

### ТЕХНОГЕННЫЙ ЗОЛОТО-ПЛАТИНОИДНЫЙ ТИП МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ)

Член-корр. РАН Н. М. Чернышов

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 1 марта 2010 г.

**Аннотация.** Хвостохранилища продуктов ГОКов КМА (более 1,3 млрд т твердой массы) рассматриваются в качестве одного из крупнейших по ресурсам техногенного типа месторождений благороднометалльного сырья XXI столетия. Приведены данные о распределении золота и платиноидов в хвостах и других промпродуктах обогащения железных руд. Первичным источником являются пять генетически различных природных типов благороднометалльного оруденения с широким развитием собственных минеральных фаз Au и ЭПГ и их включениями и примесными формами в сульфидах, сульфосеннидах и их аналогах. Выявлены основные факторы негативного влияния ежегодного выброса в атмосферу огромной массы (свыше 1 млн т) пылевидных частиц хвостохранилищ, которые следует учитывать при выборе безопасных технологий.

**Ключевые слова:** золото, платиноиды, железные руды, техногенные продукты, хвостоотвалы, КМА, пылевидные частицы, экологические ограничения.

**Abstract.** The tail heaps of factory products of KMA mining-concentrating works (more than 1,3 billion tons of solid mass) are treated as one of the largest technogenic resources of noble metal raw materials in the XXI century. The data on the distribution of gold and platinumoids in tailings and other factory products of iron ore processing are presented. The primary source is the five genetically different natural types of noble metal mineralization with the extensive development of independent mineral phases of Au and PGE and their inclusions and impurity forms in sulfides, sulfoarsenides and their analogues. The main factors of the negative impact of the annual emission to the atmosphere of a huge amount (more than 1 million tons) of tailings dust particles which should be taken into account when choosing safe technologies are pointed out.

**Key words:** gold, platinumoids, iron ores, technogenic products, tail heaps, KMA, dust particles, ecological restrictions

Одной из важнейших, но слабо разработанных в мировой и отечественной экономике является проблема оценки, наиболее полного комплексного использования и глубокой переработки минерального сырья на основе новейших наукоемких технологий. Эта проблема приобретает особое значение при комплексном освоении золото-платиносодержащих железорудных месторождений КМА и продуктов их переработки, выступающих в качестве нового нетрадиционного крупнообъемного источника благородных металлов [1–7]. По оценкам ряда исследователей [1] прогнозные ресурсы золота только в железистых кварцитах КМА и подстилающих их конгломератах стойленской свиты оцениваются не менее 2000 т, а с учетом платиноидов – более 2500 т [8], при этом эти дан-

ные не включают ресурсы благородных металлов в накопленных хвостоотвалах.

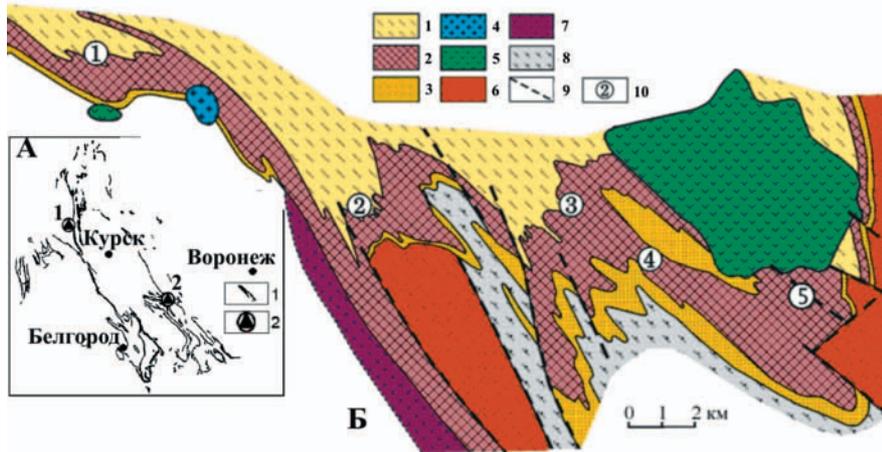
#### Особенности распределения благородных металлов в продуктах переработки железных руд

В мегаблоке КМА сосредоточен ряд супергигантских (Михайловское, Лебединское) и гигантских (Коробковское, Стойленское, Стойло-Лебединское) месторождений (рис. 1), связанных с железисто-кремнисто-сланцевой формацией нижнего карелия (в объеме курской серии). Две трети разведанных запасов железистых руд России сосредоточено в этих пяти месторождениях [2, 9].

Отрабатываемые карьерами и шахтами благороднометаллосодержащие железные руды этих месторождений перерабатываются тремя ГОКами с формированием в процессе обогащения огромной массы хвостоотвалов. При годовом сбросе около

50 млн т в хвостохранилищах за более чем 35 лет накопилось свыше 1,3 млрд т твердой части хвостов, которые совместно с крупнейшими карьерами не только существенно преобразовали ландшафтный облик региона, но и создали высокую экологическую напряженность [3, 4]. Вместе с тем, промпродукты действующих горнорудных пред-

приятий КМА, добывающих и перерабатывающих около 53 % 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 в. [2, 10–12].



**Рис. 1.** Местоположения рудных районов КМА (а): 1 — железистые кварциты; 2 — рудные районы: Михайловский (1) и Старооскольский (2); схематическая геологическая карта Старооскольского железорудного узла (б): нижний протерозой – курская серия: 1–2 – коробковская свита: 1 – верхняя сланцевая подсвита ( $PR_1^1kr_4$ ), 2 – верхняя и нижняя железорудные подсвиты с внутрирудной (нижней) сланцевой подсвитой ( $PR_1^1kr_{3-1}$ ); 3 – стойленская свита ( $PR_1^1st$ ) – кварцитопесчаники, кварц-сланцевые сланцы; 4 – микроклиновые граниты атаманского комплекса ( $\gamma PR_1^2a$ ); 5 – габбродиориты, кварцевые диориты стойло-николаевского комплекса ( $\gamma \delta 35_1^1sn$ ); 6 – нерасчлененный гранитогнейсовый комплекс ( $m\gamma(AR-PR_1^1)$ ) – гранитогнейсы, мигматиты, гнейсы, прослои и линзы амфиболитов; верхний архей; 7 – плагиограниты салтыковского комплекса ( $\gamma AR_2sl$ ); 8 – михайловская серия ( $AR_2mh$ ); 9 – разломы; 10 – месторождения: 1) Панковское, 2) Коробковское, 3) Лебединское, 4) Стойло-Лебединское, 5) Стойленское

В конце 70-х гг. прошлого столетия были выполнены первые широкомасштабные исследования по оценке золотоносности из различных продуктов переработки (общие хвосты, скважинные пробы из хвостохранилища, пробы всех стадий магнитной сепарации и флотации) железных руд Лебединским и Михайловским ГОКа (табл. 1; [13]). В последующие годы эти исследования были дополнены новыми данными (табл. 2, 3; [8]). Во всех случаях исходные хвосты минералогически представлены гематитом, магнетитом, гидроксидами железа, сульфидами (пирит, халькопирит, марказит, арсенипирит, галенит, сфалерит), кварцем, амфиболами, в меньшем количестве – гранатом, цирконом, рутилом, ильменитом и единичными зернами самородного золота.

Результаты этих исследований выявили [3, 8, 10]: а) значительные вариации в распределении золота как в исходных пробах различных участков хвостохранилищ действующих ГОКов (Au от 0,02

до 0,60 г/т), так и в полученных из них концентратах (Au от 0,45 до 12,6 г/т; см. табл. 1); б) многократное (относительно исходных продуктов) обогащение золотом концентратов первой стадии флотации хвостов магнитной сепарации (Au до 26,7 г/т; см. табл. 2), общих хвостов и скважинных проб (Au до 27,2 г/т; см. табл. 3) и отчетливое снижение его содержаний в промпродуктах последующих стадий.

Важными особенностями продуктов переработки железных руд являются сравнительно высокие значения извлекаемости золота и степени обогащения этим металлом при флотации хвостов магнитной сепарации (табл. 4). Наиболее высокие параметры извлечения (63,1–82,9 % при выходе от 1,0 до 2,0 %) и степени обогащения (32,4–43,1) присущи различным по содержанию золота (Au от 1,3 до 9,7 г/т) флотационным концентратам, при этом значения этих величин возрастают в хвостах конечных (III–V) стадий магнитной сепарации.

Таблица 1

Содержание золота в общих хвостах обогащения железистых кварцитов Лебединского и Михайловского ГОКов КМА

№ п/п	Место отбора (положения) проб	Исходный вес, кг	Вес концентрата, кг	Содержание Au, г/т		
				в исходной пробе	в концентрате	в пересчете на исходные хвосты
Лебединский ГОК						
1	Из пульпопровода	2,8	0,34	0,02	0,45	0,08
2	Из устья пульпопровода	79,15	1,01	н.б.*	0,75	0,01
3	Шлейф рассеяния у устья пульпопровода	4,3	0,25	0,04–0,28	2,67	0,16
4	Центральная часть хвостохранилища	3,2	0,25	0,02	12,6	1,0
5	Донный осадок вдоль потока пульпы по хвостохранилищу	54,1	1,40	0,22–0,46	8,3	0,21
Михайловский ГОК						
6	Шлейф рассеяния из устья пульпопровода в хвостохранилище	5,4	0,34	0,02	8,72	0,55
7	В 50 м от устья пульпопровода	3,4	0,45	0,12–0,60	1,73	0,23

Примечание. Здесь и далее: н.б. – элемент не обнаружен; н.о. – элемент не определялся.

Таблица 2

Распределение золота в различных продуктах обогащения железорудного сырья Лебединского ГОКа

№ проб (индекс)	Тип пробы	Вес, кг	Наименование продуктов флотации	Выход продуктов		Содержание Au, г/т	
				г	%	В продуктах флотации	В пересчете на исходные хвосты
ЛГ-8	Хвосты магнитной сепарации 1-й стадии	2,0	Концентрат	28	1,4	26,7	0,82
			Промпродукт III	12	0,6		
			Промпродукт II	60	3,0		
			Промпродукт I	160	8,0		
			Хвосты	1740	87,0		
ЛГ-9	Хвосты магнитной сепарации 2-й стадии	2,29	Концентрат	60	2,0	7,5	0,19
			Промпродукт II	160	5,4		
			Промпродукт I	30	1,0		
			Хвосты	2740	91,6		
ЛГ-10	Хвосты магнитной сепарации 3-й стадии	2,99	Концентрат	60	2,0	8,4	0,22
			Промпродукт II	45	1,5		
			Промпродукт I	232	7,8		
			Хвосты	2652	88,7		
ЛГ-7	Общие хвосты фабрики	2,0	Концентрат	40	2,0	4,5	0,14
			Промпродукт III	12	0,6		
			Промпродукт II	41	2,1		
			Промпродукт I	144	7,2		
			Хвосты	1760	81,1		
ЛГ-15	Общие хвосты фабрики	8,0	Концентрат I	93	1,16	6,6	0,2
			Концентрат II	90	1,12		
			Промпродукт III	410	5,13		
			Промпродукт II	135	1,69		
			Промпродукт I	60	0,75		
			Хвосты	7272	90,15		

Результаты анализа скважинных проб из хвостов обогащения железистых кварцитов  
Лебединского ГОКа

№ п/п	№ скв.	Интервал опробования		Длина интервала, м	Содержание золота по результатам пробирного анализа с предварительным концентрированием и флотацией				Вес технологической пробы, кг
		от	до		В продуктах флотации			В пересчете на исходные хвосты, г/т	
					Продукты	Выход, %	Содержание, г/т		
1	5976	0,0	4,5	4,5	Концентрат I	1,37	5,5	0,3	3,0
					Концентрат II	0,77	2,8		
		4,5	12,0		6,0	Промпродукт III	1,9		
					Промпродукт II	4,4	0,2		
					Промпродукт I	13,8	1,0		
					Хвосты	77,7	н.о.		
2	5984	1	4,5	3,5	Концентрат I	1,0	27,2	0,7	3,0
		4,5	9,0	4,5	Концентрат II	0,73	10,4		
		9,0	12,0	3,0	Промпродукт III	2,23	0,4		
		12,0	15,0	3,0	Промпродукт II	5,03	0,8		
					Промпродукт I	12,43	2,5		
					Хвосты	78,5	н.о.		
3	5985	1,5	3,0	1,5	Концентрат I	0,9	3,5	0,16 (на интервале 1,5–18 м)	3,290
		3,0	7,5	4,5	Концентрат II	0,9	1,5		
		7,5	12,0	4,5	Промпродукт III	3,2	0,3		
					Промпродукт II	6,4	0,2		
					Промпродукт I	12,2	0,7		
					Хвосты	75,4	н.о.		
4	5989	1,5	6,0	4,5	Концентрат I	1,2	3,3	0,096 (на интервале 1,5–24,0 м)	5,0
		12	18	6,0	Концентрат II	6,6	3,9		
		18	24	6,0	Промпродукт III	0,9	0,9		
					Промпродукт II	2,9	0,4		
					Промпродукт I	7,1	0,2		
					Хвосты	87,6	н.о.		
5	5991	14	24	10	Концентрат I	1,0	17,6	0,46	3,5
					Концентрат II	0,6	10,0		
					Промпродукт III	1,7	0,4		
					Промпродукт II	3,0	0,5		
					Промпродукт I	8,1	2,5		
					Хвосты	85,6	н.о.		
6	5992	1,5	10,5	9,0	Концентрат I	1,93	6,0	0,197	3,47
					Концентрат II	0,72	7,4		
					Промпродукт III	0,81	1,1		
					Промпродукт II	1,73	0,5		
					Промпродукт I	5,31	0,2		
					Хвосты	89,5	н.о.		

Примечание: таблицы 2–4 составлены по материалам Лебединского ГОКа.

Результаты флотации хвостов магнитной сепарации железистых кварцитов Лебединского ГОКа с оценкой процента извлечения золота и степени обогащения\*

№ п/п	Наименование продуктов	Выход, %	Содержание золота, г/т	Извлечение золота, %	Степень обогащения	Примечание
1	Концентрат	2	4,5	63,1	32,1	Общие хвосты фабрики
	Промпродукт III	0,6	1,7	7,1		
	Промпродукт II	2,1	0,5	7,4		
	Промпродукт I	7,2	0,2	10,1		
	Хвосты флотации	88,1	0,02	12,3		
	Исходное	100	0,14	100		
2	Концентрат	2,3	5,9	78,3	34,7	Общие хвосты фабрики
	Промпродукт III	0,7	1,6	7,0		
	Промпродукт II	1,7	0,9	8,8		
	Промпродукт I	5,1	0,2	5,9		
	Хвосты флотации	90,2	н.о.	–		
	Исходное	100	0,17	100		
3	Концентрат	2,0	8,4	76,2	38,1	Хвосты II стадии магнитной сепарации
	Промпродукт II	1,5	1,1	7,5		
	Промпродукт I	7,8	0,12	4,2		
	Хвосты флотации	88,7	0,03	12,1		
	Исходное	100	0,22	100		
4	Концентрат	1,9	5,6	82,9	43,1	Хвосты IV стадии магнитной сепарации
	Промпродукт II	1,5	0,8	4,7		
	Промпродукт I	8,0	0,2	12,4		
	Хвосты флотации	88,6	н.о.	–		
	Исходное	100	?	100		
5	Концентрат	1,9	1,3	74,2	39,1	Хвосты V стадии магнитной сепарации
	Промпродукт II	2,4	0,08	5,8		
	Промпродукт I	11,1	0,06	20,0		
	Хвосты флотации	84,6	н.о.	–		
	Исходное	100	0,03	100		

\* Степень обогащения – отношение содержания металла в исходной пробе к его содержанию в концентрате.

В самое последнее время по хвостам обогащения текущей добычи железистых кварцитов Михайловского ГОКа, содержащим 0,3–0,35 г/т золота, выполнены лабораторно-технологические исследования [1, 6, 14], в результате которых получен гравитационный концентрат с содержанием золота 14,0 г/т при извлечении 41,9 % и выходе 1,1 %. Содержание золота в промпродукте 2,5 г/т при извлечении 20,4 % и выходе 3,0 %. Все золото крупностью менее 50 мкм. В опытах с флотационным обогащением хвостов получен концентрат с содержанием золота 35,4 г/т при извлечении 50,6 % и выходе 0,5 %. В промпродукте содержание золота 2,2 г/т при извлечении 22,0 % и выходе 3,5 %. Более высокое содержание получено за счет извлечения ультратонкого золота.

Гравитационным и флотационным способами обогащения отвальных хвостов Лебединского и

Михайловского ГОКов еще в начале 90-х годов XX столетия была доказана возможность получения из них концентратов с товарным содержанием золота. Золото мелкое и тонкое от 1–5 до 50 мкм и легко извлекается из концентратов [13, 15–18]. Объемы складированных хвостов и содержание в них золота сопоставимы с природными россыпными, средними и крупными месторождениями мелкого и тонкого золота, ресурсы которых непрерывно пополняются хвостами текущей добычи. При содержании золота в хвостах обогащения текущей добычи (0,1–0,2 г/т, в среднем 0,14 г/т) и лежалых хвостах (0,04–0,7 г/т) только лишь Лебединского ГОКа (действующего с 1974 г.) и годовом сбросе 28 млн т ежегодно в хвостохранилище поступает более 2 т извлекаемого золота, а его общие ресурсы сопоставимы с запасами крупных золотоносных объектов [14, 19]. На Михайловском ГОКе ежегодно накапливается око-

ло 4 т золота, т. е. за 35 лет хвостохранилище стало крупным техногенным объектом, содержащим более 100 т золота [2, 11, 19].

Значимость этих объектов существенно возрастает при учете содержащихся в них платиноидов. Системным опробованием на благородные металлы лежалых хвостов из хвостохранилищ Лебединского и Михайловского месторождений выявлено постоянное присутствие в них платиноидов (Pd, Pt) и золота при заметном преобладании послед-

него, отражая тем самым отчетливую взаимосвязь этих металлов в исходных железных рудах [8].

При этом существенное обогащение техногенных продуктов Pt, Pd и Au происходит как за счет немагнитной фракции (табл. 5), так и сульфидного концентрата (табл. 6; [20]).

Столь высокие содержания Au, Pd и Pt определяются прежде всего значительным их концентрированием в сульфидах, сульфоарсенидах и теллуридах (табл. 7).

Таблица 5

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

Фракции	Pt	Pd	Au	Pt	Pd	Au	Pt	Pd	Au	Pt	Pd	Au
	A18/2			A18/4			B18/2			9/8		
1	<b>0,013</b>	<b>0,019</b>	<b>0,030</b>	<b>0,021</b>	<b>0,014</b>	<b>0,050</b>	<b>0,035</b>	<b>0,035</b>	<b>0,100</b>	<b>&gt; 0,08</b>	<b>&gt; 0,004</b>	<b>&gt; 0,012</b>
2	0,88	0,36	2,1	0,2	0,3	0,9	1,2	1,2	3,2	н.о.	н.о.	н.о.
3	0,02	0,08	0,03	0,08	0,03	0,12	0,1	0,23	0,045	н.о.	н.о.	н.о.
4	<b>0,05</b>	<b>0,09</b>	<b>0,11</b>	<b>0,09</b>	<b>0,05</b>	<b>0,17</b>	<b>1,17</b>	<b>1,17</b>	<b>3,10</b>	<b>6,5</b>	<b>3,3</b>	<b>10,0</b>
5	< 0,01	< 0,01	0,015	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,05	< 0,02	< 0,02

Примечание. Лебединское месторождение: A18/2 – слаборудный магнетитовый кварцит; B18/2 – углеродсодержащий безрудный кварцит; A18/4 – гематит-магнетитовый кварцит; Михайловское месторождение: 9/8 – малорудный железистый кварцит; Фракции: 1 – исходная проба; 2 – немагнитная фракция; 3 – магнитная фракция; 4 – гравитационный концентрат; 5 – хвосты гравитации; н.о. – содержание элемента не определялось.

Таблица 6

Результаты анализа флотационных концентратов из сульфидизированных магнетитовых кварцитов

Пробы	Выход сульфидного концентрата, %	Содержание, г/т			Минеральный состав флотоконцентрата
		Pt	Pd	Au	
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	
A18/2	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	
B18/2	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	

Примечание. «Прочие» – слоистые силикаты, амфиболы и другие силикаты, карбонаты, углеродистое вещество, гематит, магнетит, ильменит и другие оксиды.

Таблица 7  
Химический состав некоторых благороднометаллосодержащих сульфидов и их аналогов из железистых кварцитов, метасоматитов и рудовмещающих пород Лебединского месторождения

	1(1)	2(1)	3(21)	4(3)	5(4)	6(9)	7(4)	8(7)	9(4)	10(2)	11(1)	12(1)	13(1)
S	50,09	50,03	$\frac{49,32-52,47}{50,56}$	$\frac{48,5-50,02}{49,42}$	$\frac{36,33-37,98}{36,84}$	$\frac{37,38-36,06}{36,85}$	$\frac{35,15-37,69}{36,70}$	$\frac{31,96-33,08}{32,68}$	$\frac{13,37-13,88}{13,52}$	$\frac{25,29-28,28}{26,79}$	25,72	19,89	1,65
Fe	47,53	47,87	$\frac{47,17-48,94}{48,0}$	$\frac{47,67-48,17}{47,85}$	$\frac{61,42-62,12}{61,93}$	$\frac{59,79-62,05}{60,95}$	$\frac{59,60-61,32}{60,63}$	$\frac{30,24-33,27}{31,32}$	$\frac{0,07-0,98}{0,64}$	$\frac{11,35-15,34}{13,35}$	2,38	33,72	0,56
Ni	-	0,09	$\frac{0-0,16}{0,05}$	$\frac{0-0,10}{0,03}$	$\frac{0-0,1}{0,04}$	$\frac{0-0,15}{0,07}$	-	$\frac{0-0,04}{0,02}$	$\frac{0-0,03}{0,01}$	-	-	0,04	0,04
Co	-	0,04	$\frac{0,01-0,10}{0,05}$	$\frac{0-0,08}{0,05}$	$\frac{0-0,10}{0,04}$	$\frac{0-0,1}{0,05}$	$\frac{0,01-0,04}{0,02}$	$\frac{0-0,06}{0,03}$	$\frac{0-0,12}{0,03}$	$\frac{0-0,02}{0,01}$	-	0,39	0,04
Cu	0,04	0,03	$\frac{0-0,4}{0,03}$	$\frac{0-0,07}{0,02}$	$\frac{0-0,12}{0,03}$	$\frac{0-0,10}{0,03}$	$\frac{0,02-2,96}{0,75}$	$\frac{31,68-34,35}{33,63}$	$\frac{0-0,08}{0,03}$	$\frac{51,4-60,11}{53,76}$	42,98	0,03	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{84,89-88,24}{86,12}$	-	-	-	5,24
As	0,16	0,08	$\frac{0-0,20}{0,06}$	$\frac{0-0,24}{0,02}$	-	-	-	$\frac{0-0,04}{0,01}$	-	$\frac{0,01-1,18}{0,60}$	12,61	40,83	1,98
Sb	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{0-0,1}{0,00}$	$\frac{0-0,01}{0}$	$\frac{0,04-1,13}{0,67}$	7,13	-	0,27
Bi	-	-	-	$\frac{0,01-0,05}{0,03}$	-	-	-	$\frac{0,08-0,13}{0,10}$	$\frac{0,51-0,99}{0,70}$	$\frac{0,2-0,24}{0,22}$	0,14	0,02	58,92
Te	-	0,01	$\frac{0-0,8}{0,03}$	$\frac{0,01-0,05}{0,03}$	$\frac{0-0,1}{0,04}$	$\frac{0-0,06}{0,03}$	$\frac{0,01-0,04}{0,03}$	$\frac{0-0,04}{0,02}$	$\frac{0,18-0,29}{0,22}$	$\frac{0-0,01}{0,01}$	0,01	0,07	29,74
Ag	0,02	-	$\frac{0-0,09}{0,02}$	$\frac{0-0,05}{0,03}$	$\frac{0-0,06}{0,02}$	$\frac{0-0,11}{0,03}$	$\frac{0,01-0,03}{0,01}$	$\frac{0-0,08}{0,02}$	$\frac{0-0,42}{0,16}$	$\frac{0-0,06}{0,03}$	0,01	-	0,03
Pt	-	-	$\frac{0-0,38}{0,20}$	$\frac{0-0,06}{0,02}$	$\frac{0-0,34}{0,142}$	$\frac{0-0,44}{0,18}$	$\frac{0-0,11}{0,03}$	$\frac{0-0,39}{0,18}$	$\frac{0-0,32}{0,21}$	-	-	0,18	1,28
Pd	-	0,05	$\frac{0-0,10}{0,03}$	$\frac{0-0,04}{0,03}$	$\frac{0-0,05}{0,02}$	$\frac{0-0,09}{0,03}$	$\frac{0-0,04}{0,01}$	$\frac{0-0,11}{0,02}$	$\frac{0-0,43}{0,13}$	$\frac{0,01-0,14}{0,08}$	0,08	-	-
Au	0,05	0,03	$\frac{0-0,62}{0,11}$	$\frac{0-0,07}{0,04}$	$\frac{0,15-0,23}{0,13}$	$\frac{0-0,57}{0,30}$	$\frac{0,08-0,37}{0,21}$	$\frac{0-0,27}{0,04}$	$\frac{0-0,22}{0,10}$	-	-	-	0,27

Примечание: 1-4 – пириты первой (1), второй (2), третьей (3) и четвертой (4) генераций; 5-7 – пиррогины первой (5), второй (6) и третьей (7) генераций; 8 – халькопирит; 9 – галенит; 10 – борнит; 11 – блеклые руды; 12 – теллурид висмута. В числителе – пределы колебания содержания элементов (вес. %), в знаменателе – их среднее содержание. В скобках – количество анализов. Анализы выполнены на микроанализаторе Camebax-100, аналитик Л. Н. Кононова (ГЕОХИ РАН).

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 [11], что максимальным концентрированием платиноидов и золота характеризуется не только немагнитная фракция гравитационного концентрата (Pd = 400 мг/т, Pt = 200 мг/т, Au = 15 000 мг/т, Ag = 9 г/т; табл. 8), но прежде

всего 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 = 25 200–43 500 мг/т. Особенно эффективно пески гидроциклонов обогащаются золотом. Его содержание в черновом концентрате из песков гидроциклона на Михайловском и Лебединском ГОКах составило 43 500 мг/т и 69 300 мг/т при извлечении соответственно 46,3 и 58,4 % и высокой степени концентрирования (табл. 9).

Таблица 8

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	Аглолюда	< 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	50	< 2
	Гравитационный концентрат из песков классификатора			80			120	7300	
				80			110	9700	
	Гравитационный концентрат из песков гидроциклонов	20	80	520	50	100	700	30 000	
				200			100	25 200	
				330			200	43 500	
	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	76 100	12
	Магнитная фракция гравитационного концентрата			20			15	90	< 2
	Немагнитная фракция гравитационного концентрата			400			200	15 000	9

Таблица 9

Результаты гравитационного извлечения золота из продуктов переработки железистых кварцитов

ГОК	Исходные технологические продукты	Содержание Au, г/т	Гравитационный концентрат		
			Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
Михайловский	Пески гидроциклона	0,094	0,1	43,5	46,3
	Пески классификатора	0,112	0,4	9,7	34,6
	Хвосты фабрики	0,042	0,3	0,4	2,8
Лебединский	Пески гидроциклона	0,025	0,02	69,3	58,4
	Хвосты фабрики	0,057	0,66	3,1	3,6

**Типы, состав, формы концентрирования благородных металлов железорудных месторождений – продуцентов техногенных источников золота и платиноидов**

Выполненными ранее исследованиями [14, 21, 22] установлена отчетливая взаимосвязь распределения благородных металлов в техногенных продуктах от их количественного содержания в исходных железных рудах. Среди разнообразных по составу железных руд – основных продуцентов техногенных источников Au и МПГ – выделено [2] пять генетических типов золото-платинометалльного оруденения (табл. 10), каждый из которых характеризуется специфическими условиями локализации, морфологией и масштабами рудных залежей, типом минерализации, содержанием благородных металлов и практической значимостью [20, 21]: 1) осадочно-метаморфогенный рассеянный (обширные площади развития железистых кварцитов в пределах месторождений) с

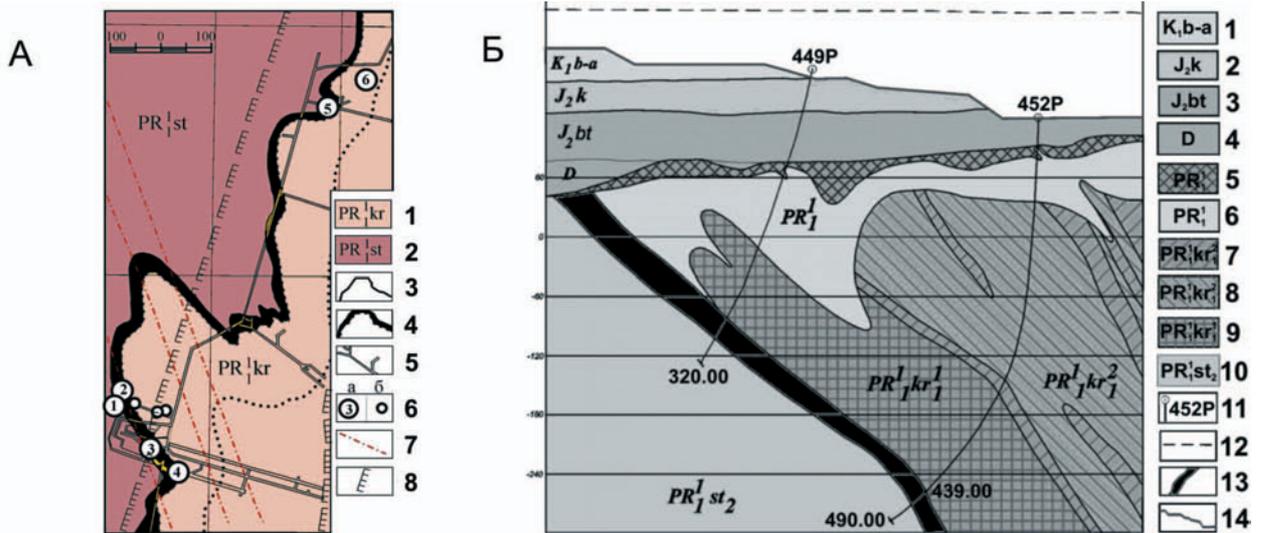
низкими содержаниями Au (0,02–0,12 г/т) и платиноидов (до 0,05 г/т); 2) один из наиболее крупных по ресурсам металлов платиновой группы (МПГ) и Au (первые тысячи тонн) стратиформный метаморфогенно-метасоматический (рис. 2, 3) сульфидизированных контактовых зон железистых кварцитов с подстилающими сланцами (Au = 0,54–6,18 г/т, Pt = 0,12–0,30 г/т, Pd = 0,58–0,77 г/т) и внутрирудных углеродсодержащих толщ (Au = 2,6–36,6 г/т, Ag = 91–540 г/т, Pt = 0,14–0,28 г/т, Pd до 0,57 г/т); 3) гидротермально-метасоматический (Au = 0,6–6,2 г/т, иногда до 35,8 г/т, МПГ = 0,3–0,5 г/т); 4) гипергенно-метасоматический в зонах развития линейных кор выветривания (богатые маритовые руды; Au = 0,64–4,30 г/т, иногда до 41,7 г/т, Pd до 1,5 г/т); 5) осадочный (базальные горизонты зон несогласий: докембрий–фанерозой и фосфоритовые плиты девона; Au = 0,53 г/т, Pt = 0,15 г/т, Pd = 1,70 г/т, РЗЭ = 556,3 г/т, U = 12,2–23,6 г/т; рис. 4).

Таблица 10

*Генетические типы и закономерности размещения золото-платинометалльного оруденения железорудных месторождений-гигантов КМА*

Структурно-вещественный контроль оруденения	Содержание Au, Pt, Pd, г/т	Тип минерализации	Морфология рудных залежей	Возможное практическое применение
1	2	3	4	5
<b>1. Осадочно-метаморфогенный</b>				
Обширные площади развития железистых кварцитов в пределах месторождений	Низкие (фоновые) Au = 0,02–0,12 МПГ до 0,05	Рассеянный	Пластовые залежи железистых кварцитов	Попутное извлечение из продуктов переработки железных руд
<b>2. Метаморфогенно-метасоматический</b>				
Зоны контакта углеродистых сланцев с кварцитами и внутрирудные углеродсодержащие сланцы с обильной сульфидной минерализацией	Au = 0,54–6,18 Pt = 0,12–0,30 Pd = 0,58–0,77	Концентрированный	Стратиформные залежи мощностью от первых метров до 90 м и протяженностью до 70 км	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 МПГ – до 0,3–0,5	Концентрированный	Жилы, линзо- и жилообразные тела мощностью до 3–5 м и протяженностью 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 МПГ = 0,10	Концентрированный	Разнообразные по масштабам линзо- и жилообразные секущие тела в «карманах» кор выветривания	Самостоятельные платиносодержащие золоторудные объекты для селективной отработки

1	2	3	4	5
5. Осадочный				
Базальные горизонты зон несогласий (докембрий–фанерозой), перекрывающие богатые маритовые руды	Au = 0,53 Pt = 0,15 Pd = 1,70 PЗЭ = 556,3 U = 12,2–23,6	Концентрированный	Пластовые тела сульфидизированных органогенных пород девона («фосфоритовая плита девона» мощностью от 1 и более метров) в кровле железорудных месторождений	Самостоятельные уран-редкоземельно-благороднометалльно-содержащие объекты во вскрышных породах (селективная отработка)



**Рис. 2.** Схематический план западного фланга Михайловского месторождения с результатами отprobования горных выработок на благороднометалльное оруденение стратиформного типа (А): 1 – коробковская свита ( $PR_1^1 kr$ ); 2 – стойленская свита ( $PR_1^1 st$ ); 3 – геологические границы; 4 – геологические границы карбонатно-магнетитовых кварцитов; 5 – подземные горные выработки; 6 – благороднометалльные проявления: а (в г/т): 1 – (Au = 0,84; Pd = 0,77; Pt = 0,13); 2 – (Au = 0,50; Pd = 0,63; Pt = 0,12); 3 – (Au = 2,87; Pd = 0,58; Pt = 0,30); 4 – (Au = 4,83; Pd = 0,60; Pt = 0,21); 5 – (Au = 2,99; Pd = 0,65); 6 – (Au = 0,86; Pd = 0,61); б – золота с содержанием не менее 0,5 г/т; 7 – разрывные нарушения; 8 – контуры карьера; положение золото-платиноносной рудовмещающей зоны стратиформного типа в разрезе P-65 Михайловского месторождения (Б): 1–10 – геолого-стратиграфические образования: 1 – нижнемеловые отложения; 2–3 – среднеюрские отложения, келловейский ярус (2), батский ярус (3); 4 – девонские отложения; нижний протерозой: 5 – богатые железные руды; 6 – окисленные железистые кварциты; 7–9 – нижняя железорудная подсвита коробковской свиты: вторая пачка, гематит-магнетитовые кварциты (7), магнетит-гематитовые кварциты (8); первая пачка, карбонатно-магнетитовые кварциты (9); 10 – верхнестойленская подсвита; 11 – скважины и их номера; 12 – дневная поверхность; 13 – рудовмещающая зона стратиформного типа золото-платинометалльного оруденения; 14 – контур карьера

Золото-платинометалльное оруденение железорудных месторождений КМА характеризуется сложным полиминеральным (более 60 минералов; табл. 11) и многокомпонентным составом [8, 11, 12, 20, 23]. Определяющими особенностями благороднометалльного оруденения являются: а) многообразие форм концентрирования и широкое развитие (около 30) собственных минеральных фаз МПГ, Au и сопутствующих им элементов (Ag, Te, Bi) в виде самородных металлов (Au, Pt, Os, Ru, Ir, Bi), металлических твердых растворов и интерметаллических соединений (рутениридосмин, платру-

теносмиридий, 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, спериллит, петцит, гессит, креннерит, цуманит, сивьянит, вольтинскит, мутманнит, мальдонит и др.); б) ведущая (85–90 об. %) роль в рудном парагенезисе сульфидов и их аналогов при резком преобладании среди них пирита и пирротина [8], которые вследствие очевидной принадлежности к различным стадиям длительно формирующейся рудообразующей сис-

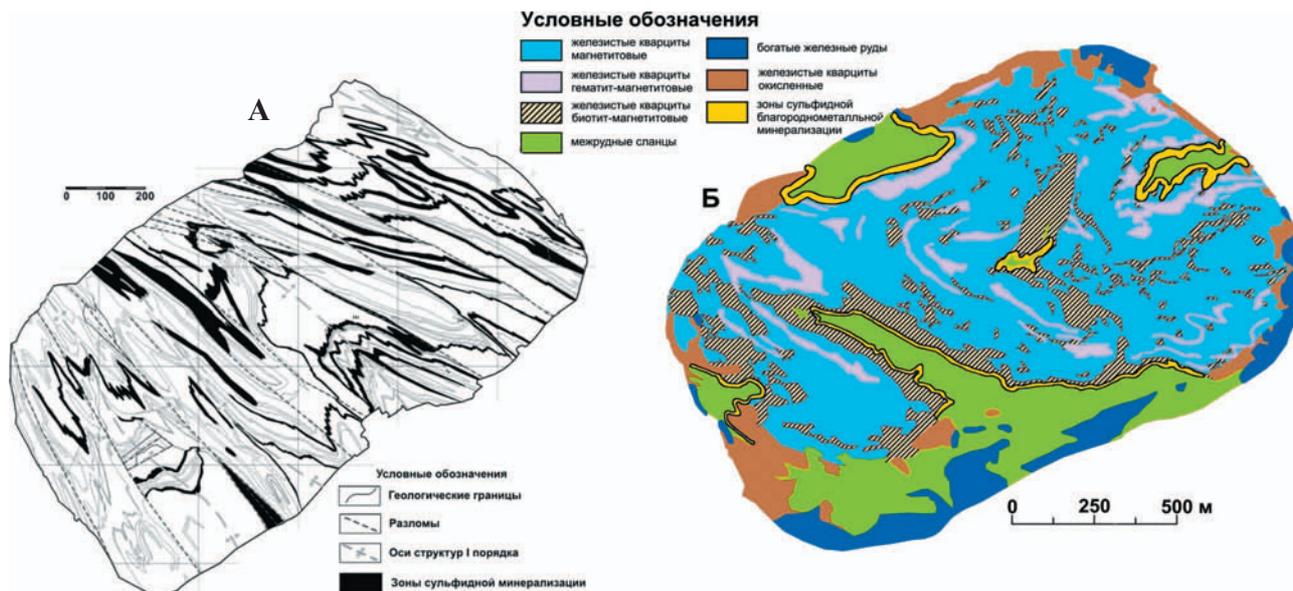


Рис. 3. Карта зон золото-платиносодержащей сульфидной минерализации на Лебединском (А) и Стойленском (Б) железорудных месторождениях (в рамках обрабатываемых карьеров)

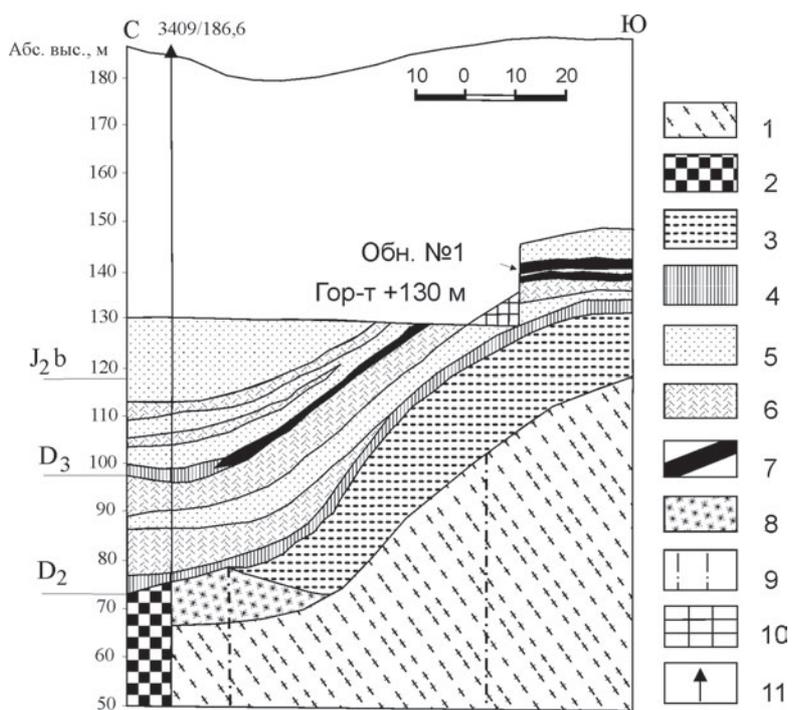


Рис. 4. Схематический геологический разрез юго-восточного фланга Михайловского месторождения с обнажением верхнедевонских ихтиодетритовых редкоземельно-благороднометаллосодержащих фосфоритов (по [8, 24]): 1 – курская серия, коробковская свита, нижняя сланцевая подсвита ( $K_1^1 k_2^2$ ), углеродистые сланцы с прослоями кварцитов; 2 – коробковская свита, нижняя железорудная подсвита, четвертая пачка ( $K_1^1 k_4^4$ ), магнетитовые и гематит-магнетитовые кварциты, краснополосчатые гематитовые кварциты; 3 – переотложенные мармитовые руды; 4 – седиментационные брекчии с глинисто-алевритовым цементом, ожелезненные; 5 – аргиллиты песчаные с прослоями алевролитов, аргиллиты; 6 – алевролиты; 7 – фосфориты с костным детритом панцирных рыб; 8 – гипергенное ожелезнение пород; 9 – тектонические нарушения; 10 – осыпь карьера; 11 – разведочная скважина

темы характеризуются значительным кристалло-морфологическим разнообразием и существенными вариациями содержаний главных (Fe, S) и сопутствующих (Ni, Co, Cu) элементов; в) наличие оксидов Fe, Ti, Sn, U, Zr и гидроксидов, карбонатов и сульфатов Fe, Ba, а также шеелита, монацита, циркона.

Морфология и микроструктура некоторых минералов МПГ, Au, Ag и их сочетания в железистых кварцитах и межрудных сланцах месторождений КМА приведены на рис. 5, 6.

Помимо собственных минеральных фаз во всех обрабатываемых железорудных месторождениях значительные концентрации ЭПГ и Au установлены в сульфидах и их аналогах (см. табл. 7).

Пять выделенных природных геолого-генетических типов благороднометалльного оруденения в железорудных месторождениях являются, вместе с тем, первичным источником золота и платиноидов, поступающих в промпродукты с образованием самостоятельного техногенного по своей природе типа месторождений.

Рудные минералы золото-платинометалльного оруденения в железорудных месторождениях КМА

Минералы	Формулы
<b>Самородные металлы, металлические твердые растворы и интерметаллические соединения</b>	
Золото самородное и палладий-серебро-медьсодержащее	1. $Au_{0,96}Ag_{0,03}$ ; 2. $Au_{0,89}Ag_{0,05}Cu_{0,07}$ ; 3. $Au_{0,99}Ag_{0,01}$ ; 4. $Au_{0,90}Ag_{0,10}$ ; 5. $Au_{0,67}Ag_{0,26}Cu_{0,07}$ ; 6. $Au_{0,70}Ag_{0,29}Pd_{0,01}$ ; 7. $Au_{0,96}Ag_{0,02}Cu_{0,02}$
Осмий	$Os_{0,77}Ir_{0,19}Ru_{0,03}Pt_{0,01}$
Рутений	$Ru_{0,64}Ir_{0,18}Os_{0,10}Pt_{0,06}Pd_{0,01}Rh_{0,01}$
Висмут	Bi
Висмут теллурсодержащий	$Bi_{0,98}Te_{0,02}$
Рутениридосмин	$Os_{0,44}Ru_{0,39}Ir_{0,1}Ni_{0,03}Cu_{0,02}Pt_{0,01}$
Платрутеносмиридий	$Pt_{0,34}Ru_{0,32}Os_{0,17}Ir_{0,17}$
Иридрутеносмид	$Ru_{0,5}Ir_{0,21}Os_{0,19}Pt_{0,08}Rh_{0,01}$
Золото-серебряные сплавы	1. $Au_{0,70}Ag_{0,30}$ ; 2. $Ag_{0,50}Au_{0,49}$ ; 3. $Au_{0,74}Ag_{0,26}$ ; 4. $Au_{0,65}Ag_{0,35}$
Золото-медные и золото-медно-серебряные сплавы	1. $Au_{0,50}Cu_{0,50}$ ; 2. $Au_{0,52}Cu_{0,48}$ ; 3. $Au_{0,53}Cu_{0,46}Ag_{0,01}$
Электрум	1. $Au_{0,48}Ag_{0,52}$ ; 2. $Ag_{0,30}Au_{0,70}$
Кюстелит	$Au_{0,17}Ag_{0,83}$
<b>Минералы ряда:</b>	
– рутений, иридий, осмий, платина	$Ru_{0,29}Ir_{0,28}Os_{0,19}Pt_{0,17}Fe_{0,05}Rh_{0,01}$
– рутений, платина, родий	$Ru_{0,38}Pt_{0,32}Rh_{0,13}Ir_{0,06}Os_{0,06}Fe_{0,04}Ni_{0,01}$
– осмий, рутений, иридий	$Os_{0,41}Ir_{0,28}Ru_{0,28}Pt_{0,08}Rh_{0,02}Fe_{0,01}Ni_{0,01}$
<b>Сульфиды</b>	
Прассоит	$(Rh_{16,45}Pt_{0,61}Ru_{0,43})_{17,49}S_{15,00}$
Маккинстриит	$(Ag_{1,15}Au_{0,10}Fe_{0,10}Cu_{0,66})_{2,01}S$
Гр. пирротина (Pt,Pd,Au-содержащий)	$Fe_{1-x}S$
Пирит (Pt,Pd,Au-содержащий)	$FeS_2$
Халькопирит (Pt,Pd,Au-содержащий)	$CuFeS_2$
Марказит	$FeS_2$
Сфалерит	$ZnS$
Галенит (Pt,Pd,Au,Ag-содержащий)	$PbS$
Молибденит	$MoS_2$
Борнит (Pd-содержащий)	$Cu_3FeS_4$
Халькозин	$Cu_2S$
Ковеллин	$Cu_2S \cdot CuS_2$
Пенталандит	$(Fe,Ni)_9S_8$
<b>Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, висмутиды, сульфосоли</b>	
Мончeit	$(Pt_{0,994}Pd_{0,026}(Bi_{0,063}Te_{1,937})_{2,00})$
Сперрилит	$(Pt_{1,01}Fe_{0,02})_{1,03}(As_{1,91}S_{0,09})_{2,00}$
Петцит	1. $(Ag_{3,09}Au_{1,03})_{4,12}Te_{2,00}$ ; 2. $(Ag_{3,01}Au_{0,96})_{3,97}Te_{2,00}$ ; 3. $(Ag_{2,99}Au_{1,04})_{4,03}Te_{2,00}$
Гессит	1. $(Ag_{1,99}Au_{0,03})_{2,02}(Te_{0,96}Bi_{0,04})$ ; 2. $Ag_{2,01}Te_{1,00}$
Креннерит	$(Au_{0,85}Ag_{0,16})_{1,01}Te_{2,00}$
Цуманит	$Au_{0,85}Te_{0,51}Bi_{0,48}$
Сильванит	1. $(Au_{0,55}Ag_{0,46})_{1,01}Te_2$ ; 2. $(Au_{0,72}Ag_{0,32})_{1,04}Te_2$
Вольтинскит	$(Ag_{1,03}Bi_{1,01})_{2,04}Te_2$
Мутманнит	$(Au_{0,97}Ag_{1,02})_{1,99}Te_2$
Мальдонит	$(Au_{1,98}Ag_{0,14})_{2,12}Bi_{1,00}$
Алтаит	1. $Pb_{1,04}Te_{1,00}$ ; 2. $Pb_{1,00}(Te_{0,94}S_{0,06})_{1,00}$
Лиллианит	$Pb_{3,00}Bi_{2,10}S_{6,00}$
Висмутин	$Bi_{2,04}S_{2,96}Cu_{0,04}$
Хедллит (Pt-содержащий)	$Te_{3,00}Bi_{6,95}$

Минералы		Формулы	
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. $(\text{Te}_{2,00}\text{S}_{1,00})_{3,00}\text{Bi}_{2,00}$	
Арсенопирит (Pt-содержащий)		$\text{FeAsS}$	
Теннантит		$\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	
Тетраэдрит		$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	
Никелистый кобальтин-герсдорфит (Pd-содержащий)		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)		$(\text{Ni}_{0,84}\text{Co}_{0,09}\text{Fe}_{0,08}\text{Pd}_{0,02})\text{AsS}$	
Леллингит никельсодержащий		$(\text{Fe}_{0,82}\text{Ni}_{0,18})\text{As}_2$	
<b>Оксиды, гидроксиды и др.</b>			
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	$\text{Ca}(\text{W},\text{Mo})\text{O}_4$
Бадделеит	$\text{ZrO}_2$	Монацит	$(\text{Ce},\text{La})\text{PO}_4$
Гетит	$\text{FeO}(\text{OH})$	Циркон	$\text{Zr}[\text{SO}_4]$

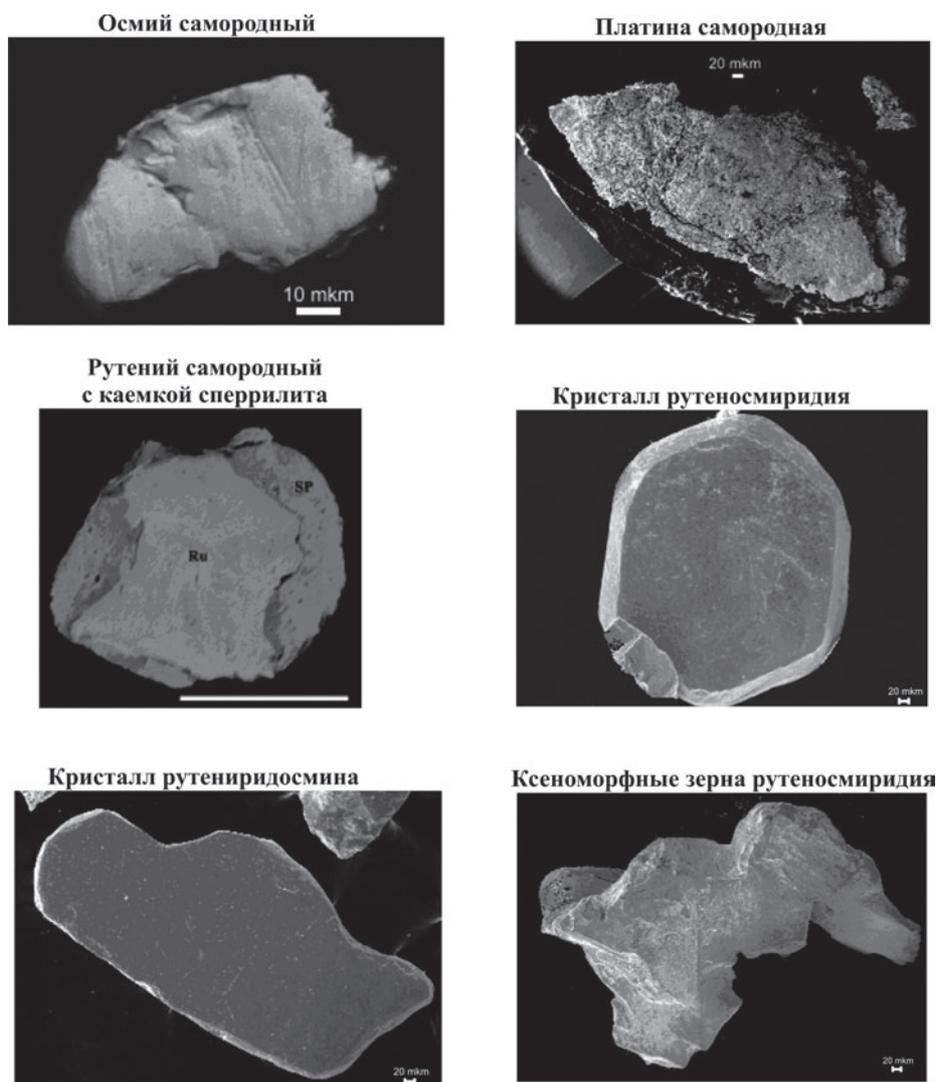
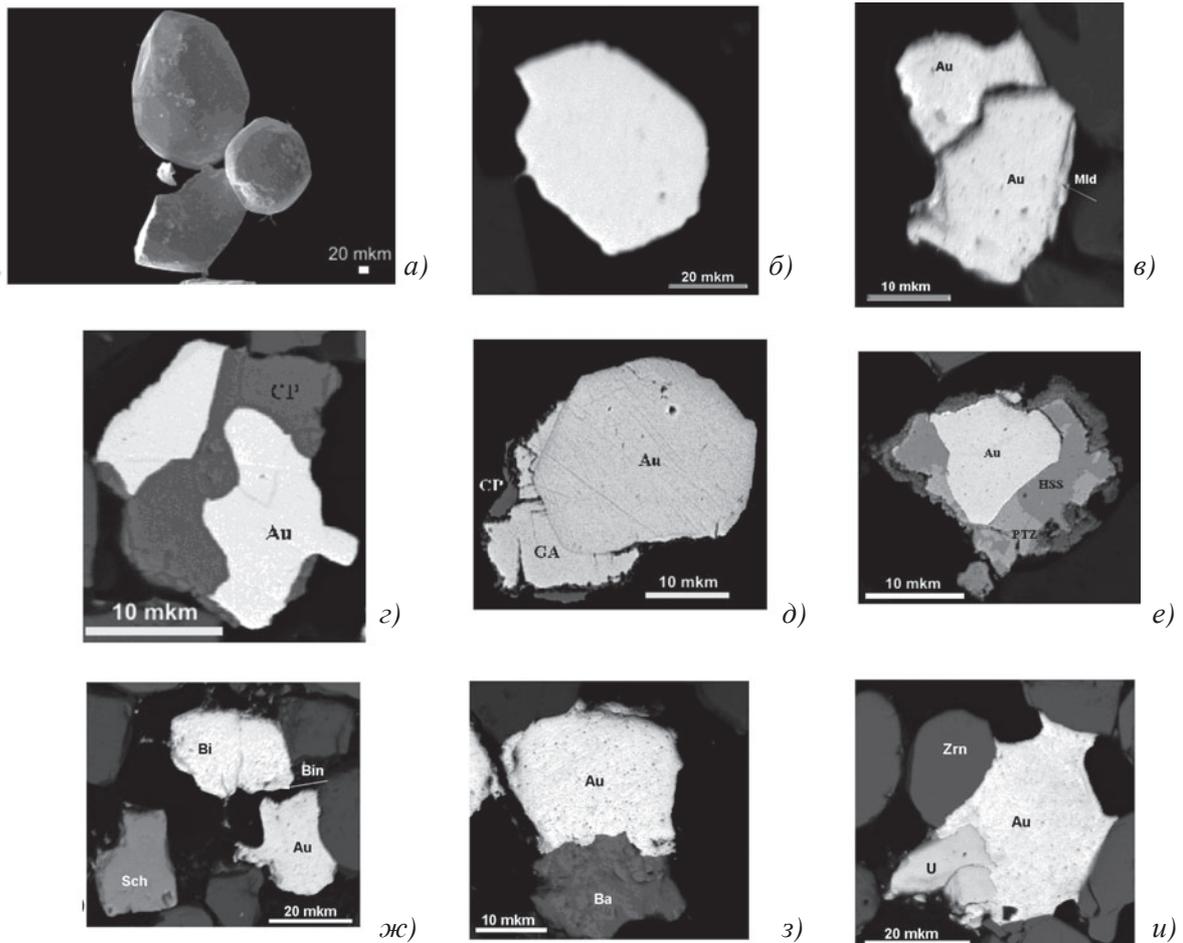


Рис. 5. Морфология минералов МПГ



**Рис. 6.** Формы выделения самородного золота и сопутствующих минералов из железистых кварцитов и межрудных сланцев Лебединского и Стойленского месторождений: а) кристаллы сперритита; б) кристаллы высокопробного золота (Au); в) зерна Au пробностью (в %) 955 (верхнее зерно) и 819 (нижнее зерно) с оторочкой салдонита (Mld); г–д) сростания Au с халькопиритом (CP) и галенитом (GA); е) сложный сросток Au с петцитом (PTZ) и гесситом (HSS); ж) зерна Au, висмута самородного (Bi) в сростании с висмутитом (Bin) и шеелитом (Sch); з) сростание Au с баритом (Ba); и) Au в ассоциации с уранинитом (U) и цирконом (Zrn)

### Экологические проблемы освоения золото-платиносодержащих техногенных продуктов

Регион КМА с развитой инфраструктурой является наиболее крупным в России горнорудным регионом с реальными возможностями попутного извлечения золота и платиноидов из текущих промпродуктов железных руд и уже накопленных хвостов. Вместе с тем, наращивание в Центральном регионе России минерально-сырьевой базы стратегически важных металлов за счет освоения лежалых хвостов и других промпродуктов на основе современных технологий является важной не только экономической, но и экологической проблемой.

Лежалые хвосты, занимающие огромные площади земельных угодий, выступают ныне в качестве: а) интенсивных пылевывделяющих источников с общей массой выброса пылевидных частиц в

атмосферу свыше 1 млн т в год (с превышением концентрации пыли в атмосфере от 4 до 10–12 ПДК); б) одного из источников загрязнения почв и водоносных горизонтов за счет Ti, Cr, нитратов, Cl, нефтепродуктов и возникающего при разложении сульфидов SO<sub>2</sub> и обширного ряда элементов (Fe, Cu, Se, Pb, Zn, Bi, As, Co, Mn, Cd, Ni и др.), а также U и Th, сопутствующих породам железорудных месторождений КМА [3, 4, 21].

В условиях густонаселенного горнорудного региона Центральной России особое экологическое значение и прежде как фактора воздействия на биосистемы приобретают упомянутые ранее пылевывделяющие источники промпродуктов, содержащие различные по составу, размеру и формам выделений микрочастицы. Основные параметры их влияния на биосистемы приведены на рис. 7.

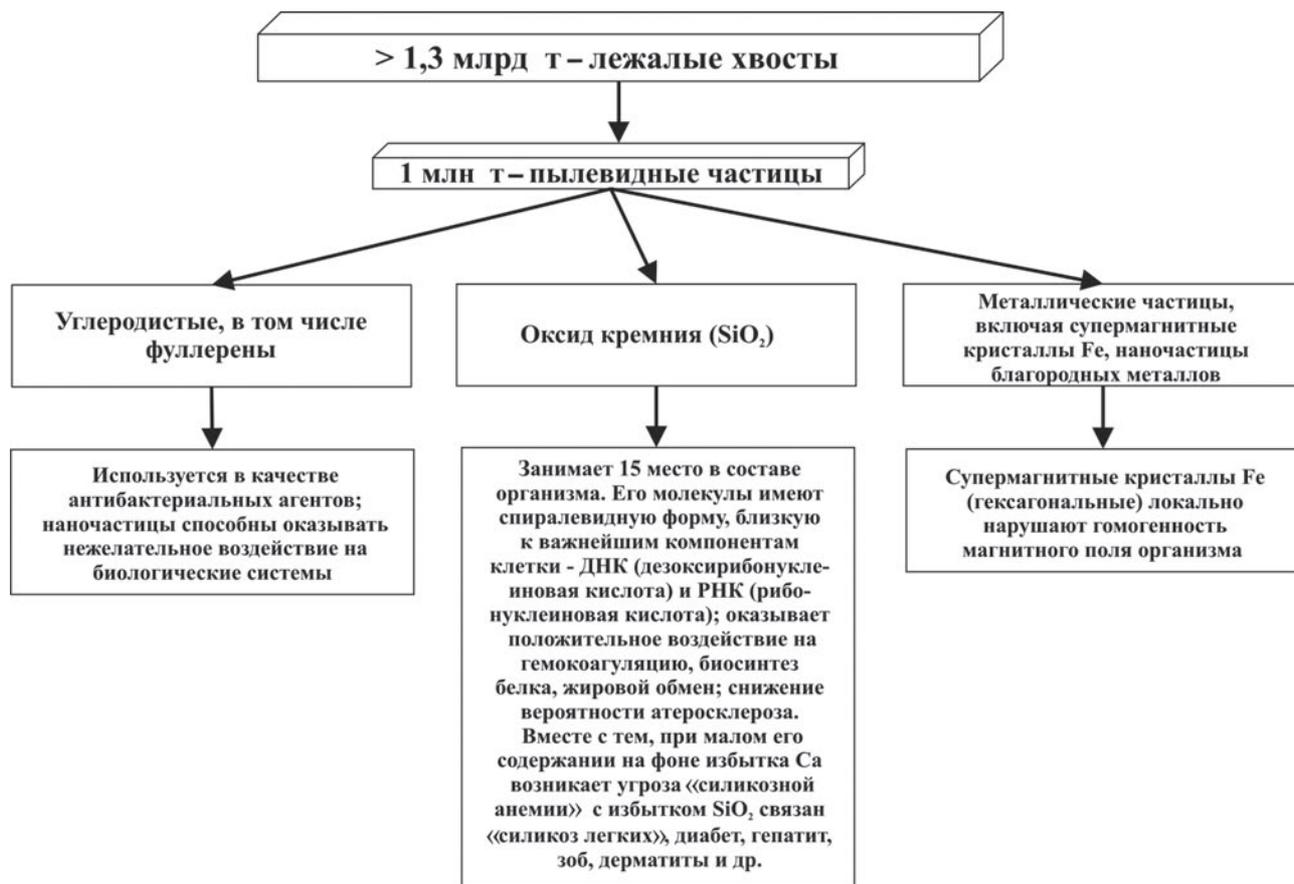


Рис. 7. Основные параметры влияния пылевидных частиц лежалых хвостов на биосистемы

Следует отметить, что Au, МПГ и сопутствующие им элементы присутствуют в виде многочисленных собственных минеральных фаз и включений размером от нескольких десятков, реже сотен мкм до 0,1 мм. В этой связи оценка качества и технологических параметров как природного, так и техногенного минерального сырья в целях комплексного освоения и рециклинга требует проведения исследований на наноуровне. Частицы нанометрового уровня должны обладать специфическими свойствами, что обуславливает требования к выбору экологически безопасных технологий переработки отходов обогащения. Механизм воздействия токсичных свойств наноминеральных форм соединений на компоненты окружающей среды региона нуждается ныне в специальных исследованиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кушнарченко В. К. Золото и другие элементы-примеси в железорудных месторождениях КМА (к проблеме комплексного использования) / В. К. Кушнарченко, Ю. М. Шувалов, В. М. Мятлин // Региональная геология и металлогения. – 1999. – № 9. – С. 120–124.

Ускоренное развитие и реализация научных разработок в области освоения и обогащения нетрадиционных типов благороднометалльного сырья из относительно бедных промпродуктов в условиях увеличения производства и потребления золота и платиновых металлов может составить надежный базис устойчивого долгосрочного развития этой высокоэффективной отрасли экономики.

*Работы выполнены при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы РФ» (НШ-2211.2008.5), РФФИ (грант № 08-05-00158а) и Госконтракта Роснаука № 02.740.11.0021*

2. 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. – М., 2002. – С. 381–384.

3. 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 : сб. науч. докладов. – СПб. : Гуманистик, 2004. – С. 524–528.
4. Чернышов Н. М. Хвостотвалы железорудных месторождений-гигантов КМА – новый крупнообъемный источник благородных металлов XXI столетия / Н. М. Чернышов // Месторождения природного и техногенного минерального сырья : матер. Междунар. конференции. – Воронеж : Воронежпечать, 2008. – С. 213–215.
5. Шалагуров В. В. К проблеме комплексного освоения минерального сырья / В. В. Шалагуров // Разведка и охрана недр. – 1992. – № 6. – С. 18–21.
6. Шелехов А. Н. Золото- и платиноносность железистых кварцитов Русской платформы и пути их практического использования в XXI веке / А. Н. Шелехов // Руды и металлы. – 1999. – № 1. – С. 123.
7. 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. – М. : Геоинформмарк, 1999. – Т. III. – Кн. 2. – С. 289–294.
8. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.
9. Голибкин Н. И. Железные руды КМА / Н. И. Голибкин, Н. Д. Кононов, В. П. Орлов; под ред. В. П. Орлова. – М. : Геоинформмарк, 2001. – 616 с.
10. Двойнин В. В. Золотоносность железистых кварцитов курской серии КМА / В. В. Двойнин, Е. И. Дунай, И. И. Воевода // Разведка и охрана недр. – 1993. – № 9. – С. 12–14.
11. 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.
12. Чернышов Н. М. Особенности распределения и формы нахождения благородных металлов в железистых кварцитах Михайловского месторождения КМА и их техногенных продуктах (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, С. В. Петров, С. П. Молотков // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геол. – 2003. – № 1. – С. 93–104.
13. Шелехов А. Н. Отвальные хвосты железоизвлекательных фабрик – нетрадиционный источник благородных и некоторых цветных металлов / А. Н. Шелехов, Н. В. Филимонов // VIII совещание по геологии россыпей : тез. докл. – Киев, 1987. – 196 с.
14. Лючкин В. А. Предпосылки промышленных месторождений золота на территории Курской магнитной аномалии / В. А. Лючкин, В. А. Казанцев // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геол. – 1997. – № 3. – С. 95–99.
15. Кузнецов А. П. Золото в железных рудах и пути его извлечения / А. П. Кузнецов, А. Н. Шелехов // Обогащение руд. – М. : Ин-т «Черметинформация», 1990. – Вып. 1. – 35 с.
16. Мызников И. К. Некоторые минералого-геохимические особенности распространения золота на Михайловском железорудном месторождении / И. К. Мызников, А. Н. Шелехов // 2-й Межд. симп. «Проблема комплексного использования руд» : тез. докл. – СПб. : СПбГИ, 1996. – С. 37.
17. Мызников И. К. Технологическая оценка отвальных хвостов магнитной сепарации железистых кварцитов КМА для организации попутной золотодобычи / И. К. Мызников, А. Н. Шелехов // 2-й Межд. симп. «Проблема комплексного использования руд» : тез. докл. – СПб. : СПбГИ, 1996. – С. 76.
18. Шелехов А. Н. Технологическая оценка отвальных хвостов магнитной сепарации железистых кварцитов КМА для организации попутной золотодобычи / А. Н. Шелехов, И. К. Мызников // Проблемы комплексного использования руд : тез. докл. 2-го Междунар. симпоз. – СПб., 1996. – 76 с.
19. Додин Д. Металлогения платиноидов крупных регионов России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, О. И. Чередникова. – М. : Геоинформмарк, 2001. – 302 с.
20. Чернышов Н. М. Благороднометаллосодержащие парагенезисы сульфидов и их аналогов в железорудных месторождениях КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геол. – 2007. – № 1. – С. 101–104.
21. Чернышов Н. М. Золото-платинометалльное оруденение в железорудных месторождениях КМА и их техногенных продуктах — новый крупнообъемный источник стратегически важных металлов / Н. М. Чернышов // Проблемы рудогенеза докембрийских щитов : тр. Всерос. научной конференции. – Апатиты : Изд-во Кольского НЦ РАН, 2008. – С. 145–149.
22. Чернышов Н. М. Золото-платиносодержащие техногенные продукты железорудных месторождений-гигантов КМА – проблема их комплексного освоения в условиях экологических ограничений / Н. М. Чернышов // Экологическая геология: научно-практические, медицинские и экономико-правовые аспекты : матер. междунар. конференции. – Воронеж : Воронежпечать, 2009. – С. 226–231.
23. 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.
24. Чернышов Н. М. Типы и минеральный состав золото-платинометалльного оруденения железорудных месторождений-гигантов КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Докл. РАН. – 2010. – Т. 430. – № 3.

Рецензент И. И. Косинова

*Техногенный золото-платиноидный тип месторождений КМА (Центральная Россия)*

*Воронежский государственный университет  
Н. М. Чернышов, член-корреспондент РАН, доктор  
геолого-минералогических наук, заслуженный де-  
ятель науки, заведующий кафедрой минералогии и  
петрологии и Воронежским отделением «Геология  
рудных месторождений Центральной России»  
ИГЕМ РАН, профессор  
Тел. 8 (4732) 208-681  
petrology@list.ru*

*Voronezh State University  
N. M. Chernyshov, RAS Corresponding Member,  
Doctor of Science Geology-Mineralogy, the Honoured  
Worker of Science, Head of Chair Mineralogy and  
Petrology and Voronezh department Geology of Ore  
Deposits of the Central Russia IGEM RAS, Professor  
Tel. 8 (4732) 208-681  
petrology@list.ru*