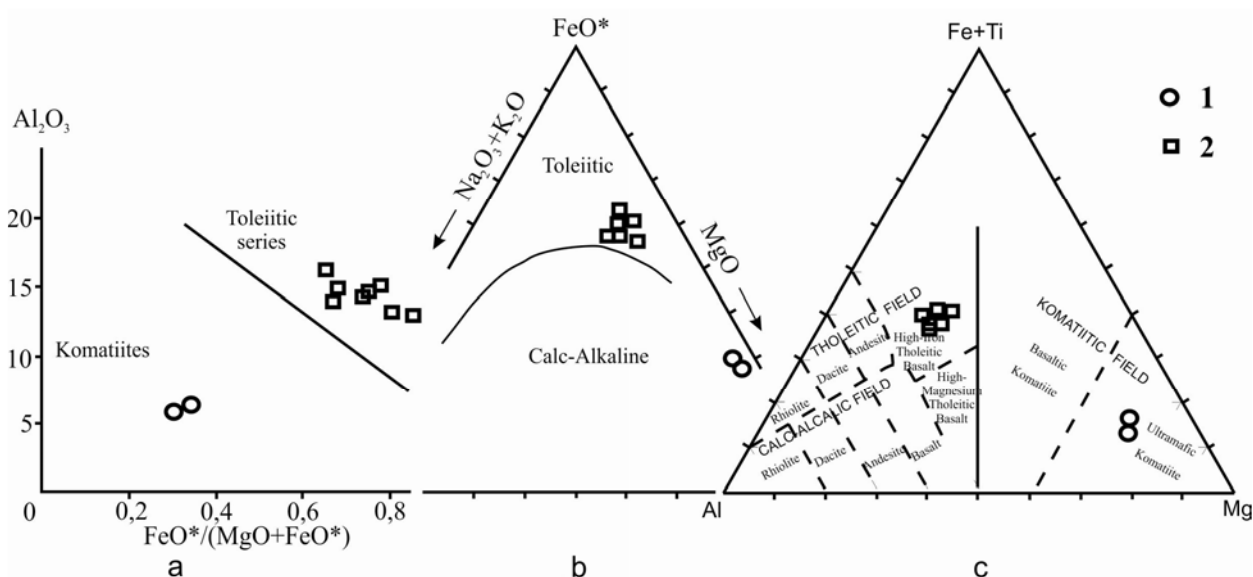


Рис. 5. Главные компоненты в породах коматиит-базальтовой формации раннего архея КМА: а – Al₂O₃ – FeO*/(MgO+FeO*), б – AFM ((Na₂O+K₂O) – FeO* – MgO) [25], в – Al-(Fe+Ti)-Mg [26], компоненты пересчитаны на ат.кол.). 1 – актинолититы, тремолититы, 2 – роговообманковые амфиболиты. При построении диаграмм химические анализы пород были пересчитаны на безводный остаток.

по пироксенам); 3) метасоматические образования – пироксениты одно- и двухпироксеновые, участками кварц-магнетитовые и магнетит-роговообманковые, а также полосчатые диафторированные кварц-биотит-гранатовые разновидности и сопутствующие роговообманковые породы группы кортландитов.

Минералого-петрографический облик определяется [9, 24] повышенной магнезиальностью оливина (Fa₇₋₁₀) – в перидотитах, до Fa₂₄ – в оливиновых пироксенитах и оливин-пироксеновых горнблендитах, ортопироксена – бронзит-гиперстен (Fs₁₅₋₃₅ – в ультрамафитах и до Fs₄₅ – в габброноритах), несколькими разновидностями клинопироксена (диопсид, салит, авгит), высокожелезистой (f = 32–38 мол. %) первично магматической роговой обманкой, широким развитием серпентина (преимущественно лизардита), хлорита (пеннин, клинохлор, шериданит, диабантит, талько-хлорит, амезит), аксессуарные минералы представлены хромшпинелид-магнетит-гранатовой ассоциацией – хромшпинелиды (хромпикотит), шпинель (плеонаст), сфен, разнообразные по составу гранаты, циркон, апатит. Характерные петрохимические признаки и минерагения высокомагнезиальной вулcano-плутонической породной ассоциации определяются (табл. 3): 1) слабконтрастным химическим составом вулканических и интрузивных коматитов; 2) устойчиво высокой железистостью ($\Sigma\text{FeO} > 10$ мас. %), умеренной магнезиальностью ($10 < \text{MgO} < 30$ мас. %), пониженным содержанием Al₂O₃, P, S; пониженной щелочностью (0,2–1,1 мас. %, N₂O > K₂O), незначительным преобладанием CaO над Al₂O₃; 3) повышенными концентрациями хрома (до 0,3 мас. %), титана (0,2–0,6 мас. %), никеля и преобла-

данием его над медью (Ni/Cu > 3) и кобальтом (Ni/Co > 10), выше кларковых концентрациями элементов платиновой группы (ЭПГ); 4) тесной положительной корреляционной связью Ni и Co преимущественно с Mg и более слабой – с S ($\delta^{34}\text{S}$ от 1 до -5‰); 5) крайне малой степенью дифференцированности в спектрах когерентных (Ti, V, Cr, Ni, Co, и др.) и некогерентных (Li, Na, K, Rb, Cs, Sr, Ba и др.) ультраосновным-основным расплавам элементов с распределением РЗЭ, близким к мантийным расплавам. В глубоко метаморфизованных вулcano-интрузивных породах заметно возрастает роль легких РЗЭ [9, 24].

Ярд петрохимических, геохимических, рудно-геохимических, минерогенических, с учетом физико-химических, параметров (широко используемых для установления роли ассимиляционных процессов [27–29]) и геодинамических режимов становления коры ВКМ на ранних этапах, свидетельствует о близком к коматиит-базальтовому составу исходного магматического расплава, первичная природа которого, в значительной мере, затушевана глубоким (от амфиболитовой до гранулитовой фации) метаморфизмом раннеархейской вулcano-интрузивной ассоциации.

Металлогенический облик этого этапа определяется небольшими по масштабам рудопроявлениями, принадлежащими к ограниченному количеству рудных формаций (см. рис. 4) [5, 23].

Бедная сульфидная медно-никелевая минерализация вкрапленного типа, ассоциирующая с коматиит-базальтовыми вулканиками и небольшими интрузивными телами бесединского комплекса (мелкие рудо-

Таблица 3

Химический состав ультраосновных пород бесединского комплекса КМА [9, 24]

Тип пород	Компоненты														
	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	П.п.п.	Сумма
1	43,47	0,42	н. о.	3,92	6,01	7,28	0,08	26,54	5,23	0,50	0,20	0,06	0,18	6,61	100,50
2	40,94	0,68	0,36	2,96	7,87	6,65	0,20	25,81	3,25	0,60	0,50	0,32	0,28	9,44	99,89
3	43,46	0,50	0,36	3,04	7,46	5,27	0,24	26,45	5,07	0,60	0,10	0,21	0,07	7,41	100,24
4	43,21	0,42	0,39	2,88	6,99	5,40	0,20	27,25	4,87	0,40	0,10	0,14	0,11	7,59	99,90
5	46,28	0,24	0,35	3,71	6,78	4,21	0,21	28,87	4,48	0,56	0,20	0,04	0,08	4,76	100,76
6	45,58	0,21	0,28	3,07	6,24	4,28	0,18	28,81	4,54	0,61	0,21	0,12	0,25	5,88	100,26
7	44,31	0,24	0,31	3,21	6,44	4,38	0,20	27,71	4,32	0,58	0,28	0,07	0,30	8,57	100,92
8	44,04	0,29	0,31	3,33	6,78	4,81	0,19	28,02	3,94	0,56	0,22	0,09	0,32	7,27	100,17
9	40,58	0,45	0,45	4,01	7,04	5,06	0,22	24,31	7,40	0,60	0,40	0,10	0,46	8,52	99,61
10	49,00	0,43	0,30	7,50	6,92	5,76	0,07	18,60	7,62	0,50	0,20	0,18	0,24	3,38	100,70
11	46,54	0,48	0,24	9,21	4,52	7,31	0,12	16,49	8,62	0,84	0,24	0,12	0,40	4,95	100,08
12	48,55	0,92	н. о.	2,57	4,32	11,95	0,25	17,60	7,95	1,77	0,27	0,09	0,04	3,46	99,73
13	46,88	0,53	0,20	8,88	4,81	7,15	0,11	17,00	9,02	0,88	0,30	0,10	0,27	4,08	100,21
14	45,90	0,55	0,25	7,82	5,05	7,02	0,14	18,42	8,94	0,70	0,30	0,12	0,15	4,40	99,76
15	45,55	0,52	0,29	6,07	5,78	7,12	0,15	20,64	7,95	0,74	0,34	0,12	0,12	4,55	99,94
16	41,38	0,42	0,20	10,60	6,24	8,13	0,26	18,95	9,66	1,58	0,26	0,04	0,21	2,30	100,23
17	47,73	0,53	0,25	7,29	7,34	4,86	0,08	21,10	8,74	1,20	0,10	0,21	0,04	1,01	100,48
18	46,80	0,50	0,20	8,48	3,91	8,42	0,22	18,69	9,94	1,17	0,69	0,06	0,05	1,58	100,71

Примечание: 1–8 – перидотиты – гарцбургиты (1, 3 – серпентинизированный, 2, 4 – серпентинизированный и карбонатизированный, 5–8 – роговообманковый); 9 – оливиновый амфиболитизированный ортопироксенит; 10, 11 – оливиновые роговообманковые вебстериты; 12–15 – роговообманковые ортопироксениты; 16 – пироксенсодержащий горнблендит; 17 – пироксеновый горнблендит; 18 – горнблендит.

проявления Курско-Бесединского блока; [9, 15, 24]), характеризуются: а) простотой состава минерального парагенезиса (пирротин, халькопирит, пентландит, пирит ± молибденит, а так же ильменит, титаномагнетит, шпинель); б) преобладанием никеля над медью и кобальтом ($1 < Ni/Cu < 10$; $10 < Ni/Co < 40$); в) повышенным содержанием ЭПГ (табл. 4), значительным преобладанием Pt над Pd ($Pd/Pt=0,06-0,28$; [15, 30]).

В составе СВК раннего архея присутствуют также и

другие типы проявлений, имеющих преимущественно характер акцессорной рудной минерализации: а) хромшпинелид-магнетитовый с сульфидами (халькопирит, пирит, пентландит) в серпентинитах, тремолититах, метасоматических пироксенитах и метагабброноритах; б) ильменит-магнетитовый среди вулcano-интрузивной породной ассоциации. Ранее выявлены [5, 30] проявления ЭПГ (Pt+Pd до 1,6 г/т) в пироксенитах и метасоматических горнблендитах бесединского комплекса.

Таблица 4

Содержание (мг/т) Pt, Pd, Au в породах и медно-никелевых рудопроявлениях РМС раннеархейского цикла развития ВКМ

Рудовмещающие формации (комплексы, серии, свиты)	Породы (в т.ч. их минерализованные разновидности)	Число анализов	Pt	Pd	Au	Pd/Pt
1. раннеархейского цикла (> 3,0 млрд.лет; бесединский тип)						
Перидотит-пироксенит-габброноритовая	Габбронориты	8	10	5,2	3,4	0,52
	Перидотиты с сульфидной минерализацией	2	170	14	4,5	0,08
	Пироксениты с сульфидной минерализацией	1	240	15	-	0,06
	Горнблендиты рудные	1	1300	360	-	0,28
Коматиит-базальтовая	Толейтовый базальт	3	12	5,3	2,8	0,44

Примечание: при составлении таблицы и расчета средних содержаний кроме авторских [15, 30] использовались материалы В. Л. Бочарова [9].

Заключение

По особенностям размещения минералого-петрографических, петрохимических, рудно-геохимических и других признаков, вулcano-интрузивные высокомагнезиальные породные ассоциации являются ведущими компонентами СВК и входящих в них РМС ранних геодинамических условий формирования коры континентального типа ВКМ – крупного сегмента ВЕП.

Раннеархейская эпоха (>3,5 млрд лет) становления литосферы, связанная с механизмом формирования доменов межплюмового торшения, с последующим образованием разномасштабных нуклеократонов и зеленокаменных поясов (ЗП-1), при относительно слабой дифференцированности земной коры, предопределила сравнительно небольшое разнообразие формационных типов магматогенных и, в основном, вулcano-интрузивных высокомагнезиальных породных ассоциаций – продуктов слабодифференцированного, мантийного по своей природе, протовещества коматиит-толейт-базальтовой магмы малой металлогенической продуктивности.

Определяющими чертами раннеархейских вулcano-интрузивных комагматов являются: их относительно повышенная магнезиальность и железистость; пониженное содержание Al_2O_3 ; обогащенность Ni и его положительная корреляция с Mg и облегченным изотопом серы; малая степень дифференцированности в спектрах когерентных (Ti, V, Cr, Ni, Co, и др) и некогерентных (Li, Na, K, Rb, Cs, Sr, Ba и др.) исходным магматическим расплавам элементов; низкая продуктивность сульфидного медисто-никелевого оруденения с резким преобладанием Ni над Cu/Co и Pt над Pd.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ «Ведущие научные школы РФ» (НШ-2211.2008.5), РФФИ и Госконтракта Роснаука № 02.740.11.021.

ЛИТЕРАТУРА

1. GORBACHEV, R. *Recambrian Research* / R. Gorbachev, S. R. Bogdanova. – 1993. – Vol. 64. – P. 3–22.
2. Шипанский, А. А. Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое / А. А. Шипанский, А. В. Самсонов, А. Ю. Петров, О. О. Ларионова // Геотектоника, 2007. – № 1. – С.43–70.
3. Чернышов, Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2004. – 448 с.
4. Чернышов, Н. М. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов, И. П. Лебедев, Ю. Н. Стрик // Геотектоника, 1997. – № 3. – С. 21–30.
5. Чернышов, Н. М. Металлогения раннего докембрия Воронежского кристаллического массива / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 1996. – № 1. – С. 5–20.
6. Тарков, А. П. Расслоенность литосферы Воронежского кристаллического массива по геофизическим, геологическим и петрофизическим данным: материалы 27-го МКГ / А. П. Тарков, Н. С. Афанасьев, А. И. Дубянский. – М. – 1984. – Т. 3. – С. 431.
7. Бочаров, В. Л. Эндогенные режимы раннего докембрия Воронежского кристаллического массива / В. Л. Бочаров, Н. М. Чернышов // Эндогенные режимы формирования земной коры и рудообразования в раннем докембрии. – Л. – 1985. – С. 192–205.
8. Ножкин, А. Д. Радиоактивные элементы в породах раннего докембрия (на примере КМА) / А. Д. Ножкин, Е. М. Крестин. – М.: Наука, – 1984. – 126 с.

9. Бочаров, В. Л. Ультрамафит-мафитовый магматизм гранит-зеленокаменной области КМА / В. Л. Бочаров, С. М. Фролов, А. Н. Плаксенко [и др.]. – Воронеж. – 1993. – 176 с.
10. Чернышов, Н. М. Магматические формации и рудоносность раннего докембрия Воронежского кристаллического массива / Н. М. Чернышов, В. Л. Бочаров, С. П. Молотков // Петрология и металлогения магматических комплексов КМА и смежных районов. – Воронеж. – 1983. – С. 3–49.
11. Крестин, Е. М. Докембрий КМА и основные закономерности его развития / Е. М. Крестин // Изв. Вузов. Геология и разведка, 1980. – № 3. – С. 3–18.
12. Чернышов, Н. М. Металлогеническое районирование Воронежского кристаллического массива в связи с его никеленосностью / Н. М. Чернышов // Геология рудных месторождений. – 1990. – № 3. – С. 3–16.
13. Чернышов, Н. М. Платиноносные формации Воронежского кристаллического массива и их место в общей модели формирования докембрийской литосферы (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова // Платина России. – Изд-во Красноярского НИИ «Геологии и минерального сырья», г. Красноярск, 2011. – Т. VII. – С. 161–181.
14. Чернышов, Н. М. Платиноносные и золото-платиноносные формации Воронежского кристаллического массива при различных геодинамических режимах формирования докембрийской литосферы / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова. – Екатеринбург. – Литосфера. – № 1. – 2012. – С. 122–146.
15. Чернышов, Н. М. Типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудномагматических систем различных геодинамических режимов развития ВКМ (систематика, состав, граничные признаки, основные черты эволюции) / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 1998. – Вып. 6. – С. 70–80.
16. Додин, Д. А. Платинометалльные месторождения России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, Б. А. Яцкевич. – СПб.: Наука, 2000. – 755 с.
17. Чернышов, Н. М. Геодинамические и минерагенические ряды в общей модели эволюции докембрийской литосферы (на примере ВКМ) / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов // Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы: матер. XVI Международ. конференции 20–24 сентября 2010 г. Под ред. чл.-корр. РАН Н. М. Чернышова, чл.-корр. РАН А. А. Моловичко. – Воронеж: Научная книга. – 2010. – Т. II. – С. 319–326.
18. Чернышов, Н. М. Минерагения благородных металлов различных геодинамических обстановок формирования

- докембрийской литосферы (Центральная Россия): материалы XVIII Международной конференции «Геологическая среда, сейсмоструктурные процессы» Воронеж 22–24 сентября 2012 / Н. М. Чернышов. – С. 399–402.
19. Рундквист, Д. В. Металлогения рядов геодинамических обстановок раннего докембрия / Д. В. Рундквист, М. В. Минц, Н. М. Чернышов [и др.]. – М.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 1999. – 399 с.
20. ARNDT, N. Komatiite / N. T. Arndt, C. M. Lesher, S. J. Barnes. – 2008. – 489 p.
21. Ненахов, В. М. Минерагенические исследования территорий с двухъярусным строением на примере Воронежского кристаллического массива / В. М. Ненахов, Ю. Н. Стрик, А. И. Трегуб, В. М. Холин, М. И. Шабалин. – М.: ГЕОКАРТ. ГЕОС. – 2007. – 284 с.
22. Додин, Д. А. Металлогения платиноидов крупных регионов России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, О. И. Чередникова. – М.: ОАО Геоинформмарк. – 2001. – 302 с.
23. Чернышов, Н. М. Металлогеническое районирование Воронежского кристаллического массива в связи с его никеленосностью / Н. М. Чернышов // Геология рудных месторождений. – 1990. – № 3. – С. 3–16.
24. Чернышов, Н. М. Гипербазиты КМА / Н. М. Чернышов, В. Л. Бочаров, С. М. Фролов. – Воронеж: Изд-во ВГУ. – 1981. – 252 с.
25. KUNO, H. Differentiation of basaltic magmas. In H. H. Hess and A. Poldervaart (eds.), Basalts: The Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Compositions. John Wiley & Sons, Inc. – P. 623–688.
26. JENSEN, L. SA New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks; Ontario Div. Mines, 1976, MP 66. – 22 p.
27. Чернышов, Н. М. Нелинейные петролого-геохимические параметры платиноносных ПМС и их аналитическое выражение / Н. М. Чернышов // Междунар. симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ: тез. докл. – М. – 1997. – С. 265–266.
28. CHERNYSHOV, N. The role assimilation in forming the nickeli-ferrous norite-diorite intrusions of the Voronezh crystalline massif // Int. Geol. Rev. 1994. – V. 36. – P. 587–604.
29. SPARKS, R.S.J. The role of crystal contamination through geological time / N.M. Chernyshov, A.V. Pereslavitsev // Earth Planet. Sci. Letters. – 1986. – V. 78. – № 2/3. – P. 211–223.
30. Чернышов, Н. М. Формационно-генетические типы платинометалльных проявлений Воронежского кристаллического массива / Н. М. Чернышов // Платина России. Пробл. развития МСБ платиновых металлов. – М.: ЗАО «Геоинформмарк». – 1994. – С. 85–103.

Воронежский государственный университет

Чернышов Н. М., член-корреспондент Российской академии наук, заслуженный деятель науки РФ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии и петрологии, руководитель НОЦ «Геология рудных месторождений Центральной России» ВГУ-ИГЕМ РАН
E-MAIL: PETROLOGY@MAIL.RU(473)2208681

Чернышова М. Н., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии и петрологии.
E-MAIL: PETROLOGY@GEOL.VSU.RU(473)2208434

Рыборак М. В., кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией НОЦ ВГУ и ИГЕМ РАН

Боброва Е. М., кандидат геолого-минералогических наук, преподаватель кафедры, петрографии и геохимии.
E-MAIL: SAMORODOK2006@MAIL.RU(473)2208779

VORONEZH STATE UNIVERSITY

CHERNYSHOV N., CORRESPONDING MEMBER OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, HONORED RESEARCHER OF RF, DOCTOR OF GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES, PROFESSOR, HEAD OF DEPARTMENT OF MINERALOGY, PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY, HEAD OF CENTRE FOR RESEARCH AND EDUCATION "GEOLOGY OF ORE DEPOSITS OF CENTRAL RUSSIA" AT VSU-IGEM RAS.
E-MAIL: PETROLOGY@MAIL.RU(473)2208681

CHERNYSHOVA M. N., DOCTOR OF GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES, OF DEPARTMENT OF MINERALOGY, PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY. E-MAIL: PETROLOGY@GEOL.VSU.RU

RYBORAK M. V., CANDIDATE OF THE GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES, CHIEF OF THE SCIENCE MINERAGENIC LABORATORY

BOBROVA E. M., CANDIDATE OF THE GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES, TEACHER OF DEPARTMENT OF MINERALOGY, PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY. E-MAIL: SAMORODOK2006@MAIL.RU