



## ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

УДК 552.11:552.32:553.491:549.2(470.32)

### **МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭНДОГЕННЫХ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНЫХ ФОРМАЦИЙ ВКМ (история открытия и основные этапы изучения, состояние и перспективы освоения)**

**Н.М.Чернышов, С.П.Молотков, В.В.Буковшин**

*Воронежский государственный университет, г.Воронеж*

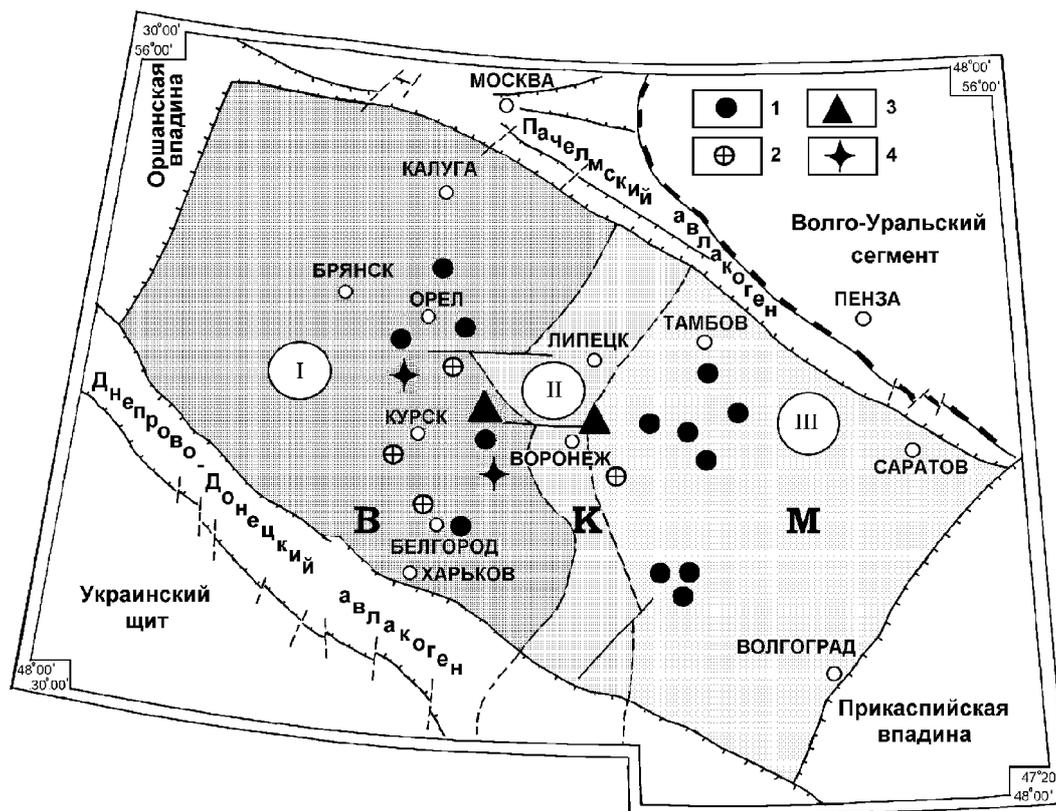
Рассмотрены перспективы наращивания минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов ВКМ, в исследованиях которого важный вклад внесен профессором М.Н.Годлевским. Охарактеризованы главнейшие типы платиноидно-медно-никелевого и золото-платинометального оруденения, ассоциирующего с докембрийскими магматитами, обосновывается возможность открытия малосульфидного платинометального оруденения в крупных расслоенных плутонах мамонского и новогольского комплексов, а также приведены данные по новому нетрадиционному источнику благородных металлов в черносланцевых и железисто-кремнистых формациях региона.



*Посвящается выдающемуся геологу –  
крупному исследователю сульфидных  
медно-никелевых руд Российского  
Заполярья и Воронежской  
никеленосной провинции – доктору  
геолого-минералогических наук,  
профессору Михаилу Николаевичу  
Годлевскому  
(1902-1984 гг.)*

Геолого-геофизическими и научно-исследовательскими работами второй половины 20-го столетия в центральной части Восточно-Европейской платформы выделена Воронежская металлогеническая провинция [1], в пределах которой сосредоточены многочисленные месторождения и рудопроявления благороднометальных (платино- и золотосодержащих) сульфидных медно-никелевых и иных руд (рис.1), связанных с ультрамафит-мафитовыми магматическими комплексами и метаморфическими толщами докембрийского фундамента Воронежского кристаллического массива (ВКМ), прежде всего с его высокоуглеродистыми вулканогенно-осадочными образованиями и их метасоматитами [2-5], а также с широко

развитыми в его пределах железистыми кварцитами.



**Рис. 1.** Схема размещения месторождений, проявлений и потенциально рудоносных объектов на сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды и благородные (платиноиды и золото) металлы в докембрийском фундаменте Воронежского кристаллического массива (в рамках ЦЧР, по Н.М.Чернышову, 2001; [6]): I-геоблок КМА; II - Лосевская шовная зона; III -Хоперский геоблок; 1-магматогенные сульфидные платиноидно-медно-никелевые, малосульфидные платинометалльные и платиносодержащие титаномagnetитовые месторождения, проявления и потенциально рудоносные объекты; 2-полигенные золоторудные и золото-платинометалльные месторождения и проявления в углеродистых стратифицированных толщах докембрия и метасоматитах; 3-зкзогенные (литифицированные россыпные) золото- и золото-платинометалльные проявления; 4-золото-палладийсодержащие железорудные месторождения и их техногенные продукты (хвостотвалы) с благородными металлами.

По запасам и ресурсам цветных и благородных металлов (ЭПГ, Au, Cu, Ni, Co и др.) в выявленных месторождениях, рудопроявлениях и потенциально рудоносных объектах ныне этот регион является одним из ведущих в наращивании минерально-сырьевого потенциала России и обеспечения ее устойчивого социально-экономического развития в XXI веке.

### 1. История открытия и основные этапы изучения

Среди тех, кто обратил самое серьезное внимание на перспективность ВКМ и необходимость его планомерного и целенаправленного геологического изучения и возможность выявления в его пределах широкого комплекса полезных ископаемых и, в первую очередь, сульфидных медно-никелевых руд был доктор геолого-минералогических наук, профессор Михаил Николаевич Годлевский, являвшийся в то время куратором Министерства геологии СССР по цветным металлам [7-9]. Высказанные этим

выдающимся ученым фундаментальные положения-предпосылки, прогнозные оценки и планы по направлению изучения докембрия ВКМ, реализованные в дальнейшем его соратниками и учениками, привели в процессе проведения геолого-геофизических и петролого-геохимических исследований и целенаправленных поисково-разведочных работ к выявлению ряда месторождений и рудопроявлений медно-никелевых руд [6,10-17].

Первое полевое знакомство М.Н.Годлевского с геологией и геологами Воронежского региона состоялось летом 1961 года. Это событие отразилось в его архивном документе «Краткая информация о командировке в Воронежскую и Липецкую области в связи с постановкой поисковых работ на никелевые руды» (1962 г): «... Пентландит в перидотитовых массивах Воронежского района был определен нами в процессе обработки летних сборов 1961 года. Тогда же была найдена в них платина. Эти находки значительно повышают интерес к перидотитовым массивам Воронежского

*района и заставляют форсировать там поисковые работы на никель»*

Последующие планомерные геолого-геофизические и поисково-разведочные работы и минералого-петрографические исследования этой группы ру-

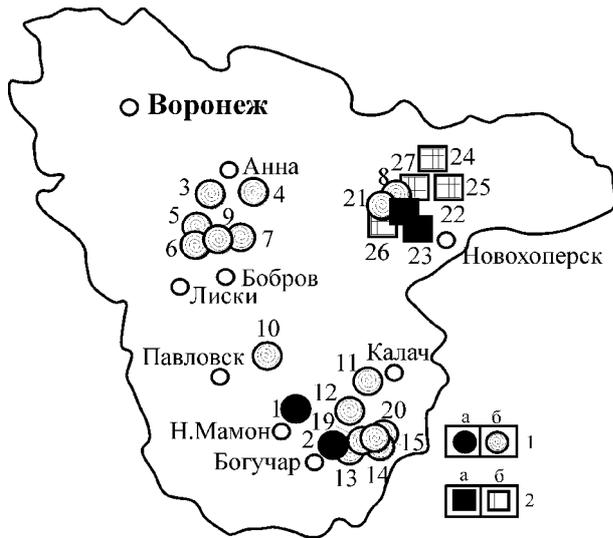


Рис.2. Схема размещения сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений и рудопроявлений мамонского (1) и еланского (2) типов на карте Воронежской области: месторождения (а) и рудопроявления (б): 1- Нижнемамонское, 2-Подколдновское, 3- Садовское, 4- Восточно-Садовское, 5- Песковатское, 6- Астаховское, 7- Шишковское, 8- Вязовское, 9-Сухоберезовское, 10- Петровское, 11-Ширяевское, 12- Артюховское, 13- Юбилейное, 14- Бычковское, 15- Северо-Бычковское, 19- Мартовское, 20-Коммунское, 21-Абрамовское, 23- Елкинское, 24-Листопадовское, 25-Троицкое, 26- Центральное, 27- Новопокровское.

доносных магматитов привели к открытию трех месторождений (Нижнемамонского, Подколдновского, Юбилейного; 1964-1967 гг.) и более 20 разномасштабных рудопроявлений, которые располагались преимущественно на юго-востоке Воронежской области (рис.2).

В конце начального периода исследований юго-востока ВКМ М.Н.Годлевский в записке (июль 1969 г) «Об очередных задачах поисков на никель и другие металлы на юго-востоке Воронежского кристаллического массива» рекомендовал\*:

- а) с целью дальнейшей детальной разработки структура геологической схемы возмозможна усилить...
- б) на основе выводов и рекомендаций взаимотомского массива геологов с отдельными территориями в том числе...
- в) изучить главные металлогены на никельные сульфиды...
- г) развить и совершенствовать геологические методы поиска...
- д) закончить разведочные работы и изучить с целью установить ее формы и выделить рудоносных структур;
- е) продолжить изучение Мартовского рудопроявления с целью уточнить его геологическую структуру и генезиса;
- ж) проработать геологическую ситуацию в районе Атаманки ВП севернее Нижнемамонского и Подколдновского массива
- з) организовать специальные поиски на золото-медно-никелевые сульфиды
- и) проработать разведочные работы на Нижнемамонском массиве в районе проявлений 26...

Великий геолог-минералогист и ученик,  
18-го в. профессор М.Н.Годлевский

\* оригинал рукописи документов М.Н.Годлевского – публикуется впервые.

Часть рекомендаций М.Н.Годлевского остаются актуальными сегодня и на последующие периоды исследований в регионе. Их частичная реализация или невыполнение можно объяснить сложившимися неблагоприятными организационно-экономическими условиями при производстве геологоразведочных работ в разные годы и, особенно, в последний период общего экономического кризиса в стране 90-х годов. И сегодня весьма важными являются оценки М.Н.Годлевского роли геофизических методов в структуре геологоразведочных работ на эндогенное оруденение в «закрытых» регионах. Ныне на ВКМ выполнен большой объем площадных гравимангнитных съемок масштаба 1:50000 (на 100% территории) и 1:10000 на рудных объектах, высокоточных аэромагнитных съемок масштаба 1:25000 (38 тыс.км<sup>2</sup> на юго-востоке ВКМ), профильно-площадных (в масштабе 1:100000 – 1:50000 и крупнее) электроразведочных работ методами ВЭЗ, ЗСТ, ВП, ТТ; скважинных электроразведочных методов ВП (заряд ВП и др.).

Уже на ранних этапах изучения платиноидно-медно-никелевых месторождений и рудопоявлений мамонского типа М.Н.Годлевский подчеркивал, что эти руды характеризуются относительно низкими средними содержаниями промышленно важных металлов (Ni=0,5%) и ставил задачу поисков богатых (содержание Ni>1%) руд, что было осуществлено в дальнейшем с открытием своеобразного, не имеющего мировых аналогов золото-платиноидно-медно-никелевого оруденения еланского типа [2,5,6,12,16-21].

К началу 70-х годов было выявлено более 20 рудоносных объектов. Вместе с тем, геофизическая изученность и заверочно-поисковое бурение скважин на сульфидное никелевое оруденение мамонского типа в этот период ограничивалось восточным бортом Павловского выступа докембрийского фундамента с осадочным чехлом от 50-100 до 200 метров. Детальные гравимангнитные съемки и электроразведочные работы в восточной зоне ВКМ на крупных камернодифференцированных массивах с глубинами осадочного чехла до 250 м и более стали отставать, финансирование поисковых работ с бурением скважин с 1974 года по 1979 год было остановлено полностью. Продолжение работ по предварительной и детальной разведке Нижнемамонского месторождения с проходной разведочно-эксплуатационной шахты глубиной 120 м, предложенной в 1966 г. А.В.Сидоренко – министром геологии СССР и Экспертным Советом Мингео РСФСР с участием Н.М.Годлевского, были тщательно проработаны руководством ГУЦР (П.В.Вилунов) и не приняты к реализации по ряду экономических, организационных и других причин и, прежде всего по конкурентным обстоятельствам, связанным с открытием и освоением крупных Талнахского и Октябрьского месторождений в

действующем Норильском горно-металлургическом регионе. С 1980 года на юго-востоке ВКМ началось финансирование работ по глубинному геологическому картированию масштаба 1:500 000 в пределах Калач-Эртильской и Новохоперской зонах глубинных разломов с концентрацией до 70% объема буровых работ на площади ГГК-500 в пределах крупных (Елань-Коленовского и Вязовского) расслоенных интрузивов. Результатом были последовательные открытия в пределах Елань-Коленовского массива Центрального (1975 г) и Еланского (1976 г) рудопоявлений нового типа богатых существенно никелевых руд со средним содержанием никеля до 1%. [12,16].

После открытия Еланского рудопоявления Придонской КГРЭ вновь начаты общие поиски рудных объектов еланского типа. В это же время (1980-1986 гг.) проводились разведочные работы на Еланском и выявленном Елкинском рудопоявлениях и оценены ресурсы и запасы благороднометаллических медно-никелевых руд и их технологические свойства.

Своеобразным импульсом к крупному этапу (начало 90-х – 2001 гг) дополнительных исследований известных и новых типов рудно-магматических систем (РМС) (включая сульфидные и малосульфидные типы платиново-медно-никелевого рудогенеза) в докембрии ВКМ явились целевые исследования по программе МПР «Платина России» и ее успешная реализация под руководством член-корреспондентов РАН Н.М.Чернышова и Д.А.Додина [6,17].

Этот этап в регионе ВКМ ознаменовался проведением большого объема картосоставительских работ на сводном геолого-геофизическом материале по докембрийским образованиям с составлением современных (в масштабе 1:500000) геологических карт структурно-тектонического и структурно-формационного районирования, прогнозно-минерагенических карт, моделей глубинного строения ВКМ и др.

Наиболее значительный вклад в это время внесен в изучение золото-платинометаллического оруденения, ассоциирующего с разновозрастными углеродистыми стратифицированными комплексами и их метасоматитами с оценкой степени их потенциальной продуктивности и места среди раннедокембрийских структурно-вещественных комплексов (СВК) различных геодинамических режимов [3,21,22]. Впервые была разработана наиболее полная систематика этого оруденения и определена его принадлежность к двум генетическим группам: а) флюидно-магматогенно-осадочной (тимской, авильский, обоянский типы); б) гидротермально-флюидно-метасоматической (кшенский, троцкий, сухоярский типы). На базе этих исследований ВКМ определен в качестве новой провинции благороднометаллического оруденения [6,17,21,22].

Многолетнее накопление большого фактического материала по минерагении

никеленосных (с Au и ЭПГ) мафит-оценке золото-платинометалльного оруденения в ультрамафитовых формаций Воронежской других разновозрастных докембрий-никеленосной провинции и значительные успехи в

**Таблица 1**  
**Типы месторождений, проявлений и потенциальных на цветные и благородные металлы объектов ВКМ и их место среди раннедокембрийских структурно-вещественных комплексов различных геодинамических режимов (по Н.М.Чернышову, 2001; [6]).**

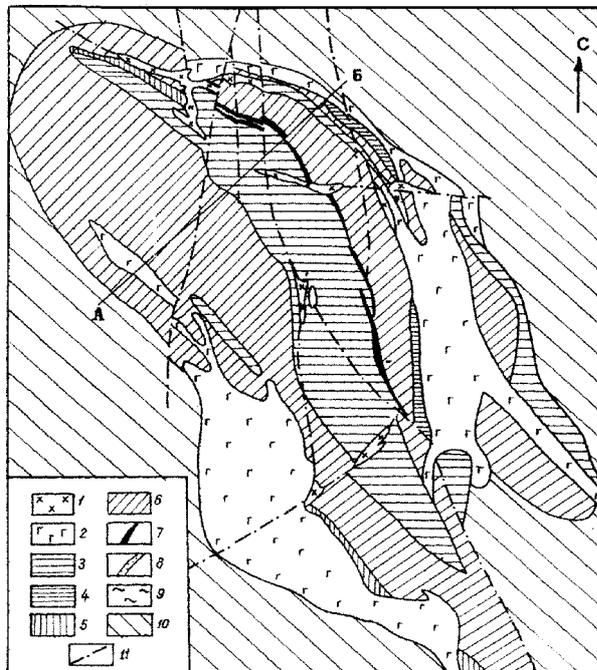
Геодинамические режимы и типы структур	Рудовмещающие формации	Генетические типы сульфидных медно-никелевых, благороднометалльных (Au, ЭПГ) месторождений, проявлений и потенциальных объектов				
		Типы	Установленные		Прогнозируемые	
			Крупные	средней и мелкие	Крупные	средней и мелкие
Раннеплатформенный. Рифты и реактивизированные разломы внутриплитного развития	Трапповая.	3. Платиносодержащий титаномагнетитовый 2. Малосульфидный платинометалльный 1. Сульфидный платиноидно-медно-никелевый		+		+
	Троктолит-габбро-долеритовые плутоны			+	●	
Гафрогенный. Реактивизированные разломы, наложенные прогибы аллохтонного типа в зонах сочленения разнотипных структур	Кольцевые габбро-норит-кварцмонзонит-гранитные плутоны	Малосульфидный платинометалльный		+		+
	Габбро-верлитовая	Сульфидная платиноидно-медно-никелевый		+		+
	Углеродистая вулканогенно-осадочная	Платиноидно-золоторудный		+		+
Аккреционный (со сложным сочетанием зон растяжения и сжатия)	Высокоуглеродистые вулканогенно-осадочные сланцы и их метасоматиты	2. Платиноидно-золоторудный (кшенский) 1. Золото-платинометалльный (тимской)	●	+	●	+
	1. Реактивизированные рифты (Курский мегаблок)	Железистые кварциты Конгломераты зон несогласий	Золото-палладийсодержащий Золото-уран-платиносодержащий		+	+
2. Зоны рассеянного спрединга (Воронежский мегаблок)	Высокоуглеродистые эруптивные брекчии, графитизированные гнейсы	Палладиевый-золото-ртутно-серебряный (троицкий)		+		+
	Ортопироксенит-норит-диоритовая	Сульфидный платиноидно-медно-никелевый (еланский)		+	●	
	Дунит-перидотит-пироксенит-норит-габбровая	3. Малосульфидный платинометалльный 2. Сульфидный платиноидно-медно-никелевый (мамонский) 1. Платиноидно-хромитовый		+	●	+
Энсиалический рифтогенез (поздний архей)	Осадочные и вулканогенно-осадочные с колчеданным оруденением	Колчеданный золото-палладийсодержащий (авильский)		+		+
	Коматиит-базальтовая и дунит-перидотитовая	Сульфидный платиносодержащий медисто-никелевый (олимпийский)		+		+
Этап формирования раннеархейской протокры	Перидотит-пироксенит-габбронорит-анортозитовая	Сульфидный платиносодержащий медно-никелевый (бесединский)		+		+
	Углеродистая (графитизированная) вулканогенно-осадочная (обоянский)	Золото-платиносодержащие графитизированные гнейсы (обоянский)		+		+

	Техногенный класс руд благородных металлов: железорудные месторождения ГОКов КМА	Золото-палладийсодержащие хвостоотвалы обогатительных фабрик	+	+	●	+
--	--	--	---	---	---	---

ских формациях КМА и Хоперского мегаблока на юго-востоке ВКМ позволили разработать наиболее полный вариант формационно-генетической систематики сульфидного медно-никелевого, малосульфидного платинометального, золото- и золото-платинометального типов оруденения, их продуктивности и места среди СВК различных геодинамических режимов [2,11,13-16,23-25] формирования континентальной коры (табл. 1).

## 2. Состояние и перспективы освоения

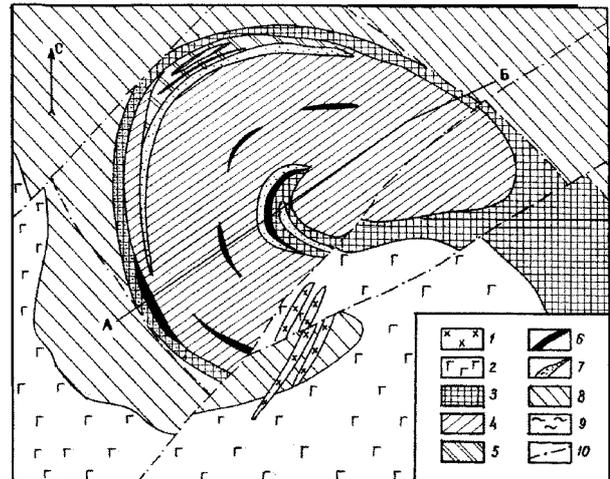
Из перечисленных в таблице 1 формационно-генетических типов платиноидно-медно-никелевых и благороднометалльных формаций наиболее важное



**Рис.3. Схематическая геологическая карта и разрез Нижнемамонского месторождения сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд:** 1-диориты; 2-габбро-нориты; 3-4-перидотиты (3) и плагиоперидотиты (4); 5-оливиновые пироксениты; 6-серпентиниты (апоперидотитовые); 7-аподунитовые серпентиниты (рудные); 8-рудные тела; 9-породы осадочного чехла; 10-вмещающие породы.

значение и благоприятные возможности разработки в ближайшее время имеют месторождения и рудопроявления мамонского, и в большей мере, еланского типов. Весьма перспективное

малосульфидное платинометальное оруденение в расслоенных интрузивах мамонского и новогольского магматических комплексов требует проведение комплекса поисково-оценочных работ, выявления форм концентрирования полезных элементов и технологической оценки, что является насущной задачей дальнейших исследований. Особое значение в качестве источника благородных металлов ВКМ имеют широко распространенные в регионе высокоуглеродистые стратифицированные образования и их метасоматиты с комплексным золото-платинометальным оруденением, характеризующимся многоуровневым характером распределения и значительными прогнозными ресурсами. И, наконец, особое внимание заслуживает платино- и золотосодержащий железорудный тип оруденения, развитый в пределах карьеров действующих Михайловского, Лебединско-Стойленского горно-обогатительных предприятий, а так же их техногенные продукты.



**Рис.4. Схематическая геологическая карта Подколodновского месторождения:** 1-диориты; 2-габбро-нориты; 3-перидотиты; 4-серпентиниты; 5-дуниты; 6-аподунитовые серпентиниты (рудные); 7-зоны сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения; 8-вмещающие породы воронцовской серии; 9-породы осадочного чехла; 10-тектонические нарушения.

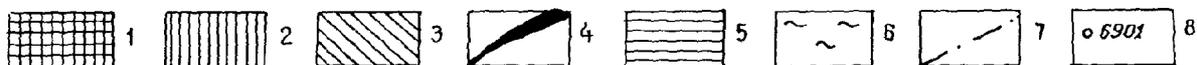
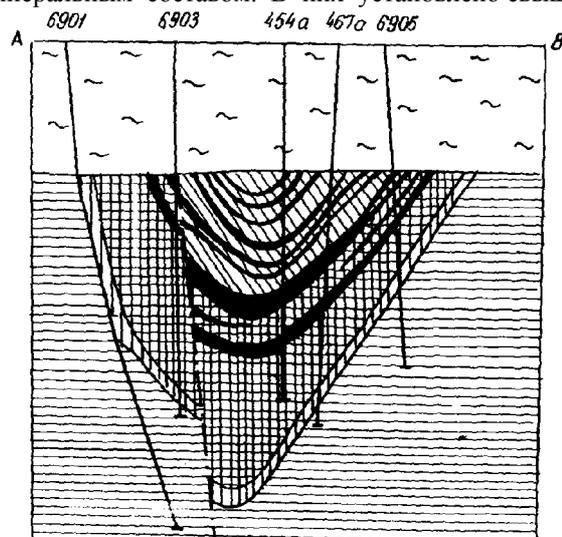
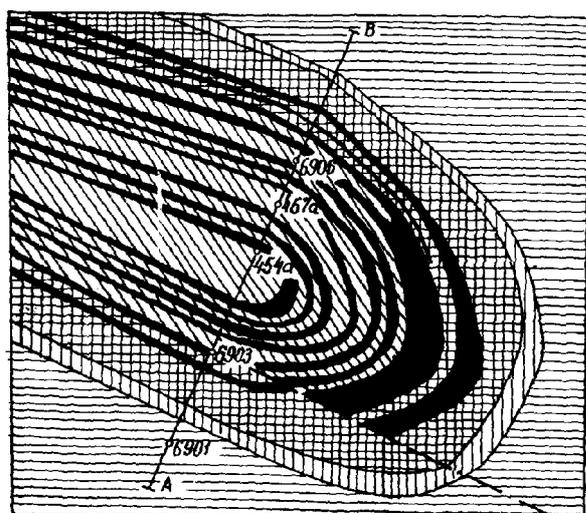
**2.1. Мамонский тип месторождений**

В пределах месторождений и рудопроявлений мамонского типа (рис.3,4,5), залегающих на глубине 40-150 м от дневной поверхности под осадочными отложениями фанерозоя, выявлено несколько крутопадающих различных по мощности (от 1-2 до 40-85 м) и протяженности (150-2200 м) зон платиноидно-медно-никелевого оруденения, целиком располагающихся в ультрамафитах различных частей дифференцированных

интрузивов, наследуя элементы их внутреннего строения.

Количественно в составе рудных тел преобладают бедные вкрапленные (Ni = 0,21-0,75 %; Cu = 0,12-0,71 %; Co = 0,04 %) и густовкрапленные богатые (Ni = 0,30-3,14 %; Cu = 0,10-1,30 %; Co до 0,05 %) руды, среди которых присутствуют жильные тела массивных и брекчиевидных руд [5,6,8] с высокими содержаниями рудообразующих (Ni=1,67-5,93 %, Cu=0,15-4,01 %, Co=0,44%; ЭПГ около 0,5 г/т) элементов (табл.2).

Месторождения и рудопроявления этого типа характеризуются в целом близким и однотипным минеральным составом. В них установлено свыше



**Рис.5. Схематическая геологическая карта и разрез Астаховского рудопроявления:** 1-перидотиты; 2-оливиновые пироксениты; 3-серпентиниты; 4-зоны сульфидной платиноидно-медно-никелевой минерализации; 5-песчано-сланцевые породы воронцовской серии; 6-породы осадочного чехла; 7- тектонические нарушения; 8-буровые скважины и их номера.

**Таблица 2**

**Содержание рудообразующих элементов в наиболее распространенных разновидностях руд сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений мамонского типа**

Элементы и их отношения	Типы руд						
	1(22)	2(7)	3(3)	4(5)	5(8)	6(11)	7(2)
Содержание в рудах							
Ni	0,96	0,76	0,91	0,69	0,29	2,58	0,72
Cu	0,26	0,67	1,29	0,50	0,42	0,14	1,67
Co	0,07	0,06	0,06	0,06	0,03	0,11	0,05
Zn	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	0,01
S	5,33	6,72	7,91	10,64	3,88	20,19	12,30
S/Ni	5,6	10,0	8,6	15,4	13,4	7,8	17,0
S /Ni+Cu+Co	4,1	4,5	3,5	8,0	5,3	7,1	5,0
Ni/Cu	3,7	1,1	0,8	1,14	0,7	18,4	0,4
Ni/Co	13,3	12,7	15,1	11,5	9,7	23,5	14,4
Состав сульфидной фазы							
Ni	6,84	3,71	3,94	3,36	2,84	4,90	2,20
Cu	1,85	3,16	5,77	1,95	4,11	0,26	5,07
Co	0,51	0,24	0,21	0,24	0,27	0,21	0,13
Fe	52,80	55,03	51,19	56,48	54,78	56,63	54,60
S	38,00	37,84	38,89	37,97	38,00	38,00	37,90
Сумма	100,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Содержание ЭПГ в рудах							
Pt	0,271	0,217	0,190	0,205	0,218	0,016	-

Элементы и их отношения	Типы руд						
	1(22)	2(7)	3(3)	4(5)	5(8)	6(11)	7(2)
Pd	0,239	0,270	0,305	0,290	0,413	0,423	-
Rh	0,017	0,010	0,013	0,012	0,050	0,072	-
СуммаЭПГ	0,527	0,497	0,508	0,507	0,681	0,511	-
Pd/Pt	0,9	1,2	1,6	1,4	1,9	26,4	-

Примечание: 1 - вкрапленные руды в серпентизированных дунитах (Нижнемамонское и Подкоподновское месторождения); 2 - вкрапленные руды в серпентизированных перидотитах (Нижнемамонское месторождение); 3 - вкрапленные руды в роговообманковых перидотитах (Юбилейное месторождение и Астаховское рудопроявление); 4 - вкрапленные руды в гарцбургитах (Юбилейное месторождение); 5 - вкрапленные руды в оливиновых пироксенитах (Нижнемамонское месторождение); 6,7 - массивные и брекчиевидные руды (Нижнемамонское и Подкоподновское месторождения). Содержание Ni, Cu, Co в мас.%; Pt, Pd, Rh - в ppm (г/т); в скобках - количество анализов.

30 минералов. Наряду с широко распространенными (до 80-90 % рудной массы) минералами – моноклинными и гексагональными пирротинами, троилитом, пентландитом, халькопиритом, хромшпинелидами в рудах мамонского типа установлены макинавиг, валлериит, кобальтин, никелин, молибденит, точилит, пирит, миллерит, бравоит, самородное золото и др. [11,13,20].

Выявленный комплекс структурно-геологических и петролого-геохимических признаков позволил разработать генетическую модель формирования рудномагматической системы мамонского типа, в соответствии с которой собственно магматический этап рудообразования (с раннемагматической стадией ликвации и кристаллизации породообразующих силикатов из сульфидоносного высокомагнезиального мантийного расплава и позднемагматической стадией кристаллизации отликвировавшейся сульфидной фракции в самих материнских породах) является главным, определяющим в истории сульфидного платиноидно-медно-никелевого рудообразования и с ним связаны наиболее важные в промышленном отношении руды. На последующих этапах происходил лишь незначительный метаморфизм пород и руд с частичным изменением их минерального состава и перераспределением рудообразующих элементов, не оказавшим, однако, существенного влияния на общую продуктивность длительно развивающейся рудномагматической системы [15].

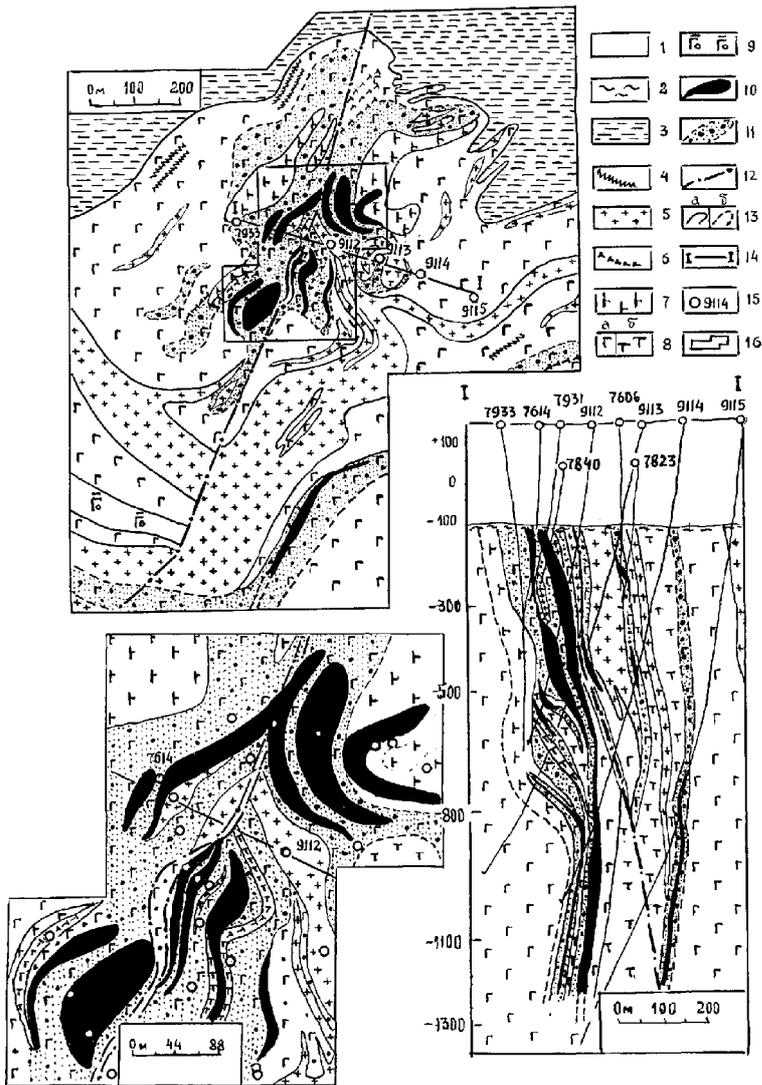
## 2.2. Еланский тип месторождений

Еланская группа месторождений (Еланское и Елкинское) и рудопроявлений (Центральное, Троицкое, Новопокровское и др.; см.рис.2) относятся к новому, ранее неизвестному в России и за рубежом высоконикелистому платиноидно-медно-кобальтовому типу рудномагматических систем [2,4,12,13, 15,16,18-20], ассоциирующих с ортопироксенит-норит (2065±15 млн. лет) – диоритовыми (2050±14 млн. лет) субвулканическими интрузивами.

Разнообразные по размеру (0,3-5 км<sup>2</sup>, реже до 15-90 км<sup>2</sup>) никеленосные норит-диоритовые субвулканические тела локализованы преимущественно в сравнительно узкой (30-40 км), но достаточно протяженной (свыше 700 км) реактивизированной в раннем карелии Тамбовско-

Волгоградской рифтогенной структуре предположительно позднеархейского заложения. Еланское и Елкинское месторождения, в которых сосредоточены наиболее значительные запасы богатых сульфидных никелевых руд, располагаются в 240 км восточнее г.Воронежа (Новохоперский район) вблизи железной дороги (ст. Елань-Колено). Пространственно оба месторождения сопряжены с более ранним (2100-2080±14 млн. лет) дифференцированным Елань-Вязовским ультрамафит-мафитовым плутоном мамонского комплекса.

В пределах Еланского месторождения (рис. б) выявлено две рудные зоны (протяженность от 600 до 1300 м), которые в свою очередь включают ряд крутопадающих (согласных с общей структурой вулcano-интрузивной колонны) прерывистых пласто- ленто- и линзобразных рудных тел (мощностью от 2 до 110 м), залегающих под осадочным чехлом на глубине около 260 м в норитах. Кроме того, достаточно протяженная (свыше 1000 м при ширине до 100 м) зона сульфидного оруденения установлена в норитах южной (фланговой) части месторождения. На Елкинском месторождении



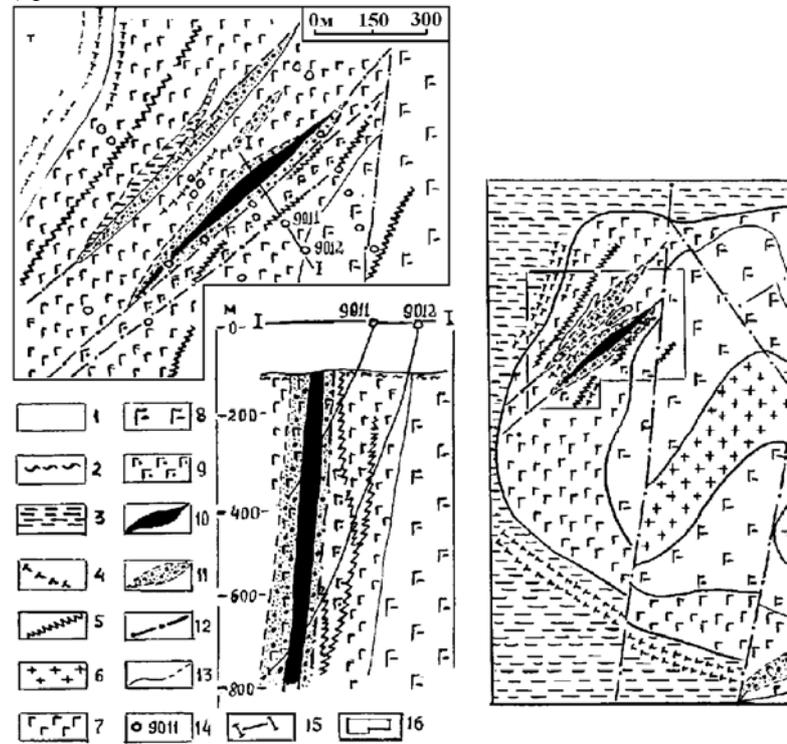
**Рис. 6. Геологическая карта Еланского месторождения (по Н.М.Чернышову,1995):** 1 - породы платформенного чехла (на разрезе); 2 - кора выветривания на кристаллическом фундаменте (на разрезе); 3 - песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии (PR<sup>1</sup>); 4 - дайки порфиров, лампрофиров; 5 - диориты второй интрузивной фазы еланского комплекса; 6 - норит-порфириды жильные; 7 - нориты тонкозернистые ("фельзические"); 8 - нориты мелко-среднезернистые (а) и порфиридные нориты (б); 9 - габбро-нориты оливиновые и безоливиновые мамонского комплекса; 10 - рудные тела; 11 - зоны бедной сульфидной вкрапленности; 12 - тектонические нарушения; 13 - геологические границы: установленные (а), предполагаемые (б); 14 - линия геологического разреза; 15 - скважины и их номера; 16 - контур врезки.

женность до 500 м, мощность до 40 м) рудную залежь.

Рудоносные зоны и тела в норитах, наследующие крутопадающий характер и элементы внутреннего строения вулкано-интрузивных колонн, сложены преимущественно вкрапленными рудами с маломощными залежами массивных (от 0,2 до 1,5-2,5 м, иногда 3-5 м) и брекчиевидных (0,2 до 1,0 м) и содержат разнообразные по составу (в том числе орудельные) ксенолиты ультрамафитов.

Количественно на Еланском и Елкинском месторождениях резко преобладают вкрапленные руды (более 85 %), прожилково-вкрапленные и массивные имеют ограниченное развитие (10-15 и 2-

(рис.7), расположенном в 11 км южнее Еланского, сульфидное медно-никелевое оруденение сконцентрировано в протяженной (свыше 1000 м) зоне, в которой богатые руды образуют крупную (протя-



**Рис. 7. Геологическая карта Елкинского месторождения (по Чернышову Н.М.1995):** 1 - породы платформенного чехла (на разрезе); 2 - кора выветривания на кристаллическом фундаменте (на разрезе); 3 - песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии (PR<sup>1</sup>); 4 - дайки норит-порфиров; 5 - дайки диоритов и диоритовых порфиров; 6 - диориты; 7 - нориты мелкозернистые меланомезократовые; 8 - нориты среднезернистые лейкократовые и полевошпатизированные; 9 - нориты амфиболитизированные; 10 - рудные тела; 11 - сульфидная вкрапленность; 12 - тектонические нарушения; 13 - геологические границы; 14 - скважины; 15 - линия геологического разреза; 16 - контур врезки.

3 %, соответственно). Среди вкрапленных руд по концентрации сульфидной фракции выделяются густовкрапленные (сульфидов более 30%) и более широко развитые, но с меньшим содержанием сульфидов (до 20-25 %) гнездово-вкрапленные. При относительно невысокой доли (около 10%) густовкрапленных, прожилково-вкрапленных и сплошных руд, они, вместе с тем, концентрируют около половины полезных компонентов [2,5,19,20]. Кроме того, в маломощной коре выветривания рудных зон ограничено (1-2 % доли всех руд) развиты окисленные сульфидно-силикатные и силикатные разновидности руд.

Вкрапленные руды являются халькопирит (2-15%) - пентландит (5-10 до 20-30 %, иногда более) - пирротиновыми (60-75 %) с ограниченным развитием (1-3 %) арсенидов и сульфоарсенидов Ni и Co, хромшпинелидов (2-3 %) ± молибденита,

графита и др. Гнездово-прожилковые разновидности относятся преимущественно к пентландит (10-30 %, иногда до 50-60 %) - пирротиновым (65-80 %); в них почти вдвое уменьшается содержание халькопирита и значительно увеличивается роль никель-кобальтового арсенид-сульфо-арсенидного парагенезиса, хромшпинелидов (2-5 %), отчасти молибденита, графита и золота, количество которых подчас в 1,5-2 раза возрастает в сплошных (массивных) пентландит-пирротиновых ( $\pm$ халькопирит) рудах.

Руды еланского типа имеют специфический минеральный состав [5,20], значительно отличающийся их от руд медно-никелевых месторождений мамонского и других типов, прежде всего по характеру минеральных парагенезисов и соотношению главных рудных минералов. При ведущей количественной роли троилита, моноклинного и гексагонального пирротина ( $Ni=0,17-2,49\%$ ), крайне ограниченном распространении (2,5 %, иногда до 10-15 % объема рудной массы) халькопирита ( $Cu=33,9-35,5\%$ ;  $Ni=1,52-6,8\%$ , иногда  $Co=0,07\%$ ) руды еланского типа характеризуются высокими содержаниями (до 30-55%) пентландита ( $Ni=28,3-43,9\%$ ,  $Co=0,2-5,0\%$ , реже 7,3%), постоянным присутствием (до 2-5%) хромшпинелидов, ассоциирующих как с силикатами, так и сульфидами. Во всех разновидностях руд Еланского и Елkinского месторождений постоянно отмечаются аргентопентландит ( $Ni=18,1-23,0\%$ ,  $FeO=31,3-36,3\%$ ;  $Ag=11,7-15,1\%$ ), кубанит, титаномагнетит, иногда ильменит.

Отличительной особенностью руд еланского типа является тесное пространственно-временное совмещение раннего халькопирит-пентландит-пирротинового и более позднего существенно обогащенного платиноидами кобальт-никелевого арсенид-сульфоарсенидного парагенезиса, сформировавшихся из единого рудоносного расплава в процессе длительного становления рудномагматической системы. Относительно широко распространенные (до 2-5%) арсениды и сульфоарсениды никеля и кобальта представлены тесным сростанием достаточно большого числа минеральных фаз, среди которых количественно преобладают никелин ( $Ni=43,7\%$ ;  $As=54,5\%$ ; иногда  $Sb$  до 3,77%,  $Co=0,49\%$ ) и минералы ряда герсдорфит-кобальтин, широкий изоморфизм между  $Ni$ ,  $Co$  и отчасти  $Fe$  в катионной части которых обуславливает значительные вариации химического состава герсдорфита ( $Ni=31,8\%$ ;  $Co=1,61\%$ ), кобальтистого герсдорфита ( $Ni=19,2\%$ ;  $Co=11,3\%$ ), никелистого кобальтина ( $Ni=12,6\%$ ;  $Co=18,3\%$ ) и кобальтина ( $Co=25,9\%$ ). Более ограниченно развиты: маухерит ( $Ni=49,8\%$ ;  $As=47,6\%$ ;  $Co=0,67\%$ ), минерал состава  $Ni_3As_2$  ( $Ni=52,27\%$ ;  $As=45,2\%$ ;  $Co=0,07\%$ ;  $Sb=0,97\%$ ), гаухекорнит двух разновидностей: крайне бедный  $Bi$  стибноарсенид

$Ni$  и собственно гаухекорнит -  $(Ni_{8,06}Fe_{0,55}Co_{0,13})_{8,74}(Bi_{1,17}Sb_{0,29}As_{0,31})_{1,77}S_{8,00}$ , палладий-иридий-платиновая разновидность брейтгауптита, ульманит, данаит, теллурувисмутит. Входящие в арсенид-сульфоарсенидный парагенезис другие редкие минералы представлены: молибденитом, сфалеритом, галенитом, борнитом, маккинавитом, самородным золотом; в этой ассоциации присутствуют кюстелит и алтаит.

В виоларитизированных и окисленных разновидностях руд существенные концентрации никеля и кобальта отмечаются в развивающемся по пентландиту виоларите, а также в пирите и марказите.

По содержанию главных рудообразующих элементов ( $Ni$ ,  $Co$ ,  $Cu$ ) руды еланского типа принадлежат к маломедистым высоконикелистым с повышенными концентрациями кобальта (табл. 3), значительно обогащены изотопно легкой серой ( $\delta^{34}S = -0,3 \div -11,6\%$ ) и отличаются широким комплексом попутных полезных ( $Au$ ,  $Ag$ ,  $Pt$ ,  $Pd$ ,  $Rh$ ,  $Os$ ,  $Ir$ ,  $Ru$ ,  $Se$ ,  $Te$ ,  $Mo$ ) и вредных ( $As$ ,  $Sb$ ,  $Bi$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ,  $Cr$ ) компонентов.

Эта общая для всех ассоциированных с норитами месторождений и рудопроявлений особенность сульфидного никелевого оруденения выступает в качестве одного из определяющих элементов рудномагматической системы еланского типа. На бинарных диаграммах ( $Ni/Cu$ ,  $Cu/(Ni+Cu)$ - $Pt/(Pt+Pd)$ ) руды еланского типа образуют самостоятельные поля, совпадающие с полями составов руд архейских коматиит-ассоциированных сульфидных никелевых месторождений. С рудномагматической системой этого типа их в известной мере сближает постоянное присутствие высокохромистых цинксодержащих ( $0,2 < ZnO < 3\%$ ) хромшпинелидов.

Наиболее высокими концентрациями никеля характеризуются массивные, густовкрапленные и прожилково-вкрапленные руды Еланского месторождения. Руды Елkinского месторождения и других проявлений этого промышленно-генетического типа являются высокосернистыми и высокожелезистыми и отличаются более высокими, присущими малоэродированным рудным телам, концентрациями попутных компонентов; в их 100% сульфидном концентрате содержание никеля и кобальта в 2-5 раз ниже по сравнению с рудами Еланского месторождения.

Исследования фазового состава никеля по полным пересечениям рудных зон Еланского месторождения показали, что основной формой его нахождения в рудах является сульфидная (более 90% от общего количества никеля) и лишь в верхних участках рудных зон (коры выветривания) значительно (до 50% и более) возрастает доля силикатного нике-

**Таблица 4.**  
Средние содержания  $Ni$ ,  $Cu$ ,  $Co$  (мас.%) и металлов платиновой группы (г/т) в различных типах руд (по отдельным пересечениям рудных тел) Еланского месторождения

Элементы	1(12)	2(5)	3(41)	4(5)	5(3)	5(10)	6(4)
Ni	1,45	0,87	1,70	7,87	3,15	8,34	10,64
Cu	0,11	0,11	0,20	0,25	0,37	0,47	0,23
Co	0,42	-	-	-	0,27	0,20	-
Ir	-	-	-	-	0,022	0,020	-
Ru	0,012	-	-	-	0,035	0,011	-
Rh	0,003	0,003	-	0,002	0,025	0,008	-
Pt	0,034	0,073	0,058	0,170	0,212	0,147	0,046
Pd	0,058	0,072	0,098	0,360	0,220	0,348	0,160
Сумма ЭПГ	0,092	0,145	0,156	0,530	0,514	0,459	0,206
Pd/Pt	1,7	1,0	1,7	2,1	1,0	2,4	3,5

Примечание: 1 - вкрапленные руды (скв. 8413); 2 - то же (скв. 7819, 7928, 7931); 3 - вкрапленные руды Восточной зоны (скв.9112); 4 - брекчиевидные и вкрапленно-прожилковые ("пятнистые") руды (скв. 7614); 5 - густовкрапленные и массивные руды (скв. 8501); 6 - массивные руды (скв. 8413); 7 - то же (скв. 7614); "-" - элемент не определялся.

ля. Главным носителем Ni [5] является пентландит, на долю которого приходится 93-94% сульфидного никеля; меньшая часть приходится на виоларит - 3-4%, пирротин - 2-3%, арсениды и сульфоарсениды - 1-2%. Практически вся медь присутствует в сульфидной форме и в одном минерале - халькопирите. Около 90 % Co содержится в рудных минералах и примерно 10% - в силикатах. Основным минералом-носителем Co является пентландит, на долю которого приходится 65-75% от общего количества кобальта. Значительная часть этого элемента концентрируется в сульфоарсенидах -12-17%, небольшая доля содержится в виоларите-3-4%, в пирите и марказите - 1-2%.

Практический интерес при промышленной оценке и комплексном освоении еланской группы месторождений представляют повышенные концентрации в рудах молибдена, серебра (табл. 3), селена (9 г/т), теллура (2 г/т) и золота (0,3-0,4 г/т), образующих самостоятельные минералы (молибденит, аргентопентландит, теллурувисмутит, алтаит, золото самородное и др.), а также элементы платиновой группы (ЭПГ), низкие концентрации которых обуславливают малую вероятность широкого распространения собственных минеральных фаз.

По содержанию ЭПГ руды еланского типа близки к рудам Печенги. Среди этой группы элементов резко преобладают Pd и Pt, на долю которых приходится около 95% от суммы платиноидов; Rh, Ru, Ir находятся примерно в равных количествах, но их содержание на порядок ниже концентраций Pt и Pd (табл. 4).

Сравнительно высокими концентрациями ЭПГ отличаются брекчиевидные и более медистые вкрапленно-прожилковые руды (Ni=6,66%, Cu=0,23%, Pt=0,68 г/т, Pd=1,3 г/т; скв.7614; среднее содержание Pt и Pd по 5 анализам составляет 0,530 г/т; Pd/Pt=2,1). В массивных рудах максимальные концентрации платиноидов отмечены в наиболее богатых (Ni=13,3-14,35%, Cu=0,28-1,17%, Co=0,25-0,30%) рудах (Pt=0,10-0,38 г/т; Pd=0,36-1,0 г/т; Rh до 0,03 г/т, Ru до 0,012 г/т, Ir до 0,014 г/т; скв.8413) при суммарном содержании ЭПГ=0,495 г/т; Pd/Pt=2,4. В этих рудах в зернах пентландита и халькопирита присутствуют мелкие изометричные

кристаллы, которые по ряду физических параметров близки к природному сплаву Pt и Fe.

Заметное преобладание палладия над платиной (Pd/Pt>2) в брекчиевидных и массивных рудах является не только следствием высоких содержаний сульфидов Ni, Cu, Co, но и отражает существенное возрастание в них Ni-Co-сульфоарсенидов, наиболее характерных для поздних стадий единого рудообразующего процесса и сопровождающихся накоплением в своем составе повышенных концентраций Os (до 0,05-0,08 г/т); Ir (0,01 - 0,5 г/т), Ru (до 0,04 г/т), а также Pt и Pd. Одним из важных носителей ЭПГ является новая палладий-иридий-платиновая разновидность брейтгауптита [5]. В его составе помимо обычных примесей Fe, Cu, As, S установлены относительно стабильные и высокие содержания Ir (5100 г/т) и Pt (3600 г/т), варьирующие в широком интервале концентраций Pd (то 1100 до 8400 г/т); и менее значимые - Rh (100 г/т), а также спорадически - Au (до 4500 г/т).

С момента открытия Еланского сульфидного платиноидно-медно-никелевого месторождения в 1976 году для объяснения необычных особенностей состава руд и вмещающих магматических пород было предложено несколько моделей формирования еланского типа РМС. Их обзор приведен в ряде статей [2,12,13,15,18,19].

Уникальные петролого-геохимические особенности пород и руд еланского типа РМС определяются спецификой ее формирования из гибридного сульфидоносного расплава, возникшего в результате ассимиляции ультраосновной (коматиитовой) магмой кислых пород континентальной коры [12,19]. Реальность подобной модели подтверждается следующим, характерным для контаминированных по своей природе кремнистых высокомагнезиальных серий, комплексом признаков: 1) минералогических (высокомагнезиальный состав фемических минералов, широкое развитие ортопироксена, наличие кварца и калишпата); 2) петрохимических (несоответствие между высокими содержаниями MgO и повышенными концентрациями SiO<sub>2</sub> и K<sub>2</sub>O; высокие величины отношений MgO/CaO, SiO<sub>2</sub>/CaO, MgO/FeO); 3) геохимических (обогаченность как Sr

и Ni), так и крупноионными литофильными элементами K, Rb, Ba, легкими РЗЭ; высокие величины отношений Ce/Yb, Ce/Nb, Ba/Zr; повышенные Zr/Rb, Ti/Cr, Ti/Rb, присущий коматиит-ассоциированным сульфидно-никелевым РМС высоконикелистый состав руд (Cu/Ni<0,01) при одновременном обогащении их As, Mo, Sb, Bi, Au, Ag; 4) изотопно-геохимических (высокие величины отношений  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$   $\delta^{18}\text{O}>6\%$ ;  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ;  $\Sigma\text{Sr}>1$ ; низкие значения  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ,  $\Sigma\text{Nd}<0$ ).

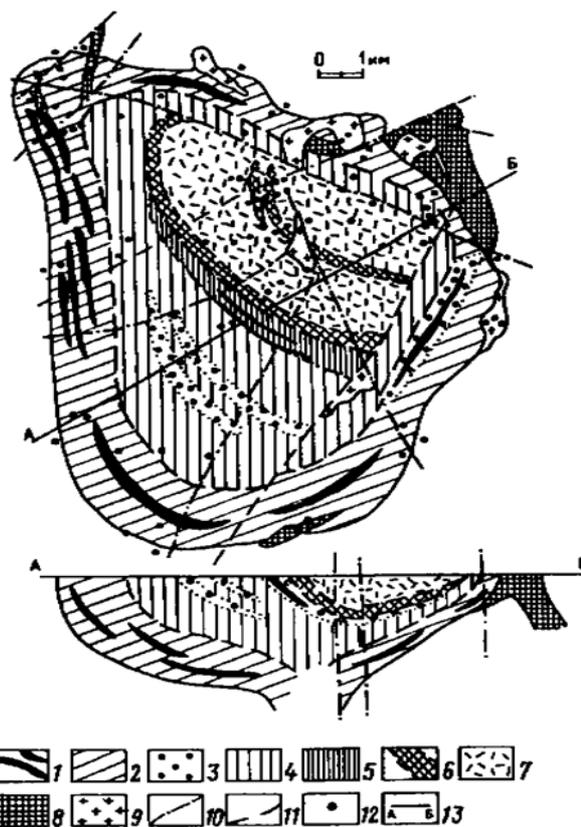
### 2.3. Малосульфидные платинометалльные рудопроявления

В наращивании платинометалльного минерально-сырьевого потенциала значительный интерес представляют дифференцированные плутоны [10]. Наиболее крупными из них являются Елань-Вязовский сложнодифференцированный ультрамафит-мафитовый (Воронежская область) и Ольховский кольцевой габбронорит-кварцмонзонит-гранитный (Липецкая область).

Елань-Вязовский плутон в срезе докембрийского фундамента представлен двумя самостоятельными интрузивами - Вязовским (71 км<sup>2</sup>) и более крупным (120км<sup>2</sup>) Елань-Коленовским (рис.8), которые на глубине 3-5 км имеют общее магматическое основание. Исследования внутреннего строения, трендов дифференциации и ряда других количественных петролого-геохимических параметров позволили установить значительные черты сходства Елань-Вязовского плутона с типичными контаминированными ритмично-расслоенными платиноносными петротипами и теоретически обосновать высокую его перспективность на малосульфидное платинометалльное оруденение стиллуотерского типа. Наиболее вероятными для локализации крупномасштабного по ресурсам малосульфидного платинометалльного оруденения стиллуотерского типа в его пределах являются горизонты тонкоритмичного чередования и контрастной смены кумулусных минеральных парагенезисов нижней расслоенной и в большей мере промежуточной зоны, обогащенной флюидонасыщенными минералами. Об этом свидетельствуют единичные анализы, показавшие существенное обогащение платиноидами (Pd+Pt>0,90 г/т) и золотом (Au до 0,57 г/т) ортопироксенитов промежуточной зоны, которую в целом следует рассматривать в качестве своеобразного "критического" горизонта локализации благородных металлов нового, весьма перспективного типа оруденения [6,10,23].

К группе перспективных на малосульфидное платинометалльное оруденение относится и один из крупнейших (около 300 км<sup>2</sup>) в докембрийском фундаменте ЦР Ольховский габбронорит-кварцмонзонит-гранитный массив, характеризующийся кольцевым строением.

Краевая его часть сложена ранней по времени формирования мафитовой фазой (2050±23 млн.лет);



**Рис. 8. Петрологическая модель Елань-Коленовского плутона:** 1 - плагиоклазовые оливиниты, плагиоперидотиты, флогопитовые перидотиты, плагиоклазовые пироксениты (вебстериты), троктолиты как горизонты (слои) гравитационно-кристаллизационной дифференциации; 2 - преимущественно оливин-ортоклазовые габбронориты гипидиоморфно-пойкилитовой структуры, участками до оливиновых габбро-монзонитов и монзонитов; 3 - оливинсодержащие габбронориты гипидиоморфной структуры; 4 - безоливиновые габбронориты в различной степени с тремолитизированными пироксенами; 5 - ритмичное чередование оливинсодержащих и безоливиновых габброноритов с плагиопироксенитами и плагиоперидотитами; 6 - ассоциация роговообманковых пироксенитов, пироксеновых горнблендитов и роговообманкового габбро; 7 - биотитовые габбронориты с многочисленными шпиропоподобными обособлениями биотитовых пироксенитов и слюдитов; 8 - эпигенетические дайки и малые рудоносные интрузивы норитов еланского комплекса; 9 - диоритовые интрузии еланского комплекса; 10 - тектонические нарушения по геолого-геофизическим данным; 11 - условные границы зон кристаллизационной дифференциации плутона; 12 - скважины; 13 - линия моделированного разреза.

в центре размещаются роговообманковые граниты. На основе разработанной модели формирования высокопродуктивных на благородные металлы магм в результате контаминации мантийных расплавов породами континентальной коры и вытекающих из этой модели индикаторных критериев распознавания потенциально рудоносных объектов [10] было установлено, что мафитовая составляющая породной ассоциации Ольховского плутона обладает признаками, присущими платиноносным комплексам. Наличие сходных черт

с известными платиноносными комплексами по ряду петрогенных компонентов в системе координат (Mg+Fe+Mn+Ca<sup>Px</sup>+Cr+Ti)—Si—(Na+K+Ca<sup>Pl</sup>+Al), характеру распределения редкоземельных элементов (РЗЭ), а так же установление по единичным пробам повышенных содержаний ЭПГ (особенно Pd) позволяют предположить возможность обнаружения в Ольховском плутоне платинометалльного оруденения.

#### 2.4. Новогольский тип сульфидных медно-никелевых и малосульфидных платинометалльных потенциальных месторождений

В оценке перспектив потенциальной продуктивности на цветные и благородные металлы особый интерес представляет группа габбродолеритовых интрузий новогольского комплекса (1805±14 млн.лет) в пределах Жердевско-Борисоглебского узла на северо-восточном борту ВКМ (рис.9). Крупные (до 200-400 км<sup>2</sup> и более) кольцеобразные в плане тела интрузивов лополитоподобной формы, часто с пологими (15-30°) углами падения, прорывают метаморфические породы (включая углеродистые сланцы воронцовской серии) нижнего протерозоя. По характеру расслоенности (от микродолеритов и долеритов к оливиновым габбродолеритам и троктолитовым габбродолеритам и иногда долерит-пегматитам), петрохимическим параметрам и металлогенической специализации интрузии отнесены к трапповой формации, с которой в других регионах (Норильско-Талнахский, Инсизва - ЮАР) ассоциируют уникальные месторождения сульфидных медно-никелевых и малосульфидных платинометалльных руд. Химический состав пород новогольского комплекса близок к интрузивам трапповой формации смородинского комплекса КМА, в такситовом горизонте которых установлены повышенные концентрации платиноидов (Pd+Pt=1,8 г/т) и Au(0,38) г/т. Повышенные концентрации ЭПГ, Ni, Co и Со предполагаются в практически не вскрытых бурением нижних (MgO до 22,77 мас.% и серы от 0,10 до 1,38 мас.% по единичным анализам) дифференциатах массивов этого комплекса [10,6].

#### 2.5. Золото-платинометалльное оруденение в высокоуглеродистых стратифицированных комплексах и метасоматитах

Помимо широко известных сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудопроявлений и месторождений, особое значение приобретает

выявленный в последние годы новый нетрадиционный и весьма крупный по ресурсам источник благородных металлов – высокоуглеродистые стратифицированные докембрийские толщи и их метасоматиты.

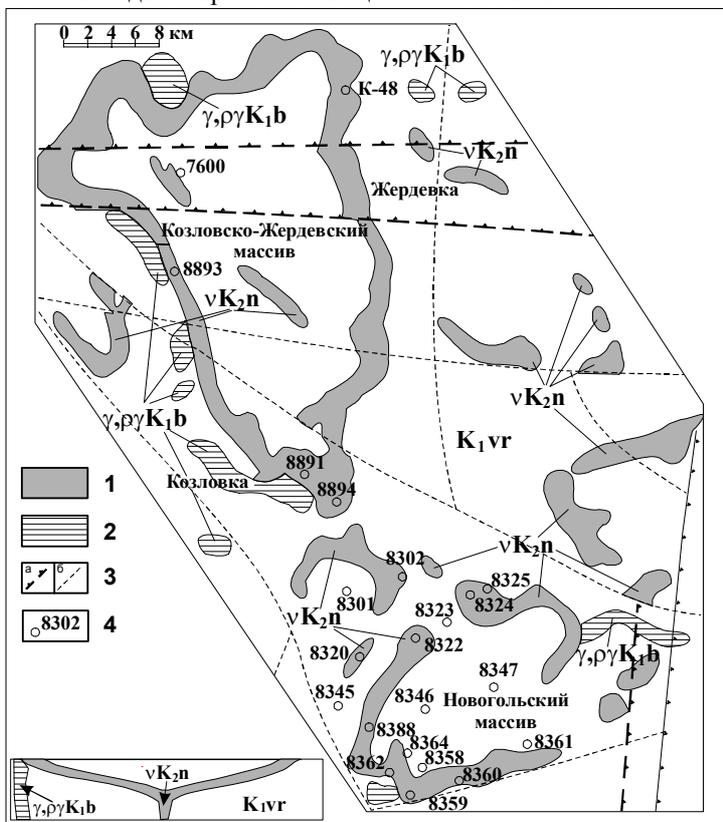
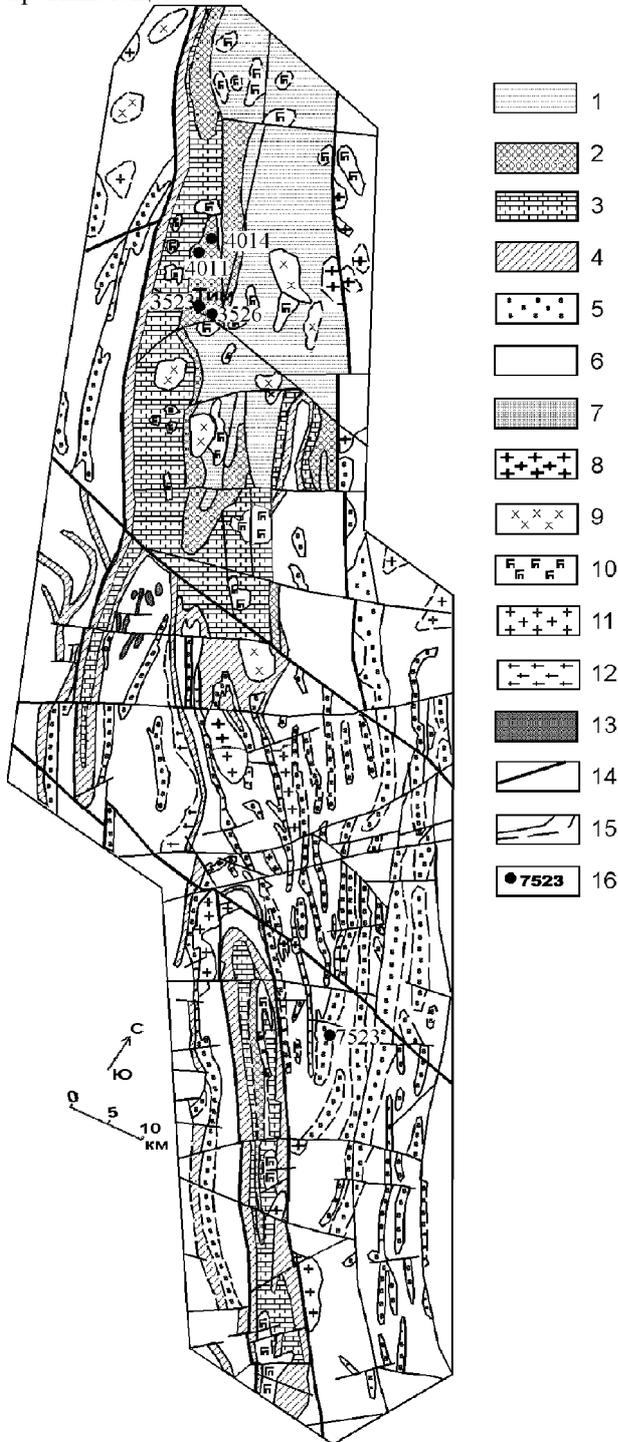


Рис. 9. Схема расположения Новогольского и Козловско-Жердевского массивов (по С.П.Молоткову, Н.М.Чернышovu, 1990): 1 – интрузии новогольского комплекса, 2 – интрузии бобровского гранит-плагиогранитного комплекса, 3 – тектонические разломы (а – первого порядка, б – другие), 4 – скважины и их номера. На врезке условная схема строения габбродолеритового кольцевого массива новогольского комплекса.

Проявления этого типа, широко развитые в пределах Курской и юго-востока Воронежской областей, представлены тремя группами [3,6,21,22]: а) золото-платинометалльной среди метаморфизованных (сланцы, гнейсы) углеродистых сульфидизированных вулканогенно-осадочных (тимской тип) и терригенных (сухоярский тип) пород; б) платиноидно-золоторудной в средне-низкотемпературных высокоуглеродистых метасоматитах зон объемного катаклаза среди раннепротерозойских вулканогенно-осадочных отложений оскольской серии (кшенский тип); в) платиноидно-золото-серебряной в углеродистых тектонических брекчиях и метасоматитах контактовых зон черных сланцев воронцовской серии и мафитовых интрузий (южное обрамление Большемартыновского массива, Каменки и др.).

Золото-платинометалльное оруденение первого типа, наиболее широко развитое в крупной

(120x30 км) Тим-Ястребовской структуре КМА (рис.10), характеризуется многоуровневым размещением (до 5-7 горизонтов мощностью 2,5-32,5 м), высокими концентрациями платиноидов и золота, крупномасштабными ресурсами, отчетливой корреляционной связью ЭПГ и Au с С, S и рядом петрогенных и малых (Ni, Cu, Co, Zn, Cr, Ti, V, Ba и др.) элементов, высокой (в 5-16 раз



**Рис.10. Схематическая геологическая карта Тим-Ястребовской и Волотовской структур:** 1-6-стратифицированные образования: 1-2-породы тимской свиты (1-метаэффузивы основного, среднего и кислого состава, ортосланцы, микроамфиболиты, прослои

сланцев кварц-биотитовых, углеродистых; 2-сланцы кварц-биотитовые, углеродистые, сульфидизированные, метапесчаники); 3-породы роговской свиты (известняки и доломиты, метапесчаники, метаконгломераты, сланцы углеродистые); 4-породы курской серии (железистые кварциты, сланцы различного состава, в том числе углеродистые, метапесчаники, металевролиты, кварциты, конгломераты); 5-породы михайловской серии (метаэффузивы основного-среднего состава, ортосланцы, ортоамфиболиты, метакоматииты, метапесчаники, железистые кварциты, гнейсы); 6-породы обоянской серии (плагиогнейсы различного состава, прослои амфиболитов, железистых кварцитов; породы миематизированы); 7-13- интрузивные образования: 7-карбонатиты, калиевые фениты, метасоматиты дубравинского комплекса; 8-граниты субщелочные, пегматиты, гранит-аплиты малиновского комплекса; 9-гранодиориты, диориты, кварцевые диориты, дайки диорит-порфиров, гранодиорит-порфиров, слессаритов, керсантитов стойло-николаевского комплекса; 10-габбронориты, габбро золотухинского комплекса; 11-граниты субщелочные атаманского комплекса; 12-плагиограниты, тоналиты, гранодиориты салтыковского комплекса; 13-горнблендиты, габбро-амфиболиты, габбро, пироксениты сергиевского комплекса; 14-разрывные нарушения; 15-геологический границы; 16-скважины и их номера(б)

держания в оруденелых породах) степенью накопления благородных металлов в наиболее тонкозернистой (<0,06 мм) сульфидно-углеродистой фракции.

Кшенский тип, выявленный в пределах Тим-Ястребовской и Волотовской структурах КМА (см.рис.10), представлен достаточно протяженными невыдержанными по морфологии и мощности (0,5-40 м) разнообразными по составу метасоматитами с золото-сульфидно-вкрапленной и золото-кварцевой минерализацией, отличающейся высокими концентрациями Au (до 4,3-14,6 г/т, иногда до 21 г/т) и пониженными ЭПГ (Pd до 0,96 г/т; рис.11). Палладий-ртутно-золото-серебряный тип оруденения, открытый в Хоперском (Воронежском) геоблоке, отличается повышенными содержаниями Au (до 1,7 г/т), Pd (0,36 г/т).

Золото-платинометальное оруденение в раннепротерозойских углеродистых сланцах, их метасоматитах, тектонических и эруптивных брекчиях ВКМ характеризуется полиминеральным, многокомпонентным составом и многообразием форм концентрирования благородных металлов. В их составе установлено 60 рудных минералов, в том числе 18 собственных минеральных фаз ЭПГ и [3,6,21], среди них:

**Самородные металлы:**

Золото	Au
Палладий	Pd
Платина	Pt
Серебро	Ag

**Металлические твердые растворы и интерметаллические соединения:**

Палладий платиносодержащий	Pd <sub>0,94</sub> Pt <sub>0,06</sub>
Платина железосодержащая	Pt <sub>0,96</sub> Fe <sub>0,04</sub>
Золото-платина-палладий	Pd <sub>0,86</sub> Pt <sub>0,08</sub> Au <sub>0,04</sub> Fe <sub>0,02</sub>
Осмистый иридий (невьянскит?)	(Ir,Os)
Золото ртуть-теллур-серебро содержащее	Au <sub>0,53</sub> Ag <sub>0,29</sub> Te <sub>0,07</sub> Hg <sub>0,02</sub>

Амальга золота-серебра  
 Аркверит (?)  
 Станнид палладия (незванный минерал)  
 Платина-палладий-золото-серебро-олово

$Au_{6,95}Ag_{6,07}Hg_{3,14}$   
 (Ag, Hg, Pt)  
 $PdSn_2$   
 (Pt, Pd, Au, Ag, Sn, Zn)

**Сульфиды**  
 Пирит  
 Ni-Cu-пирит  
 Ni-Co-пирит  
 Пирит золотосодержащий

$FeS_2$   
 $(Fe, Cu, Ni)_2S_2$   
 $(Fe, Ni, Co)_2S_2$   
 $(Fe, Cu, Au)_2S_2$

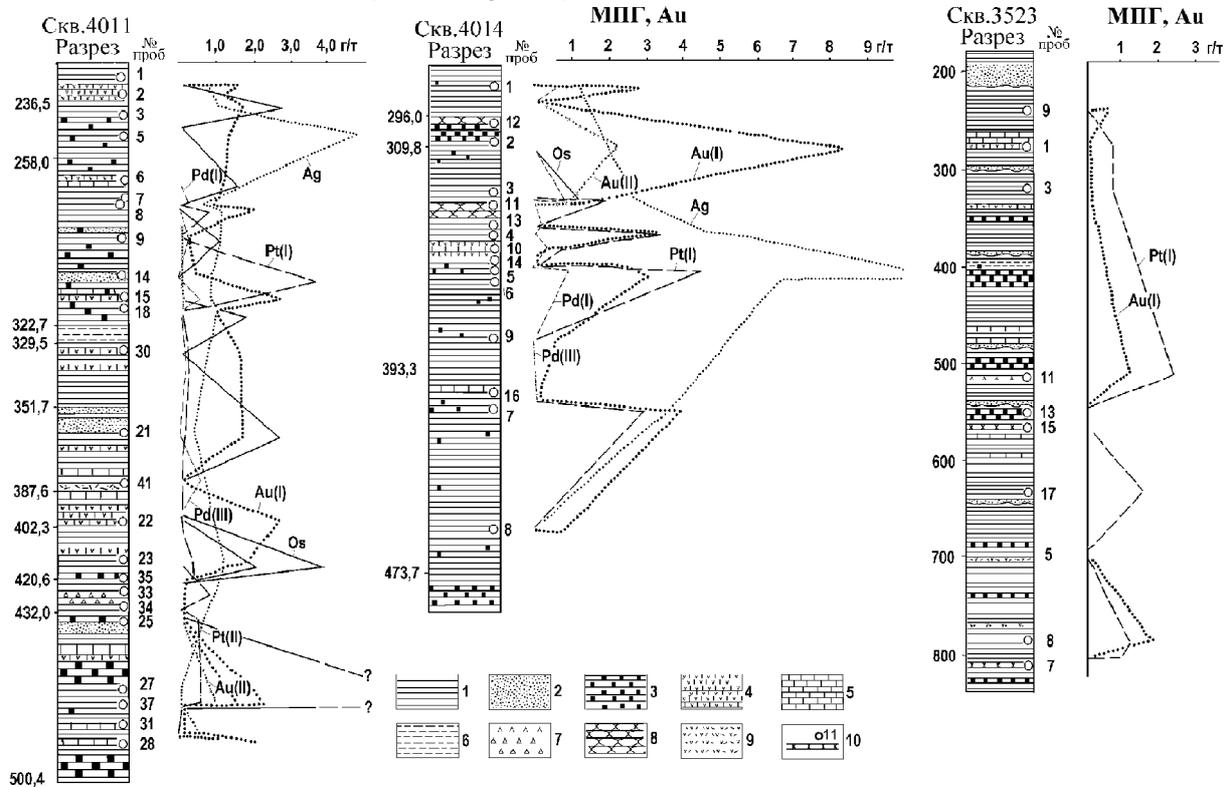


Рис. 11. Распределение ЭПГ и Au в разрезе высокоуглеродистой толщи тимской свиты Тим-Ястребовской зоны КМА (сква. 4011, 4014, 3523; по [3,21]): 1-углеродистые сланцы; 2-углеродистые сланцы с сульфидами; 3-амфибол-карбонатные породы углеродсодержащие; 4-известняки; 5-сланцы различного состава; 6-тектонические метабрекчии; 7-бластокатаклазиты; 8-метатUFFы кислого состава; 9-керсантиты; 10-интервалы отбора проб.

Макинавит  $(Fe_{7,86}Ni_{0,89}Co_{0,04}Cu_{0,13}Zn_{0,02})_{8,94}S_{8,06}$   
 Пирротин  $Fe_{1-x}S$   
 Ni-пирротин  $(Fe, Ni)_{1-x}S$   
 Пентландит, в том числе Ag-Pt-Pd-содержащий  $(Fe, Ni)_9S_8$   
 Халькопирит  $(Cu, Fe)_2S_2$   
 Марказит  $FeS_2$   
 Кубанит  $CuFe_2S_3$   
 Виоларит  $FeNi_2S_4$   
 Сфалерит  $ZnS$

Марганцовистый сфалерит  $(Zn_{0,87}Mn_{0,13})S$   
 Галенит  $PbS$   
 Селенистый галенит  $(Pb_{0,99}Fe_{0,03})_{1,02}(S_{0,77}Se_{0,21})_{0,98}$   
 Молибденит, в том числе Re-Pd-Au-содержащий  $MoS_2$

**Сульфиды, теллуриды, антимониды, селениды, сульфосоли:**

Арсенопирит  $(Fe_{0,9}Ni_{0,1})AsS$   
 Алтаит  $(Pb_{0,95}Fe_{0,13})_{1,08}Te_{0,92}$   
 Гёссит  $(Ag_{1,94}Cu_{0,04})_{1,98}Te_{1,02}$   
 Ульманит  $(Ni_{0,87}Co_{0,07}Fe_{0,07}Cu_{0,01})_{1,02}Sb_{1,01}S_{0,97}$   
 Теллурувисмутит  $(Bi_{1,69}Pb_{0,23}Fe_{0,11}Ag_{0,04})_{2,07}(Te_{2,89}Sb_{0,02}Se_{0,01})_{2,92}$   
 Буланжерит  $(Pb_{4,64}Cu_{0,52}Fe_{0,28}Zn_{0,02})_{5,46}(Sb_{3,92}Sn_{0,02}Se_{0,10})_{4,04}S_{10,49}$

Клаусталит  $(Pb_{0,98}Cu_{0,02})_{1,0}(Se_{0,78}S_{0,22})_{1,0}$   
 Станнин  $Cu_{1,98}(Fe_{1,08}Ni_{0,01})_{1,09}Sn_{1,00}S_{3,94}$   
 Цинкосодержащий станнин  $Cu_{1,95}(Fe_{0,97}Zn_{0,11})_{1,08}Sn_{1,02}S_{3,95}$   
 Селенид палладия и платины (незванный минерал)  $(Pd_{2,39}Pt_{0,53}Fe_{0,06})_{2,98}Se_{2,02}$   
 Теллурантимонид палладия (тестибиопалладит (?))  $(Pd_{0,88}Fe_{0,10}Ni_{0,08})_{1,06}(Te_{1,01}Sb_{0,89}Bi_{0,04})_{1,94}$   
 \* Антимонид палладия и золота (незванный минерал)  $(Pd_{0,79}Au_{0,17}Cu_{0,04})_{1,00}Sb_{2,00}$   
 Тетраэдрит  $Cu_{12}Sb_4S_{13}$

**Оксиды, вольфраматы, молибдаты, фосфаты и др.:**

Ильменит  $FeTiO_3$   
 Магнетит  $Fe_3O_4$   
 Рутил  $TiO_2$   
 Касситерит(?)  $SnO_2$   
 Шеелит  $Ca(W, Mo)O_4$   
 Перовскит  $(Ca, Ba, Sr)TiO_3$   
 Титанат бария  $(Ba, Ca)(Ti, Zr)O_4$   
 Титанат бария и висмута  $(Ba, Bi)_{1-x}(Ti, Nb)O_3$   
 Баделейт  $(Zr, Hf, Sc)O_2$   
 Циркон  $Zr[SiO_4]$   
 Барит  $Ba[SO_4]$   
 Монацит  $(Ce, La, Nd, Th, Y, Gd, Sm)PO_4$

\* минерал, открытый в 2000 г.

Апатит  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl})$

Высокие концентрации ЭПГ и Au выявлены в составе некоторых сульфидов - пирита и пирротина, на долю которых приходится 90-95% объема рудного вещества. Наиболее высокими концентрациями Pd характеризуются малоникелистые пирротины ( $\text{Pd}=120-1300$  г/т) и пириты ( $\text{Pd}$  до 300 г/т,  $\text{Au}$  до 1700 г/т), в меньшей степени - высоконикелистые пирротины (среднее содержание 60 г/т) и халькопирит (33 г/т), а также редко встречающиеся в рудах кобальтсодержащий пентландит (ЭПГ до 200 г/т) и молибденит ( $\text{Pd}$  до 1400 г/т,  $\text{Au}$  до 3300 г/т), которые в совокупности с собственно золото- и платинометалльными фазами являются основными концентраторами благородных металлов.

### 2.6. Золото-платинометальное оруденение в железистых кварцитах КМА

Важнейшими нетрадиционными источниками благородных металлов региона КМА являются железистые кварциты в зонах их метасоматической проработки (лебединский существенно магнетитовый и михайловский гематит-магнетитовый и гематитовый типы).

С железистыми кварцитами (Михайловское, Лебединско-Стойленское, Панковское месторождения) связаны проявления эндогенной платино-золото-сульфидной и золото-сульфидно-кварцевой формации [6,26]. По результатам многолетних исследований (А.Н.Шелехов, И.К.Мызников, В.А.Лючкин и др.) установлена неравнозначная степень сингенетичной и наложенной (эндогенной и гипергенной) золотоносности в зонах разломов по породам железисто-кремнистой формации в связи с кварц-сульфидными жилами и прожилками в гематит-магнетитовых и краснополосчатых гематитовых железистых кварцитах (до 5,5 г/т золота). В центральной части Михайловского карьера выделены две пространственно сближенные контрастные аномалии золота протяженностью более 300 м и шириной 20-30 м с концентрацией золота 0,1-0,14 г/т (с точечными аномалиями до 0,9 и 41,7 г/т). Аномальные зоны благороднометального оруденения тяготеют к жилам кварца с адуляром (0,2-0,6 г/т) и видимым золотом, а также участкам эгирин-кварц-сульфидного и кварц-карбонатного прожилкования. Состав золотосодержащих сульфидов железа различен: в пиритах из рудного щелочного метасоматита установлена 5,11 г/т Au, в слюдистом железистом кварците – 1,43 г/т, кварцевой жиле - 0,05 г/т. В первом случае в пирите также обнаружено повышенное содержание ртути (1179 г/т) и особенно мышьяка (9709 г/т). В пирите из кварцевой жилы установлен селен (1556,3 г/т). В пределах исследованных зон «палладиевого уступа» [26] в составе благороднометальной минерализации преобладает палладиевая ассоциация ЭПГ (содержание золота – 0,1-0,2 г/т, концентрация

палладия достигает 0,96 г/т).

В Михайловском железорудном районе на северо-северо-запад непосредственно от железорудного карьера, выделена [26] Хальзевско-Михайловская золоторудная зона протяженностью свыше 17 км которая контролируется разрывным нарушением. Ширина зоны достигает 800-1000 м. Она пересекает границы плагиогранитов салтыковского комплекса с породами курской серии. Оруденение в плагиогранитах связано с кварц-сульфидными (пирит, халькопирит, галенит) маломощными жилами и прожилками; содержание золота колеблется от десятых долей до 10 г/т.

Золото-кварцевая минерализация в железистых кварцитах характеризуется содержаниями золота от 1,0 до 7 г/т, в отдельных пробах до 21 г/т. Прогнозные ресурсы золота в самостоятельных рудных телах в контуре карьера оцениваются [26] масштабами среднего месторождения.

Важными и практически значимыми объектами благороднометальных руд являются крупномасштабные техногенные продукты железорудных горно-обогатительных предприятий КМА ( $\text{Au}$  и  $\text{Pd}$  в хвостах обогащения 0,30-0,55 г/т, в флотационно обогащенных концентратах –  $\text{Au}$  до 35,4 г/т,  $\text{Pd}$  до 0,5-1 г/т при извлечении 50,6% и выходе 0,5%, промпродуктах ( $\text{Au}$ -2,2 г/т при извлечении 22% и выходе 3,5%).

Значительное количество выделенных новых потенциально перспективных рудномагматических систем, концентрирующих месторождения цветных ( $\text{Ni}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Cu}$ ) и благородных (ЭПГ,  $\text{Au}$ ) металлов на ВКМ определили высокий уровень оценки ресурсов этих руд в Воронежской провинции [6]. Этому способствовало многолетнее накопление огромного материала по рудогенезу никеленоносных (с  $\text{Au}$  и ЭПГ) мафит-ультрамафитовым формациям Воронежской никеленоносной провинции и значительные успехи в оценке золото-платинометального оруденения в других разновозрастных ( $\text{AR}_2$ - $\text{AR}_1$ ) докембрийских формациях КМА и Хоперского мегаблока на юго-востоке ВКМ.

Выявление в пределах ВКМ различных по возрасту, составу, формационной и промышленно-генетической принадлежности месторождений, проявлений и потенциально рудоносных на цветные и благородные металлы объектов является лучшим памятником нашему учителю - Михаилу Николаевичу Годлевскому.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов Г.И., Чернышов Н.М., Буковшин В.В. Новая никеленоносная провинция в районе Воронежского кристаллического массива // Сов.геология. -1970. -№4. -С.90-109.
2. Чернышов Н.М., Молотков С.П. Геолого-генетические особенности и модель прогнозно-поискового комплекса сульфидных никелевых месторождений

- еланского типа. // Прогнозирование и поиски рудных месторождений на Воронежском кристаллическом массиве. -М., -1992. -С.28-42.
3. Чернышов Н.М., Коробкина Т.П. Новый тип платинометалльного оруденения Воронежской провинции: платиноносные высокоуглеродистые стратифицированные комплексы. // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. – М., 1995. -Т.2,-Кн.2. -С.55-83.
  4. Чернышов Н.М. Металлогения раннего докембрия Воронежского кристаллического массива // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1996. -№1. -С.5-20.
  5. Чернышов Н.М., Буковшин В.В., Лапутина И.П. Новые данные о составе рудных минералов Еланского сульфидного медно-никелевого месторождения и особенности распределения в них благородных металлов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -2000. -№5(10). -С.136-148.
  6. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чередникова О.И. Металлогения платиноидов крупных регионов России. -М., 2001.-302 с.
  7. Годлевский М.Н. Медно-никелевые месторождения мира и проблемы их генезиса // Тр. ЦНИГРИ. - 1963.-22 с.
  8. Годлевский М.Н. Никеленосные провинции СССР // Геология медноколчеданных, свинцово-цинковых и никеленосных месторождений: Тр. ЦНИГРИ. -М., -1967. -Вып.75. -С.178-199.
  9. Годлевский М.Н. Магматические месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений. -М., -1968. -С.7-83.
  10. Чернышов Н.М. Формационно-генетические типы платинометалльных проявлений Воронежского кристаллического массива // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. - М., -1994. - С. 85-103.
  11. Чернышов Н.М. Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива (породы, руды, генетические особенности). -Воронеж, 1971.- 312 с.
  12. Чернышов Н.М. Новый тип сульфидного никелевого оруденения Воронежского кристаллического массива // Геология рудн. месторождений. - 1985. - Т. 27, № 3. -С. 34-45.
  13. Чернышов Н.М. Типы никеленосных интрузий и медно-никелевого оруденения Воронежского массива // Сов. геология. - 1986. - № 12. - С. 42-54.
  14. Чернышов Н.М., Молотков С.П. Закономерности размещения, критерии прогноза и методы поисков сульфидных медно-никелевых месторождений ВКМ // Методы прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых на Воронежском кристаллическом массиве. – М., 1989. -С.38-45.
  15. Чернышов Н.М. Сульфидно-никелевые рудно-магматические системы (типизация и эволюция) // Изв. АН СССР. Сер.геол. – 1990. - №11. -С.94-106.
  16. Чернышов Н.М. Генетические типы месторождений медно-никелевой формации Воронежского кристаллического массива (ВКМ) // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск, 1988. -С.182-190.
  17. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометалльные месторождения России. – СПб., 2000. -755 с.
  18. Чернышов Н.М., Переславцев А.В., Молотков С.П., Чернышова М.Н. Новый тип никеленосной формации в докембрии Воронежского кристаллического массива // Изв. АН СССР. Сер.геол. – 1991. -№9. -С.111-124.
  19. Чернышов Н.М. Еланский тип сульфидных медно-никелевых месторождений и геолого-генетическая модель их формирования (Центральная Россия) // Геология рудных месторождений. –1995. -С.28-42.
  20. Чернышов Н.М., Буковшин В.В. Минералого-геохимические особенности сульфидных медно-никелевых руд мамонского и еланского типов месторождений ВКМ в связи с проблемой их комплексного освоения. // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири, Дальнего Востока. – Апатиты, 1988. -С.16-20.
  21. Чернышов Н.М. Новый тип золото-платинометалльного оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ (Закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и геолого-генетическая модель формирования) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1996. - №1. – С.114-132.
  22. Чернышов Н.М., Мяснянкин В.И. О золотоносности раннедокембрийских зеленокаменных структур КМА. // Геология рудных месторождений. –1992.-Т.34, №2. -С.19-31.
  23. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Полферов Д.В., Тарновецкий Л.Л. Платинометалльные месторождения мира. // Платинометалльные малосульфидные месторождения в ритмично расслоенных комплексах. –М., 1994. -Т.1, -Кн.1.-279 с.
  24. Чернышов Н.М., Лосицкий В.И., Молотков С.П., Вассерман И.С. Тектоника Воронежского кристаллического массива (по геолого-геофизическим данным) // Докембрий Северной Евразии: Междунар. совещ. –СПб, 1997. -С.115-116.
  25. Чернышов Н.М., Ненахов В.М., Стрик Ю.Н., Лебедев И.П. Модель геодинамического развития ВКМ в раннем докембрии // Геотектоника. -1997. -№3. -С.21-30.
  26. Лючкин В.А., Казанцев В.А. Предпосылки промышленных месторождений золота на территории Курской магнитной аномалии. // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1997. - №3. –С.95-99.

