

**БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В НЕДРАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ:  
ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И  
ПРОЯВЛЕНИЙ, ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ  
ОСВОЕНИЯ Статья 1. Золото-платиносодержащие кварциты и их  
техногенные продукты месторождений-гигантов КМА**

**Н. М. Чернышов**

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 4 мая 2017 года

**Аннотация:** *детально охарактеризованы состав, особенности распределения и формы концентрирования платиноидов и золота (самостоятельные минеральные фазы и микровключения в главных рудообразующих минералах), генетическая природа рудообразующих источников, промышленные и потенциально промышленные геолого-генетические типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд (мамонский и еланский типы), золото-платиносодержащего оруденения в железных рудах и их техногенных продуктах (курский и курско-белгородский типы), черных сланцах и их метасоматитах (тимской, старооскольски и кшенский типы). Выполнена оценка ресурсов, свидетельствующих о высоком металлогеническом потенциале и реальной возможности создания в текущем столетии новой базы золото-платинодобычи в Центральном регионе России. Первая статья посвящена золото-платиноносности железных руд и их техногенных продуктов месторождений-гигантов КМА. В двух последующих статьях будет рассмотрено золото-платинометалльное оруденение черносланцевого типа и платиноносность сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений.*

**Ключевые слова:** *благородные металлы, металлогения, месторождения-гиганты, КМА, ВКМ, Центральная Россия.*

**PRECIOUS METALS OF THE CENTRAL RUSSIA: GEOLOGICAL-GENETICAL TYPES OF THE DEPOSITS AND ORE POINTS, FORMS OF CONCENTRATION, DEVELOPMENT PERSPECTIVES. Article 1. Gold-PGE bearing quartzites and their technogenous products of the gigantic deposits of the KMA**

**Abstract:** *detailed characteristics on the composition, distribution features and forms of concentration of the PGE and Au (own mineral phases and microparticles in the main ore minerals), genetic nature of the ore-forming sources, industrial and potentially industrial geological-genetic types of the sulphide PGE-Cu-Ni ores (mamonsky and elansky types), Au-PGE ores of the ferrous ores and their technological products (kursky and kursko-belgorodsky types), black shales and their metasomatites (timskey, starooskolsky and kshensky types) are given. Resources evaluation that shows high metallogenical potential and the real probability of creation of the new base of Au-PGE mining in Central Russia.*

*First article is dedicated to Au-PGE mineralization of the ferrous ores and their technogenous products of the gigantic deposits of the KMA. In the following two articles Au-PGE ores in the black shales and PGE mineralization of the sulphide PGE-Cu-Ni deposits will be considered.*

**Keywords:** *noble metals, metalogeny, gigantic depositst, KMA, VCM, Central Russia.*

Центральный регион России (в рамках Воронежского докембрийского кристаллического массива – ВКМ) – крупного (более 600 тыс км<sup>2</sup>) сегмента Восточно-Европейской платформы характеризуется высоким нераскрытым минерагеническим потенциалом, перспективным для наращивания минерально-сырьевой базы высоколиквидных (платиноиды, зо-

лото) и стратегически важных (Ni, Co, Cu) металлов. В недрах докембрийского кристаллического фундамента ВКМ установлено 23 типа промышленных и потенциально промышленных рудных формаций и более 50 полигенных по условиям формирования месторождений и разномасштабных рудопроявлений этих металлов, принадлежащих к 4 классам: эндо-

генные (группа собственно магматических), полигенные (флюидно-магматогенно-осадочные), экзогенные и техногенные (рис. 1, табл. 1).

Полигенность условий формирования и пространственно-временная связь рудной минерализации с различными по составу и формационной принадлежности рудообразующими и рудоконтролирующими структурно-вещественными комплексами

(СВК), сформировавшимися в геодинамических режимах наиболее интенсивной эндогенной активизации и структурной дифференциации земной коры, не только обуславливают в совокупности многообразие формационно-генетических типов платинометалльного оруденения ВКМ, но и определяют минералогический облик, масштабы и степень продуктивности рудообразующих систем [1].

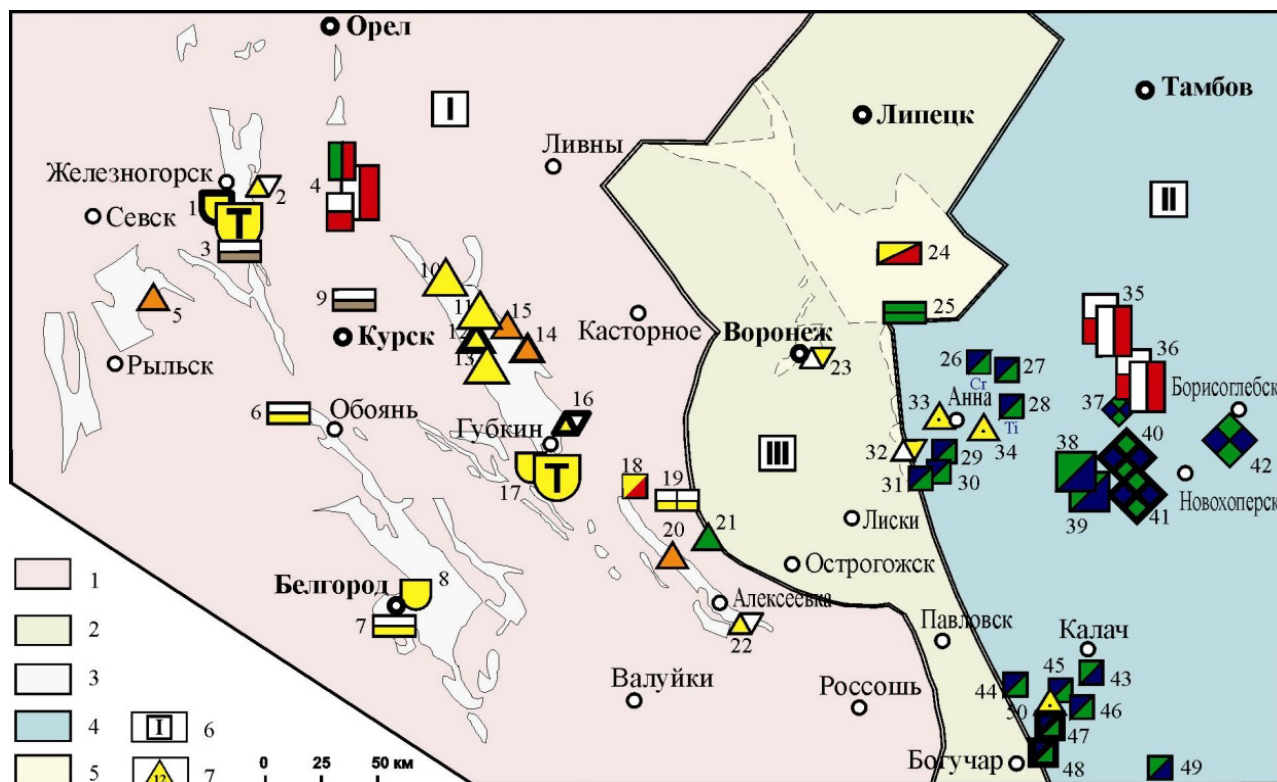


Рис. 1. Прогнозно-минералогическая карта платинометалльного и золото-платинометалльного оруденения Воронежско-кристаллического массива [1]: 1 – СВК архейского основания; 2 – СВК Лосевской шовной зоны; 3–5 – Раннекарельские вулканогенно-терригенные комплексы этапа рифтогенеза (3); этапа эпикратонного прогибания пассивной континентальной окраины (4); вулканогенно-осадочные и интрузивные комплексы раннеплатформенного, тафрогенного этапа (5); 6 – мегаблоки ВКМ: I – КМА, II – Хоперский, III – Лосевская шовная зона; 7 – Месторождения, рудопроявления и потенциально рудоносные участки (1 – Железнодорожный (Михайловский) рудный узел; 2 – Гремячинский; 3 – Жидеевский; 4 – Смородинский; 5 – Студеновский; 6 – Косиновский; 7 – Олимпийский; 8 – Сев. Висловский; 9 – Курско-Бесединский; 10 – Сергиевский; 11 – Луневский; 12 – Тимской; 13 – Погоженский; 14 – Кшенский; 15 – Луговой; 16 – Коробковский; 17 – Лебедино – Стойленский; 18 – Дубравинский; 19 – Авильский; 20 – Вологовский; 21 – Вост. Вологовский; 22 – Алексеевский; 23 – Воронежский; 24 – Ольховский; 25 – Шукавский; 26 – Садовский; 27 – Вост. Садовский; 28 – Моховской; 29 – Шишковский; 30 – Астаховский; 31 – Песковатский; 32 – Икорский; 33 – Рябиновско-Большемартыновский; 34 – Анненский; 35 – Новогольский; 36 – Жердевский; 37 – Троицкий; 38 – Елань-Коленовский; 39 – Центральный; 40 – Еланский; 41 – Елkinский; 42 – Уваровский; 43 – Ширяевский; 44 – Нижнеаманский; 45 – Артюховский; 46 – Бычковский; 47 – Юбилейный; 48 – Подколodновский; 49 – Пионерский (Липов Куст); 50 – Сухой Яр.); условные знаки см. табл.1.

### Особенности распределения и формы нахождения благородных металлов в различных геолого-генетических типах месторождений и проявлений

При значительном многообразии формационно-генетических типов платинометалльного и золото-платинометалльного оруденения в докембрийском фундаменте региона, с разной степенью разведаны и изучены, по существу, лишь 3 группы месторождений и проявлений [1–5]:

1. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые Хоперского мегаблока (мамонский и еланский типы)
2. Золото-платинометалльносодержащие в черных сланцах и их метасоматитах (тимской, старооскольский, кшенский типы)
3. Платиносодержащие золото-железородные в железистых кварцитах и корах их выветривания и техногенных продуктах (мегаблок КМА; курский, старооскольский, курско-белгородский типы)

Таблица 1

Ведущие типы промышленных и потенциально промышленных золото-платиноносных рудных формаций Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия)

Класс эндогенных							
Группа собственно магматогенных							
Платино- и золото-платиноносная формация	Тип ассоциации МПГ и Au	Типы (подтипы) месторождений (проявлений) и их номера	Преобладающая геологическая формация	Месторождения и проявления			
				Установленные		Прогнозируемые	
				Крупные	Средние и мелкие	Крупные	Средние и мелкие
Сульфидная платиноидно-медно-никелевая	Pt-Pd	Сморodinско-новогольский (35, 36)	Трапповая (троктолит-габбродолеритовая)				
		Шукавский (25)	Габбро-верлитовая				
	Pt-Pd-Au	Еланский (37, 40-42)	Субвулканическая ортопироксенит-норит-диоритовая				
	Pt-Pd	Мамонский (27, 29-31, 44-48)	Дунит-перидотит-габброноритовая				
	Pd-Pt	Олимпийский (6, 7)	Коматиит-базальтовая				
		Бесединский (3,9)	Перидотит-пироксенит-габбро-анортзитовая				
Малосульфидная платинометаллическая	Pt-Pd	Сморodinско-новогольский (4, 35, 36)	Трапповая (троктолит-габбродолеритовая)				
		Ольховский (24)	Габбронорит-кварц-монцит-гранитная				
		Елань-вязовский (38, 39, 43, 49)	Дунит-перидотит-габброноритовая				
Платиносодержащая хромитовая	Pt-Pd (Ru, Os)	Садовый (26)	Дунит-перидотит-габброноритовая				Cr
Платиносодержащая титаномагнетитовая	Pt-Pd	Сморodinский (4)	Трапповая (троктолит-габбродолеритовая)				Ti
		Моховской (28)	Дунит-перидотит-габброноритовая				Ti
Платинометаллическая в карбонатитах	Pt-Pd	Дубравинский	Щелочно-ультрамафитовая с карбонатитами				
Класс полигенных							
Группа флюидно-магматогенно-осадочных							
Золото-платиносодержащая полиметаллическая черных сланцев	Pt-Pd-Au	Тимской (10-13) и старооскольский	Углеродистая и высокоуглеродистая вулканогенно-осадочная и осадочная				
		Кшенский (5, 14, 15, 18)	Углеродистая и высокоуглеродистая вулканогенно-осадочная				
		Воронцовский	Углеродисто-граувакко-сланцевая (молаассоидно-флишоидная)				
		Обоянский (21)	Метабазит-гранулит-гнейсовая, углеродистая				
Платиносодержащая золото-железорудная	Pt-Pd-Au	Курский (1, 8, 17)	Железисто-кремнисто-сланцевая				
Золото-палладий-содержащая в колчеданных рудах	Au-Pd	Авильский (19)	Вулканогенно-осадочная, углеродистая зеленокаменных поясов				
Класс экзогенных							
Группа комплексных (Au-U-ЭПГ) проявлений							
Золото-уран-платиноносных конгломератов	Au-U-МПГ	Стойленский (2, 16, 22)	Карбонатно-метаграувакковая				
Платино-золото-содержащих олигомиктовых конгломератов и гравелитов	МПГ-Au	Воронежский (23, 32)	Вулканогенно-осадочная				
Класс техногенных							
Золото-платино-содержащая	Au-Pt-Pd	Курско-белгородский (1, 17)	Хвостотвалы железорудных месторождений				

**Закономерности распределения и формы нахождения благородных металлов в железистых кварцитах и их техногенных продуктах месторождений-гигантов КМА**

Новым, нетрадиционным и одним из крупнейших источников ЭПГ и Au являются уникальные по запасам (71,8 млрд т) железные руды (курский тип) и промпродукты (курско-белгородский тип) горнорудных предприятий КМА. В пределах мегаблока КМА благороднометаллосодержащие железорудные толщи курской серии образуют две протяженные (свыше 400 км), сложные по морфологии и внутреннему строению зоны северо-западного простирания (рис. 2): а) западную – в северной части которой размещается Михайловский железорудный район (Курская область) и б) восточную – с известным Старооскольским рудным районом (Белгородская область) (рис. 3, 4).

В этих рудных районах сосредоточен ряд супергигантских (Михайловское, Лебединское) и гигантских (Коробковское, Стойленское, Стойло-Лебединское) месторождений, связанных с железисто-кремнисто-

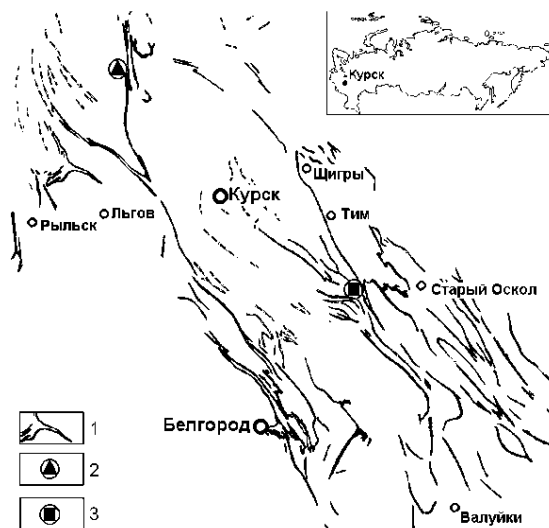


Рис. 2. Схема местоположения Михайловского и Старооскольского железорудных районов КМА: 1 – железистые кварциты (железисто-кремнисто-сланцевая формация нижнего карелия), 2 – Михайловское месторождение; 3 – Лебединское месторождение.

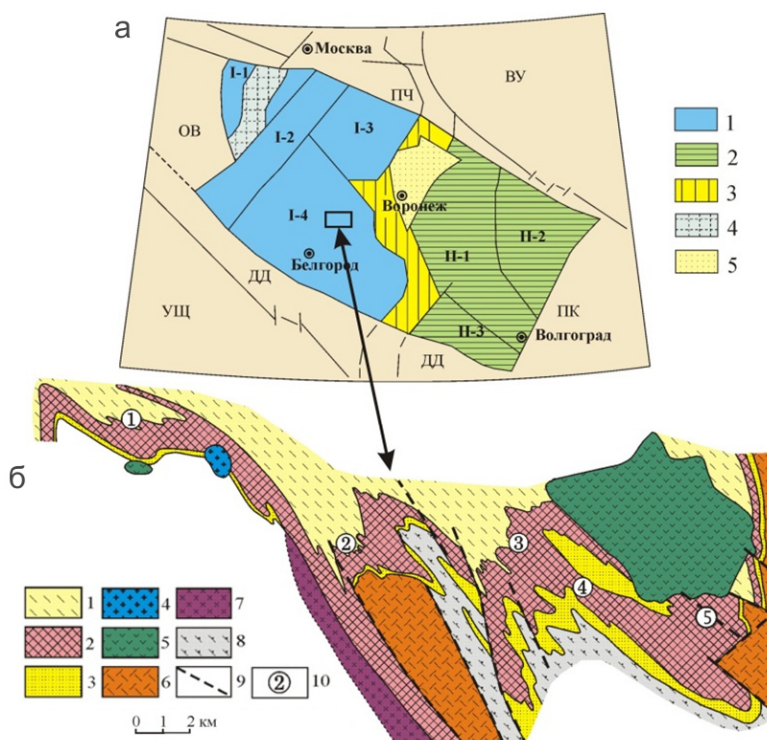


Рис. 3. Положение Старооскольского рудного района КМА на схема структурно-формационного районирования ВКМ [7]: а) ВУ – Волго-Уральский сегмент, ПЧ – Пачелмский авлакоген, ПК – Прикаспийская впадина, ДД – Днепровско-Донецкий авлакоген, УЩ – Украинский щит, ОВ – Оршанская впадина. I- мегаблок КМА (макроблоки: I-1-Красногорско-Рославльский, I-2 – Брянский, I-3 – Ливенско-Ефремовский, I-4 – Курско-Белгородский), II-2 – Хоперский мегаблок (макроблоки: II-1 – Калач-Эртильский, II-2 – Камышинский, II-3 – Варваринский), 3 – Лосевская шовная зона, 4 – Вольинско-Двинский вулканоплутонический пояс, 5 – Ольховско-Шукавская грабенсинклинальная структура. Схематическая геологическая карта Старооскольского железорудного узла (б): палеопротерозой, – курская серия: I-2 – коробковская свита: 1 – верхняя сланцевая подсвита, 2 – верхняя и нижняя железорудные подсвиты с внутрирудной (нижней) сланцевой подсвитой; 3 – стойленская свита – кварцитопесчаники, кварц-сланцевые сланцы; 4 – микроклиновые граниты атаманского комплекса; 5 – габродиориты, кварцевые диориты стойло-николаевского комплекса; 6 – нерасчлененный гранитогнейсовый комплекс – гранитогнейсы, мигматиты, гнейсы, прослои и линзы амфиболитов; неоархей – 7 – плагиограниты салтыковского комплекса; 8 – Михайловская серия; 9 – разломы; 10 – месторождения: 1 – Панковское, 2 – Коробковское, 3 – Лебединское, 4 – Стойло-Лебединское, 5 – Стойленское.

сланцевой формацией нижнего карелия (в объёме курской серии; рис. 3). Две трети разведанных запасов железистых руд сосредоточено в этих пяти отработываемых месторождениях.

По условиям локализации, морфологии и масштабам рудных залежей, особенностям их минерализации, содержанию и промышленной значимости выделено пять генетических типов золото-платинометалльного оруденения (табл. 2), выступающих в качестве одного из крупнейших источников селективной и попутной добычи благородных металлов в XXI столетии.

При известной однотипности строения продуктивной коробковской свиты курской серии, включающей две железорудные и две сланцевые подсвиты, состав благороднометалльносодержащих железистых кварцитов в Михайловском и Старооскольском рудных

районах существенно различен [1]. Первый из них характеризуется преимущественным развитием магнетитовых, магнетит-гематитовых, гематит-магнетитовых, гематитовых при ограниченной роли карбонатно-магнетитовых, безрудных и крайне редко силикатно-гематит-магнетитовых кварцитов. В месторождениях Старооскольского рудного района ведущая роль принадлежит силикатно-магнетитовым (куммингтонит-, биотит-, щелочно- амфибол-, актинолит- и эгирин-рибекитовым), гематит-магнетитовым и слабрудным кварцитам, в каждом из этих типов присутствуют карбонаты. Эти различия сказываются на характере распределения и концентрации Au и ЭПГ (табл. 3–5). Наиболее высокие концентрации золота установлены в пробах краснополосчатых гематитовых кварцитов Михайловского месторождения (до 5,5 г/т [1, 8, 9]).

Таблица 2

*Генетические типы и закономерности размещения золото-платинометалльного оруденения железорудных месторождений-гигантов (в возрастной последовательности; по [1, 3, 5, 6])*

Структурно-вещественный контроль оруденения	Содержание Au, Pt, Pd (г/т)	Тип минерализации	Морфология рудных залежей	Возможное практическое применение
<b>1. Осадочно-метаморфогенный</b>				
Обширные площади развития железистых кварцитов в пределах месторождений	Низкие (фоновые) Au=0,02–0,12 ЭПГ до 0,05	Рассеянный	Пластовые залежи железистых кварцитов и межрудных сланцев	Попутное извлечение из продуктов переработки железных руд
<b>2. Метаморфогенно-метасоматический</b>				
Зоны контакта углеродсодержащих сланцев с кварцитами (а); углеродистые сланцы с обильной сульфидной минерализацией (б)	а) Au=0,54–6,18 Pt=0,12–0,30 Pd=0,58–0,77 б) Au=2,6–36,6 Ag=91,0–540,0 Pt=0,14–0,28 Pd до 0,57	Концентрированный	Стратиформные залежи мощностью от первых метров до 90 м и протяжённостью до 70 км: а) сульфидизированные контактовые зоны; б) внутрирудные углеродистые сланцы	Самостоятельные золото-платиноидные объекты для селективной отработки
<b>3. Гидротермально-метасоматический</b>				
Серия прерывистых линейных зон гидротермально-метасоматических образований с локальными зонами метасоматитов	Au=0,6–6,2–иногда до 35,8 ЭПГ–до 0,3–0,5	Концентрированный	Жилы, линзо- и жилообразные тела мощностью до 3–5 м и протяжённостью первые сотни метров среди железистых кварцитов	Самостоятельные, преимущественно золоторудные объекты для селективной отработки
<b>4. Гипергенно-метасоматический</b>				
Зоны развития линейных кор выветривания железистых кварцитов (богатые маритовые руды)	Au=0,64–4,30 иногда до 41,7 ЭПГ=0,10	Концентрированный	Разнообразные по масштабам линзо- и жилообразные секущие тела в «карманах» кор выветривания	Самостоятельные платиносодержащие золоторудные объекты для селективной отработки
<b>5. Осадочный</b>				
Базальные горизонты зон несогласий (докембрий-фанерозой), перекрывающие богатые маритовые руды	Au=0,53 Pt=0,15 Pd=1,70 P3Э=556,3 U=12,2–23,6	Концентрированный	Пластовые тела сульфидизированных органогенных пород девона («фосфоритовая плита» мощностью от 1 и более метров) в кровле железорудных месторождений	Самостоятельные уранредкоземельно-благороднометалльно-содержащие объекты во вскрышных породах (селективная отработка)
<b>6. Техногенный</b>				
Продукты-хвостоотвалы действующих ГОКов	Au=25,0–45,0 ЭПГ до 1,6 (в песках гидродиклона); Pd=0,4; Pt=0,2 Au=15,0 (в немагнитной фракции)	Концентрированный	Различные продукты-хвостоотвалы ГОКов	Самостоятельные платино-золоторудные объекты

Таблица 3

Содержание благородных металлов (г/т) в различных типах железистых кварцитов и сопутствующих им породах Лебединского месторождения (по [10, 11])

	1(1)	2(1)	3(2)	4(1)	5(1)	6(2)	7(3)	8(3)	9(1)	10(1)	11*	12*
<b>Pt</b>	0,12	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03	0,04	0,09	0,11	<0,03	0,0018	<0,002
<b>Pd</b>	0,005	0,15	0,11	0,13	0,005	0,17	0,37	0,32	0,50	0,26	<0,002	<0,002
<b>Au</b>	0,37	0,56	0,19	0,05	0,19	0,13	0,15	0,13	0,22	0,05	<0,002	<0,002
<b>Rh</b>	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,0017	0,0026
<b>Pt+Pd+Au</b>	0,49	0,74	0,33	0,19	0,23	0,33	0,56	0,54	0,83	0,34	-	-
<b>Pd/Pt</b>	0,04	5,00	3,70	1,30	0,12	5,60	9,20	3,60	4,50	8,60	-	-

Примечания: название пород: 1 – силикатно-магнетитовый кварцит; 2 – гематит-магнетитовый кварцит; 3 – силикатно-магнетитовый кварцит; 4 – малорудный кварцит; 5 – малорудный кварцит; 6 – железистый кварцит из зоны контакта с углеродсодержащими (внутрирудными) сланцами; 7 – внутрирудные сланцы; 8 – лебеденит; 9 – 10 – метасоматические жильные образования; 11 – богатые руды; 12 – окисленные кварциты). Анализы выполнены в лаборатории ИГЕМ РАН, спектрохимический метод, аналитик Белоусов Г.Е., \*анализ выполнен в химико-аналитической лаборатории ФГУП "ВСЕГЕИ", метод анализа – масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, аналитик Кудряшов В. Л., Тимашева Е. В. Здесь и ниже в скобках указано количество анализов.

Таблица 4

Содержания благородных металлов (г/т) в разных типах железистых кварцитов Стойленского месторождения (по [6, 10])

№ п/п	Название породы	Pt	Pd	Rh	Ir	Au	Pd/Pt
1	Слаборудные кварциты	0,05(7)	0,09(7)	0,01(4)	0,002(4)	0,34(7)	1,80
2	Силикатно-магнетитовые кварциты	0,04(10)	0,11(10)	0,0005(7)	0,0004(7)	0,21(10)	2,75
3	Магнетитовые железистые кварциты	0,1(5)	0,07(5)	0,001(4)	0,0004(3)	0,22(5)	0,70
4	Магнетитовые с гематитом кварциты	0,015	0,06	0,0005	0,0005	0,13	4,00
5	Кора выветривания (окисленные кварциты)	0,025	2,19	Н.о.	Н.о.	0,13	87,60
6*		0,0019	<0,002	0,0019	<0,002	<0,002	<0,002
7*	Кора выветривания (богатые руды)	<0,002	<0,002	0,0026	<0,002	<0,002	-

Примечания: анализы выполнены в лаборатории анализа минерального вещества (ЛАМВ) ИГЕМ РАН, аналитики Л.Ф. Карташова, В.А. Сычкова, \*анализ выполнен в химико-аналитической лаборатории ФГУП "ВСЕГЕИ" метод анализа – масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, аналитик Кудряшов В. Л., Тимашева Е. В. Н.о.- элемент не определялся

Таблица 5

Содержание благородных металлов в разных типах железистых кварцитов Михайловского месторождения (по [8–10, 12])

№ п/п	Название породы	Химико-спектральный анализ (г/т)			
		Au	Pt	Pd	Pd/Pt
1	Гематитовый кварцит	0,18(3)	0,14(3)	0,10(3)	0,71
2	Магнетитовый кварцит	0,005(2)	0,05(3)	0,03(3)	0,60
3	Безрудный кварцит	0,02(2)	0,03(2)	0,01(3)	0,33
4	Малорудный кварцит	0,05(3)	0,03(3)	0,02(3)	0,67
5	Железнослюдково-магнетитовый кварцит	1,27(2)	0,12(2)	0,04(2)	0,33
6	Силикатно-магнетитовый кварцит	1,87(2)	0,04(2)	0,02(2)	0,02
7	Карбонатно-магнетитовый кварцит	0,14	0,05	<0,02	-
8*	Кора выветривания (богатые руды)	<0,002	<0,002	<0,002	-
9*	Кора выветривания (окисленные кварциты)	<0,002	<0,002	<0,002	-

Примечание: анализы выполнены в лаборатории ИГЕМ РАН, \*анализ выполнен в химико-аналитической лаборатории ФГУП "ВСЕГЕИ" метод анализа – масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, аналитик Кудряшов В. Л., Тимашева Е. В. В пробе окисленных железистых кварцитов из коры выветривания установлен Rh (0,0025 г/т).

В Старооскольском и Михайловском железорудных районах КМА относительно высокие содержания благородных металлов связаны с зонами повышенного содержания сульфидов, наиболее отчетливо проявившиеся в Лебединском месторождении (рис. 4, табл. 6). В зонах повышенных концентраций сульфидов (20–30 отн. %) содержание золота достигает 5,4

г/т на мощность 0,4 м (в отдельных пробах – до 10 г/т), в сульфидных жилах – Au = 2,9 г/т (мощность 2,55 м) и до 4,14 г/т (мощность 0,45 м). В сульфидно-кварцевых жилах установлено [1, 6, 8] комплексное золото-платиноидно-полиметаллическое оруденение (Pb = 0,5–33,4 %; Zn = 0,4–1,2 %; Au до 2,2 г/т; ЭПГ до 0,3 г/т; Ag – десятки г/т).

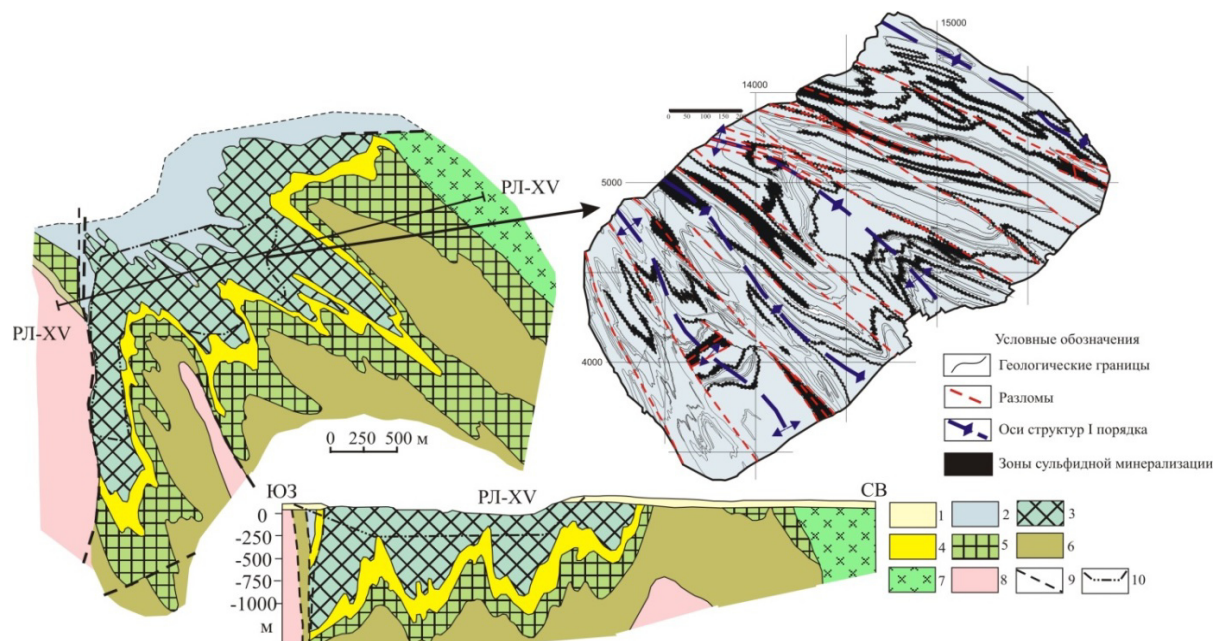


Рис. 4. Схематическая геологическая карта Лебединского месторождения КМА с разрезом по XY [7, 9]: 1 – осадочные породы чехла (на разрезе); палеопротерозой – курская серия: 2–5 – коробковская свита: 2 – верхняя сланцевая подсвита, 3 – верхняя железорудная подсвита, 4 – нижняя сланцевая подсвита, 5 – нижняя железорудная подсвита; 6 – стойленская сланцево-кварцитопесчаниковая свита; 7 – стойло-николаевский габбро-диорит-гранодиоритовый комплекс; неоархей: 8 – лебединская свита михайловской серии; 9 – геологические разломы; 10 – границы карьера.

Таблица 6

Содержание Pt, Pd и Au в различных типах железистых кварцитов и сопутствующих им породах Лебединского месторождения

	1 (1)	2 (1)	3 (2)	4 (1)	5 (1)	6 (2)	7 (3)	8 (3)	9 (1)	10 (1)	11 (1)	12 (1)
Pt	0,12	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03	0,04	0,09	0,11	0,22	0,38	<0,03
Pd	0,005	0,15	0,11	0,13	0,005	0,17	0,37	0,32	0,50	0,14	0,10	0,26
Au	0,37	0,56	0,19	0,05	0,19	0,13	0,15	0,13	0,22	0,10	0,04	0,05
Σ Pt+ Pd+ Au	0,49	0,74	0,33	0,19	0,23	0,33	0,56	0,54	0,83	0,44	0,52	0,34
Pd/ Pt	0,04	5,00	3,70	1,30	0,12	5,60	9,20	3,60	4,50	0,64	0,26	8,60

Примечания: название пород: 1 – эгиринизированный магнетитовый кварцит с сульфидами; 2 – сульфидизированный железистый (гематит-магнетитовый) кварцит; 3 – биотитовый магнетитовый кварцит сульфидизированный; 4 – малорудный железистый кварцит с сульфидами; 5 – малорудный биотитовый кварцит; 6 – сульфидизированный железистый кварцит из зоны контакта с углеродсодержащими сульфидизированными (внутрирудными) сланцами; 7 – внутрирудные сульфидизированные углеродсодержащие сланцы; 8 – магнетит-сульфидно-карбонатная порода (лебеденит); 9 – 12 – метасоматические жильные образования: жила крупнокристаллического эгиринина с сульфидами из магнетитовых кварцитов (9); сульфидная жила из магнетит-кумингтонитового кварцита (10); карбонат-кварцевая сульфидсодержащая жила из магнетитового кварцита (11); кварцевая жила с сульфидами из железистых кварцитов (12).

Таблица 7

Содержание (г/т) Pt, Pd и Au в исходных железистых кварцитах и их некоторых технологических продуктах

№ проб и их технологических продуктов		Pt	Pd	Au	№ проб и их технологических продуктов		Pt	Pd	Au
А18/2	1	0,013	0,019	0,030	А18/4	1	0,021	0,014	0,050
	2	0,88	0,36	2,1		2	0,2	0,3	0,9
	3	0,02	0,08	0,03		3	0,08	0,03	0,12
	4	0,05	0,09	0,11		4	0,09	0,05	0,17
	5	<0,01	<0,01	0,015		5	<0,01	<0,01	0,02
Б18/2	1	0,035	0,035	0,100	Б18/4	1	0,008	0,008	0,012
	2	1,2	1,2	3,2		2	0,05	0,04	0,31
	3	0,1	0,23	0,045		3	0,02	0,02	0,02
	4	1,17	1,17	3,10		4	0,023	0,022	0,052
	5	<0,01	<0,01	0,02		5	<0,01	<0,01	<0,01

Примечания: технологические продукты: 1 – исходная проба; 2 – немагнитная фракция; 3 – магнитная фракция; 4 – гравитационный концентрат; 5 – хвосты гравитации.

Таблица 8

Результаты анализа флотационных концентратов из сульфидизированных магнетитовых кварцитов (по [13, 14])

Пробы	Выход сульфидного концентрата, %	Pt	Pd	Au	Минеральный состав флотоконцентрата
528-Б	5,26	0,3	0,48	14,4	Пирит (36 %), группа пирротина (38 %), халькопирит (3 %), марказит (2 %), сфалерит (1 %), галенит (0,5 %), арсенопирит (0,5 %), ед.зн.–леллингит, герсдорфит, молибденит, кобальтин, борнит, блеклая руда. Прочие–19 %.
	исходная проба	0,02	0,03	0,96	
520	1,26	0,15	0,26	5,9	Пирит (18 %), группа пирротина (48 %), халькопирит (0,5 %), марказит (5 %), сфалерит (0,2 %), галенит (0,1 %), ед.зн.–арсенопирит, борнит, халькозин, ковеллин. Прочие–28 %.
	исходная проба	>0,003	>0,005	0,49	
А 18/2	3,11	0,8	0,9	1,2	Пирит (47 %), группа пирротина (34 %), халькопирит (2 %), марказит (2 %), сфалерит (0,3 %), галенит (0,1 %), арсенопирит (1 %), ед.зн.–молибденит, борнит, блеклая руда. Прочие–14 %.
	исходная проба	0,03	0,06	0,05	
Б 18/2	2,85	0,7	0,72	1,7	Пирит (56 %), группа пирротина (19 %), халькопирит (2,5 %), марказит (4 %), сфалерит (1 %), галенит (0,5 %), арсенопирит (1 %), ед.зн.–леллингит, молибденит, халькозин, борнит, блеклая руда. Прочие–16 %.
	исходная проба	0,07	0,11	0,08	

Примечания: прочие – слоистые силикаты, амфиболы и другие силикаты, карбонаты, углеродистое вещество, гематит, магнетит, ильменит и другие оксиды, поступающие в хвостоотвалы.

Исследования форм нахождения благородных металлов, базирующиеся на известной методике отбора крупных (от 30 кг и более) технологических проб применительно железистых кварцитов показали, что наиболее высокие концентрации Au, Pd и Pt сосредоточены в немагнитной фракции и гравитационном концентрате, и, прежде всего, в флотационном сульфидном концентрате (табл. 7, 8).

Золото-платинометалльное оруденение железорудных месторождений КМА характеризуется сложным полиминеральным (более 60 минералов) и многокомпонентным составом [1, 3, 6, 8, 10–15]. Определяющей особенностью благороднометалльно-

го оруденения является (табл. 9) многообразие форм концентрирования и широкое развитие (около 30) собственных минеральных фаз ЭПГ, Au и сопутствующих им элементов (Ag, Te, Bi) в виде самородных металлов (Au, Os, Ru, Ir, Bi), металлических твёрдых растворов и интерметаллических соединений (рутениридосмин, платрутеносмиридий, иридрутеносмид, электрум, кюстеллит, сплавы Pd-Ag-Cu, Bi-Te-Pd, Au-Cu-Ag, минералы ряда Ru, Ir, Os, Pt, Pd), сульфидов (прассоит, маккинстриит), сульфоарсенидов, теллуридов, висмутидов (мончеит, сперрилит, петцит, гессит, креннерит, цуманит, сильванит, волинскит, мутманит, мальдонит и др.).

Таблица 9

Рудные минералы золото-платинометалльного оруденения в железорудных месторождениях КМА

Самородные металлы, металлические твердые растворы и интерметаллические соединения	
Золото самородное и палладий-серебро-медьсодержащее	1. Au <sub>0,96</sub> Ag <sub>0,03</sub> ; 2. Au <sub>0,89</sub> Ag <sub>0,05</sub> Cu <sub>0,07</sub> ; 3. Au <sub>0,99</sub> Ag <sub>0,01</sub> ; 4. Au <sub>0,90</sub> Ag <sub>0,10</sub> ; 5. Au <sub>0,67</sub> Ag <sub>0,26</sub> Cu <sub>0,07</sub> ; 6. Au <sub>0,70</sub> Ag <sub>0,29</sub> Pd <sub>0,01</sub> ; 7. Au <sub>0,96</sub> Ag <sub>0,02</sub> Cu <sub>0,02</sub>
Осмий	Os <sub>0,77</sub> Ir <sub>0,19</sub> Ru <sub>0,03</sub> Pt <sub>0,01</sub>
Рутений	Ru <sub>0,64</sub> Ir <sub>0,18</sub> Os <sub>0,10</sub> Pt <sub>0,06</sub> Pd <sub>0,01</sub> Rh <sub>0,01</sub>
Висмут	Bi
Висмут теллурсодержащий	Bi <sub>0,98</sub> Te <sub>0,02</sub>
Рутениридосмин	Os <sub>0,44</sub> Ru <sub>0,39</sub> Ir <sub>0,1</sub> Ni <sub>0,03</sub> Cu <sub>0,02</sub> Pt <sub>0,01</sub>
Платрутеносмиридий	Pt <sub>0,34</sub> Ru <sub>0,32</sub> Os <sub>0,17</sub> Ir <sub>0,17</sub>
Иридрутеносмид	Ru <sub>0,5</sub> Ir <sub>0,21</sub> Os <sub>0,19</sub> Pt <sub>0,08</sub> Rh <sub>0,01</sub>
Золото-серебряные сплавы	1. Au <sub>0,70</sub> Ag <sub>0,30</sub> ; 2. Ag <sub>0,50</sub> Au <sub>0,49</sub> ; 3. Au <sub>0,74</sub> Ag <sub>0,26</sub> ; 4. Au <sub>0,65</sub> Ag <sub>0,35</sub>
Золото-медные и золото-медно-серебряные сплавы	1. Au <sub>0,50</sub> Cu <sub>0,50</sub> ; 2. Au <sub>0,52</sub> Cu <sub>0,48</sub> ; 3. Au <sub>0,53</sub> Cu <sub>0,46</sub> Ag <sub>0,01</sub>
Электрум	1. Au <sub>0,48</sub> Ag <sub>0,52</sub> ; 2. Ag <sub>0,30</sub> Au <sub>0,70</sub>
Кюстеллит	Au <sub>0,17</sub> Ag <sub>0,83</sub>
Минералы ряда:	
рутений, иридий, осмий, платина -	Ru <sub>0,29</sub> Ir <sub>0,28</sub> Os <sub>0,19</sub> Pt <sub>0,17</sub> Fe <sub>0,05</sub> Rh <sub>0,01</sub>
рутений, платина, родий -	Ru <sub>0,38</sub> Pt <sub>0,32</sub> Rh <sub>0,13</sub> Ir <sub>0,06</sub> Os <sub>0,06</sub> Fe <sub>0,04</sub> Ni <sub>0,01</sub>
осмий, рутений, иридий -	Os <sub>0,41</sub> Ir <sub>0,28</sub> Ru <sub>0,28</sub> Pt <sub>0,08</sub> Rh <sub>0,02</sub> Fe <sub>0,01</sub> Ni <sub>0,01</sub>



<i>Сульфиды</i>			
<b>Пирассонит</b>		$(\text{Rh}_{16,45}\text{Pt}_{0,61}\text{Ru}_{0,43})_{17,49}\text{S}_{15,00}$	
<b>Маккинстриит</b>		$(\text{Ag}_{1,15}\text{Au}_{0,10}\text{Fe}_{0,10}\text{Cu}_{0,66})_{2,01}\text{S}$	
<i>Гр. Пирротина (Pt,Pd,Au-содержащий)</i>		$\text{Fe}_{1-x}\text{S}$	
<i>Пирит (Pt,Pd,Au-содержащий)</i>		$\text{FeS}_2$	
<i>Халькопирит (Pt,Pd,Au-содержащий)</i>		$\text{CuFeS}_2$	
Марказит		$\text{FeS}_2$	
Сфалерит		$\text{ZnS}$	
<i>Галенит (Pt,Pd,Au,Ag-содержащий)</i>		$\text{PbS}$	
Молибденит		$\text{MoS}_2$	
<i>Борнит (Pd-содержащий)</i>		$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	
Халькозин		$\text{Cu}_2\text{S}$	
Ковеллин		$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{CuS}_2$	
Пенталандит		$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$	
<i>Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, висмутиды, сульфосоли</i>			
<b>Мончеит</b>		$(\text{Pt}_{0,994}\text{Pd}_{0,026}(\text{Bi}_{0,063}\text{Te}_{1,937}))_{2,00}$	
<b>Сперрилит</b>		$(\text{Pt}_{1,01}\text{Fe}_{0,02})_{1,03}(\text{As}_{1,91}\text{S}_{0,09})_{2,00}$	
<b>Петцит</b>		1. $(\text{Ag}_{3,09}\text{Au}_{1,03})_{4,12}\text{Te}_{2,00}$ ; 2. $(\text{Ag}_{3,01}\text{Au}_{0,96})_{3,97}\text{Te}_{2,00}$ ; 3. $(\text{Ag}_{2,99}\text{Au}_{1,04})_{4,03}\text{Te}_{2,00}$	
<b>Гессит</b>		1. $(\text{Ag}_{1,99}\text{Au}_{0,03})_{2,02}(\text{Te}_{0,96}\text{Bi}_{0,04})$ ; 2. $\text{Ag}_{2,01}\text{Te}_{1,00}$	
<b>Креннерит</b>		$(\text{Au}_{0,85}\text{Ag}_{0,16})_{1,01}\text{Te}_{2,00}$	
<b>Цуманит</b>		$\text{Au}_{0,85}\text{Te}_{0,51}\text{Bi}_{0,48}$	
<b>Сильванит</b>		1. $(\text{Au}_{0,55}\text{Ag}_{0,46})_{1,01}\text{Te}_2$ ; 2. $(\text{Au}_{0,72}\text{Ag}_{0,32})_{1,04}\text{Te}_2$	
<b>Вольнскит</b>		$(\text{Ag}_{1,03}\text{Bi}_{1,01})_{2,04}\text{Te}_2$	
<b>Мутманнит</b>		$(\text{Au}_{0,97}\text{Ag}_{1,02})_{1,99}\text{Te}_2$	
<b>Мальдонит</b>		$(\text{Au}_{1,98}\text{Ag}_{0,14})_{2,12}\text{Bi}_{1,00}$	
Алтаит		1. $\text{Pb}_{1,04}\text{Te}_{1,00}$ ; 2. $\text{Pb}_{1,00}(\text{Te}_{0,94}\text{S}_{0,06})_{1,00}$	
Лиллианит		$\text{Pb}_{3,00}\text{Bi}_{2,10}\text{S}_{6,00}$	
Висмутин		$\text{Bi}_{2,04}\text{S}_{2,96}\text{Cu}_{0,04}$	
<i>Хедлиит (Pt-содержащий)</i>		$\text{Te}_{3,00}\text{Bi}_{6,95}$	
Жозеит-А		1. $\text{Te}_{1,00}\text{S}_{2,02}\text{Bi}_{3,68}$ ; 2. $\text{Te}_{1,07}\text{S}_{1,90}(\text{Bi}_{4,01}\text{Cu}_{0,10})_{4,11}$	
Тетрадимит		1. $(\text{Te}_{2,04}\text{S}_{1,00})_{3,04}\text{Bi}_{2,00}$ ; 2. $(\text{Te}_{2,00}\text{S}_{1,00})_{3,00}\text{Bi}_{2,00}$	
<i>Арсенопирит (Pt-содержащий)</i>		$\text{FeAsS}$	
Теннантит		$\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	
Тетраэдрит		$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	
<i>Никельстый кобальтин-герсдорфит (Pd-содержащий)</i>		1. $(\text{Co}_{0,67}\text{Ni}_{0,27}\text{Pd}_{0,04}\text{Fe}_{0,02})\text{AsS}$ ; 2. $\text{Co}_{0,68}\text{Ni}_{0,22}\text{Fe}_{0,07}\text{Pd}_{0,03}$	
Герсдорфит (Pd-содержащий)		$(\text{Ni}_{0,84}\text{Co}_{0,09}\text{Fe}_{0,08}\text{Pd}_{0,02})\text{AsS}$	
Лёллингит никельсодержащий		$(\text{Fe}_{0,82}\text{Ni}_{0,18})\text{As}_2$	
<i>Оксиды, гидрооксиды и др.</i>			
Магнетит	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Лимонит	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Лепидокрокит	$\text{FeO}(\text{OH})$
Ильменит	$\text{FeTiO}_3$	Сидерит	$\text{Fe}[\text{CO}_2]$
Рутил	$\text{TiO}_2$	Ярозит	$\text{Fe}_3(\text{OH})_6[\text{SO}_4]_2$
Касситерит	$\text{SnO}_2$	Барит	$\text{Ba}[\text{SO}_4]$
Уранинит и настуран	$\text{U}_2\text{UO}_7$	Шеелит	$\text{Ca}(\text{W,Mo})\text{O}_4$
Бадделейт	$\text{ZrO}_2$	Монацит	$(\text{Ce,Lu})\text{PO}_4$
Гетит	$\text{FeO}(\text{OH})$	Циркон	$\text{Zr}[\text{SO}_4]$

Ведущая роль (85–90 об. %) в накоплении благородных металлов принадлежит сульфидам и их аналогам. Высокие концентрации сосредоточены в пирите ( $\text{Pd}=0,01\text{--}0,10$  вес. %,  $\text{Pt}=0,02\text{--}0,38$  %;  $\text{Au}=0,02\text{--}0,62$  %), пирротине ( $\text{Pd}=0,01\text{--}0,12$  вес. %,  $\text{Pt}=0,01\text{--}0,44$  %;  $\text{Au}=0,09\text{--}0,51$  %), халькопирите ( $\text{Pd}=0,01\text{--}0,11$  вес. %,  $\text{Pt}=0,07\text{--}0,39$  %;  $\text{Au}=0,02\text{--}0,27$  %), галените ( $\text{Pd}$  до 0,43 вес. %,  $\text{Pt}=0,31\text{--}0,37$  %;  $\text{Au}=0,06\text{--}0,22$  %;  $\text{Ag}=0,06\text{--}0,42$  %), теллуриде висмута ( $\text{Pt}=1,28$  вес. %;  $\text{Au}=0,27$  %), а также в борните ( $\text{Pd}$  до 0,14 вес. %), теннантите ( $\text{Pd} = 0,08$  вес. %), арсенопирите ( $\text{Pt}=0,18$  вес. %) и кобальтине ( $\text{Pd}$  до 2,3 вес. %).

Формы выделения отдельных минералов ЭПГ и Au из железистых кварцитов иллюстрируются рисунком 5.

Существенную роль в распределении благородных металлов играют широко развитые коры выветривания железистых кварцитов, представленные двумя морфогенетическими типами: линейные и площадные. В целом, содержания благородных металлов в корях выветривания не превышают первых процентов, при значительном преобладании самородного золота различной морфологии (округлые, губчатые, октаэдрические и кубоктаэдрические микрокристаллы; рис. 6) над ЭПГ [6, 16].

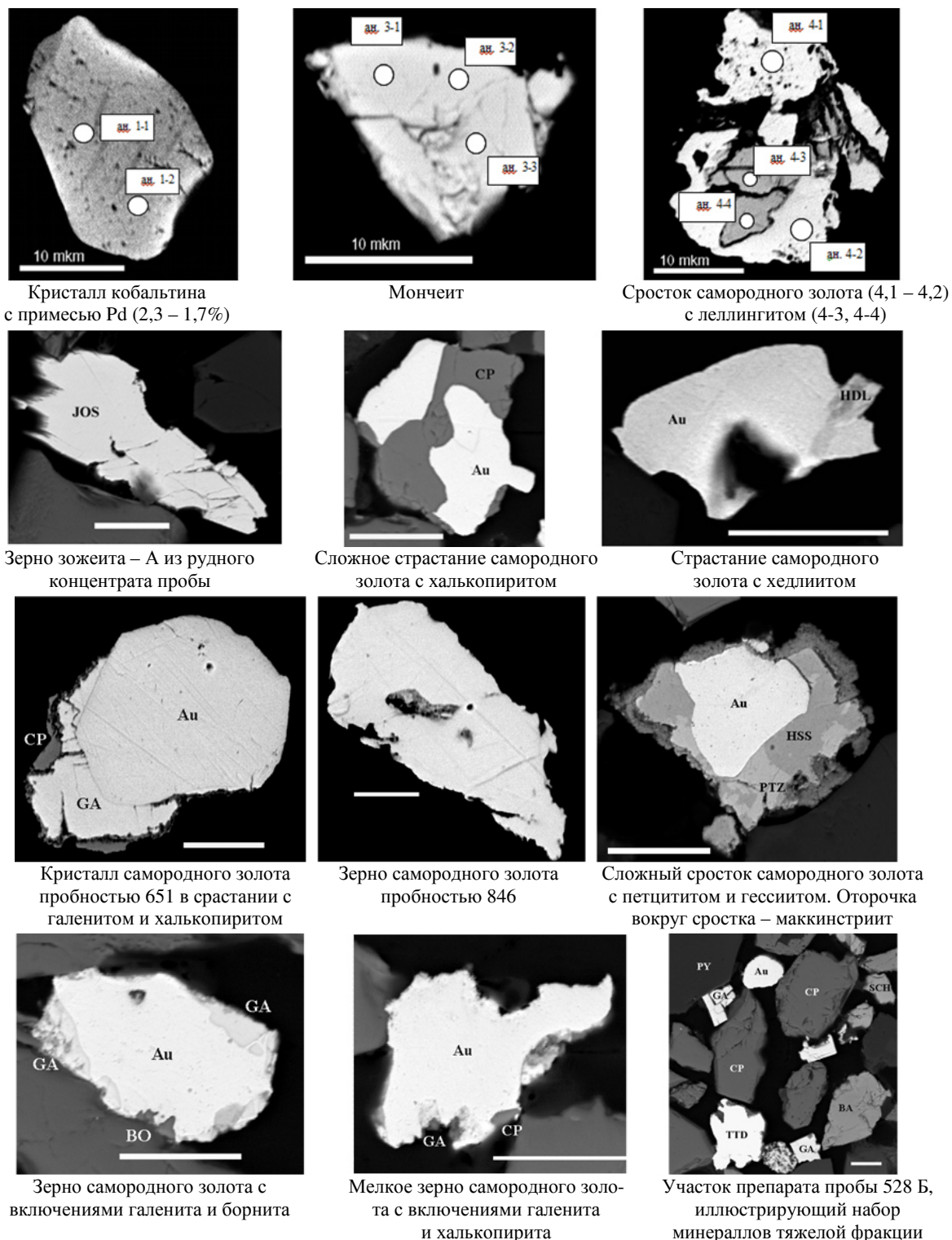


Рис. 5. Формы выделения отдельных минералов ЭПГ и Au из железистых кварцитов Лебединского месторождения.

В коре выветривания, помимо самородного золота, установлены собственные минеральные фазы благородных металлов: сперрилит, осмирид (невьянскит), иридосмин (сысертскит), рутенистый платосмирид, рутениридосмин, платиносодержащий рутениридосмин, осмий самородный, платиридосмин и др., свидетельствующие об унаследованном от продуцентов

(железистые кварциты) характере их состава.

Отрабатываемые карьерами и шахтами благороднометалльносодержащие железные руды пяти месторождений перерабатываются тремя ГОКами с формированием в процессе обогащения огромной массы хвостоотвалов. Вместе с тем, промпродукты действующих горнорудных предприятий КМА, добывающих

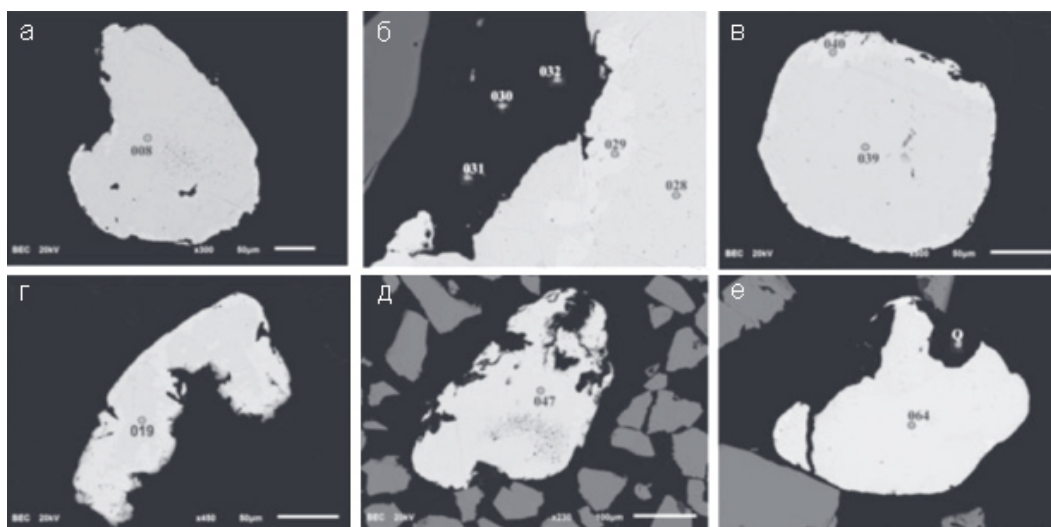


Рис. 6. Зерна самородного золота из коры выветривания Стойленского месторождения

и перерабатывающих около 50 % железных руд России, выступают в качестве нового, нетрадиционного и одного из крупнейших по ресурсам золота и платиноидов источника, выделяемого в особый курско-белгородский техногенный тип месторождений благороднометалльного сырья XXI века [1, 3, 4, 17–21]. Результаты исследований по распределению благородных металлов в пробах концентратов, хвостов и продуктах циклов измельчения железных руд на Михайловском и Лебединском ГОКах, обогащенных с использованием концентратора «Knelson 3,5», показывают, что максимальным концентрированием платиноидов и золота характеризуется гравитационный концентрат из песков гидроциклона (Ru=20 мг/т, Rh=80 мг/т, Pd=520 мг/т, Os=50 мг/т, Ir=100 мг/т, Pt=700 мг/т, Au=25200–43500 мг/т) и немагнитная фракция гравитационного концентрата (Pd=400 мг/т, Pt=200 мг/т, Au=15000 мг/т, Ag=9 г/т). Особенно эффективно пески гидроциклонов обогащаются золотом. Его содержание в черновом концентрате из песков гидроциклона на Михайловском и Лебединском ГОКах составило 43500 мг/т и 69300 мг/т при извлечении соответственно 46,3 % и 58,4 % и высокой степени концентрирования (табл. 7, 8, 10).

В гравитационном концентрате из промпродуктов установлены [10–12] следующие минералы ЭПГ, Au и Ag: самородные Au, Os, Ru; рутениридосмин ( $\text{Os}_{0,44}\text{Ru}_{0,39}\text{Ir}_{0,1}\text{Ni}_{0,03}\text{Cu}_{0,02}\text{Pt}_{0,01}$ ); платрутеносмиридий ( $\text{Pt}_{0,34}\text{Ru}_{0,32}\text{Os}_{0,17}\text{Ir}_{0,17}$ ); иридрутеносмид ( $\text{Ru}_{0,5}\text{Ir}_{0,21}\text{Os}_{0,19}\text{Pt}_{0,08}\text{Rh}_{0,01}$ ); электрум ( $\text{Au}_{0,48}\text{Ag}_{0,52}$ ); кюстелит ( $\text{Au}_{0,17}\text{Ag}_{0,83}$ ); прассоит ( $(\text{Rh}_{16,45}\text{Pt}_{0,61}\text{Ru}_{0,43})_{17,49}\text{S}_{15,00}$ ); мончеит ( $(\text{Pt}_{0,994}\text{Pd}_{0,026}(\text{Bi}_{0,063}\text{Te}_{1,937}))_{2,00}$ ); сперрилит ( $(\text{Pt}_{1,01}\text{Fe}_{0,02})_{1,03}(\text{As}_{1,91}\text{S}_{0,09})_{2,00}$ ); петцит ( $(\text{Ag}_{3,09}\text{Au}_{1,03})_{4,12}\text{Te}_{2,00}$ ).

При годовом сбросе действующими ГОКами около 50 млн. т, за более чем 40 лет накопилось свыше 1,3 млрд т твёрдой массы. При ежегодном поступлении в хвосты обогащения Лебединского и Михайлов-

ского ГОКов около 5 т извлекаемого золота и около 3 т платиноидов на базе хвостохранилищ за последние 40 лет создано два крупных техногенных объекта золото-платинодобычи с суммарным содержанием благородных металлов свыше 200 т [17, 19–23].

По оценкам ряда исследователей [23, 24] прогнозные ресурсы только золота в железистых кварцитах КМА и подстилающих их золотоносных конгломератах стойленской свиты оцениваются не менее чем 2000 т, а с учетом ЭПГ не менее 3000 т, в том числе по золоту – на Панковском участке – 120 т, Коробковском поле – 140 т, Лебединском – 195 т, Стойленском – около 100 т, Михайловском месторождении – 164 т. Прогнозные ресурсы ЭПГ железорудных месторождений КМА оцениваются примерно в количестве 200 т [22, 23].

Вместе с тем эти данные не включают ресурсы благородных металлов в накопленных хвостоотвалах ГОКов и комбината «КМА-Руда». Только на Михайловском месторождении в хвостоотвалах ГОКа, накопленных за 30 лет, ресурсы золота подсчитаны в количестве 150 т, при среднем его содержании 0,32–0,35 г/т.

Технико-экономические расчеты показывают, что в настоящее время рентабельная промышленная попутная добыча золота может быть организована без существенного нарушения технологического режима основного производства и без его дорогостоящей реконструкции в короткие сроки на основе применения современных наукоемких и экологически безопасных технологий (без существенного нарушения технологического режима основного производства), позволяющих извлекать частицы мелкого и тонкого золота из песков или отходов обогащения. Первоочередными объектами представляются отходы обогащения текущего передела. При этом технологические схемы должны быть экологически максимально безопасными, экономически оправданными, направленными на

Таблица 10

## Содержания благородных металлов в рудах и технологических продуктах Михайловского и Лебединского месторождений

Место-рожде-ние	Типы руд и технологические продукты	Содержания, мг/т							
		Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Au	Ag, г/т
Михайловское	Аглоруда	<5	<20	25	<10	<5	30	60	<2
	Убого минерализованные окисленные кварциты			<20			<50	50	<2
	Гравитационный концентрат из убого минерализованных окисленных кварцитов			<20			<50	120	<2
	Гравитационный концентрат из песков классификатора			80			120	7300	
				80			110	9700	
	Гравитационный концентрат из песков гидроциклонов	20	80	520	50	100	700	30000	
				200			100	25200	
				330			200	43500	
	Гравитационный концентрат из отвальных хвостов обогащения			<20			<50	500	
	Отвальные хвосты обогащения			22			15	42	<2
Мономинеральная фракция пирита			20			15	3500	6	
Магнетитовый концентрат			<20			<10	22	<2	
Лебединское	Отвальные хвосты обогащения			29			19	75	2
	Гравитационный концентрат из хвостов обогащения			38			25	76100	12
	Магнитная фракция гравитационного концентрата			20			15	90	<2
	Немагнитная фракция гравитационного концентрата			400			200	15000	9

рациональное извлечение не только золота и платиноидов, но и других полезных компонентов. Ускоренное развитие и реализация научных разработок в области изучения, оценки и освоения новых нетрадиционных крупнообъемных источников благороднометалльного сырья, сосредоточенного в черносланцевых толщах, железорудных кварцитах и их промпродуктах, в условиях резкого увеличения производства и потребления золота и платиновых металлов может составить надежный базис устойчивого долгосрочного развития этой высокоэффективной отрасли экономики.

### Выводы

Минерально-сырьевые ресурсы составляющие, по существу, основу современного и ближайшего будущего существования и развития человечества, сформировались в течение длительной (более 4,5 млрд лет) истории становления Земли и являются невозобновляемыми. Проблема наиболее полного освоения минеральных ресурсов и их использования была и остается одной из важнейших и, вместе с тем, слабо разрабатываемой в мировой и отечественной экономике. По данным ряда исследований в горнорудной промышленности коэффициент использования извлекаемой из недр горной массы составляет не более 10% и только за счёт комплексного освоения месторождений с применением новейших технологий можно увеличить годовой объём продукции на 15%, снизив таким образом её себестоимость на 20–30% и уменьшить затраты на капитальные вложения на 40–50%.

С этих позиций особое экономическое и вместе с тем экологическое значение приобретает решение проблемы комплексного освоения и глубокой переработки золото-платиносодержащих железистых кварцитов и техногенных продуктов железорудных место-

рождений КМА.

Уникальные по ресурсам благородных металлов, связанные с терригенно-осадочными породными ассоциациями курской (курский и старооскольский типы) серии и пространственно сопряженные с позднеархейскими зеленокаменными поясами КМА, месторождения принадлежат к пяти геолого-генетическим типам (осадочно-метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический, гидротермально-метасоматический, гипергенно-метасоматический, осадочный, техногенный) единой длительно формирующейся полигенной и полихронной рудообразующей системе в условиях сопряженной деятельности нескольких разнородных источников рудного вещества.

Золото-платинометалльное оруденение в железистых кварцитах и сланцах характеризуется сложным полиминеральным (более 60 минералов) и многокомпонентным составом. Определяющими особенностями благороднометалльного оруденения в железистых кварцитах и сланцах является многообразие форм концентрирования и широкое развитие (свыше 30) собственных минеральных фаз ЭПГ, Au и сопутствующих им элементов (Ag, Te, Bi) в виде самородных металлов (Au, Os, Ru, Ir, Bi), металлических твёрдых растворов, интерметаллических и других типов соединений. Постоянным присутствием примесей благородных металлов характеризуются сульфиды и сульфосоли, что определяет необходимость разработки принципиально новых экологически безопасных технологий извлечения всего комплекса металлов.

Регион КМА с развитой инфраструктурой является наиболее крупным в России горнорудным районом с реальными возможностями попутного извлечения золота и платиноидов из железистых кварцитов, сланцев и текущих промпродуктов, выступает в качестве надежной основы для создания в текущем

столетии новой Центрально-Европейской базы золото-платинодобычи с целью обеспечения минерально-сырьевой безопасности страны и долгосрочного устойчивого социально-экономического развития крупного региона России.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2014–2016 годы. Проект № 853.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов, Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.
2. Додин, Д. А. Платинометалльные месторождения России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, Б. А. Яцкевич. – СПб: Наука, 2000. – 755 с.
3. Чернышов, Н. М. Золото-платинометалльное оруденение в железистых кварцитах и сланцах КМА — единая рудообразующая система / Н. М. Чернышов. // *Минерал. журн.* – 2015. – 37. – № 3. – С. 78–97.
4. Чернышов, Н. М. Платиноносные формации Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. // *Мат. междунар. симпозиума: Платина в геологических формациях мира.* – 2010. – С. 231–243.
5. 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.* – 2011. – Т. VII. – С. 161–181.
6. Чернышов, Н. М. Типы, состав и генетические особенности золото-платинометалльного оруденения в железистых кварцитах Старооскольского рудного района КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, О. Г. Резникова. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2014. – 154 с.
7. Орлов, В. П. Железные руды КМА / В. П. Орлов, И. А. Шевырев, Н. А. Соколов. – М. : ЗАО «Геоинформмарк», 2001. – 616 с.
8. Чернышов, Н. М. Первые находки минеральных форм элементов платиновой группы в железистых кварцитах КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов и др. // *Докл. РАН.* – 2003. – Т. 391. №1. – С. 104–107.
9. Чернышов, Н. М. Особенности распределения и формы нахождения благородных металлов в железистых кварцитах Михайловского месторождения КМА и их техногенных продуктов (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, С. В. Петров, С. П. Молотков. // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология.* – 2003. – №1. – С. 93–104.
10. Чернышов, Н. М. Новые данные о формах нахождения благородных металлов в коре выветривания железистых кварцитов Михайловского месторождения КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, М. М. Понамарева. // *Докл. АН.* – 2012. – Т. 443. – № 3. – С. 337–341.
11. Кузнецов, В. С. Золото-платинометалльное оруденение в межрудных сланцах стойленского железорудного месторождения КМА (типы, состав и генетические особенности) : Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / В. С. Кузнецов. – Воронеж. – 2010. – 24 с.
12. Чернышов, Н. М. Новые минеральные формы платиноидов и золота в железистых кварцитах Лебединского месторождения КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, С. В. Петров. // *Докл. РАН.* – 2006. – Т. 408. – №4. – С. 586–589.
13. Чернышов, Н. М. Благороднометаллыносодержащие парагенезисы сульфидов и их аналогов в железорудных месторождениях КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология.* – 2007. – №4. – С. 101–114.
14. Чернышов, Н. М. Сульфидная минерализация, содержащая благородные металлы, в межрудных сланцах Стойленского железорудного месторождения / Н. М. Чернышов, В. С. Кузнецов. // *Известия высших учебных заведений. Сер. "Геология и разведка".* – 2011. – №2. – С. 17–23.
15. Додин, Д. А. Металлогения платиноидов крупных регионов России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, О. И. Чередникова. – М. : ОАО "Геоинформмарк", 2001. – 302 с.
16. Понамарева, М. М. Геология, закономерности распределения и условия формирования золото-платинометалльного оруденения в коре выветривания железистых кварцитов Старооскольского и Михайловского железорудных районов КМА: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. / М. М. Понамарева. – Воронеж. – 2013. – 25 с.
17. Шелехов, А. Н. Месторождения железистых кварцитов и продукты их передела — новый перспективный источник золото-платинометалльного сырья в XXI в. (на примере Центральной России) / А. Н. Шелехов, В. А. Лючкин, Ю. С. Ляховкин. // *Платина России.* – 1999. – Т. III. – кн. 2. – С. 289–294.
18. Додин, Д. А. Платина России: состояние и перспективы / Д. А. Додин и др. // *Литосфера.* – 2010. – №1. – С. 3–36.
19. Тигунов, Л. П. Проблемы и перспективы попутного получения благородных металлов из нетрадиционных источников минерального сырья / Л. П. Тигунов, Л. З. Быховский. // *Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов. Матер. Всеросс. симпозиума.* – 2002. – С. 381–384.
20. Чернышов, Н. М. Проблема комплексного освоения недр Земли в условиях быстрых антропогенных изменений (на примере железорудных предприятий КМА, Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. // *Экология антропогена и современности: Природа и человек.* – 2004. – С. 524–528.
21. Чернышов, Н. М. Техногенные продукты железорудных месторождений-гигантов КМА — новый крупный объект золото-платинодобычи XXI столетия и проблемы его комплексного освоения в условиях экологических ограничений / Н. М. Чернышов. // *Регион: системы, экономика, управление.* – 2010. – №1. – С. 27–44.
22. Попкова, Н. В. Золотоносность докембрийских образований Михайловского рудного узла (КМА): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. / Н. В. Попкова. – СПб. – 2003. – 21 с.
23. Кушнеренко, В. К. Золото и другие элементы в железорудных месторождениях КМА (к проблеме комплексного использования) / В. К. Кушнеренко, Ю. М. Шувалов, В. М. Мятлин. // *Региональная геология и металлогения.* – 1999. – №9. – С. 120–124.
24. Лючкин, В. А. Предпосылки промышленных месторождений золота на территории Курской магнитной аномалии / В. А. Лючкин, В. А. Казанцев. // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология.* – 1997. – №3. – С. 95–99.

*Воронежский государственный университет*

*Чернышов Николай Михайлович, член-корреспондент Российской академии наук, заслуженный деятель науки РФ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии, петрографии и геохимии, руководитель НОЦ «Геология рудных месторождений Центральной России» ВГУ-ИГЕМ РАН.  
Тел. 8(473) 220-86-81; E-mail: petrology@list.ru*

*Voronezh State University*

*Chernyshov N. M., 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.  
Tel.: 8(473) 220-86-81; E-mail: petrology@list.ru*