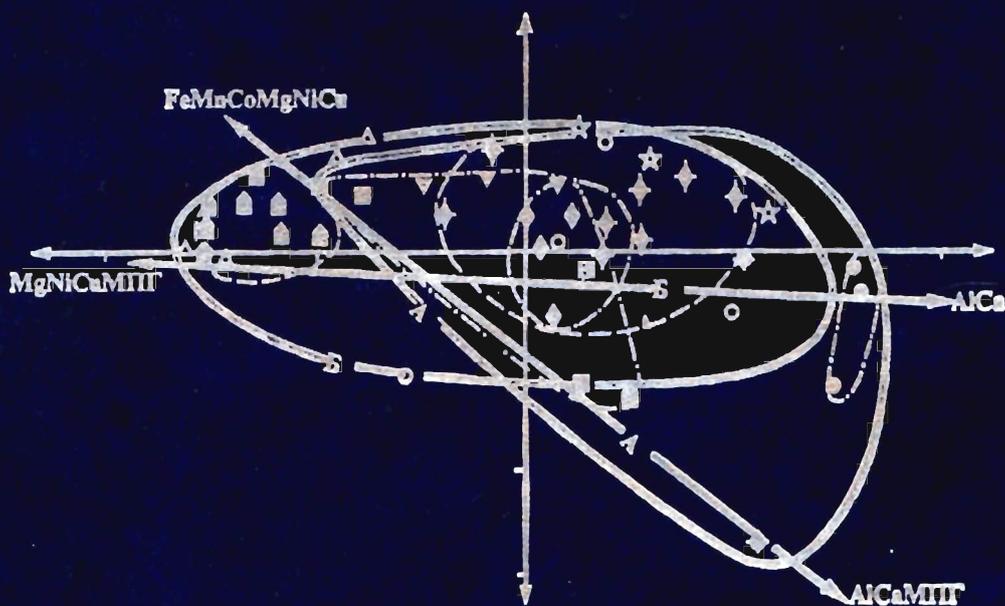


Д.А.ДОДИН, Н.М.ЧЕРНЫШОВ, О.И.ЧЕРЕДНИКОВА

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ КРУПНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ



МОСКВА
2001

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПРОГРАММА "ПЛАТИНА РОССИИ"

Всероссийский научно-исследовательский институт
геологии минеральных ресурсов Мирового океана

*Посвящается светлой памяти
Великого Ученого современности
Алексея Дмитриевича Щеглова*

Д.А.Додин, Н.М.Чернышов, О.И.Чередникова

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ КРУПНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

Москва
Геонформмарк
2001

553
260

УДК 553.491.8.04(47+57)
ББК 26.341
Д 60

Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чередникова О.И. Металлогения платиноидов крупных регионов России. – М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 2001. – 302 с., 61 ил. Библиогр.: с. 296-301. ISBN 5-900357-63-5.

Постоянно растущее в мире потребление платиновых металлов (МПГ), значительно опережающее их производство, обуславливает необходимость расширения, воспроизводства и сохранения минерально-сырьевой базы МПГ во второй по значимости платиновой державе мира – России.

В связи с этим впервые для шести крупных регионов страны – Карело-Кольского, Курско-Воронежского, Уральского, Северо-Сибирского, Южно-Сибирского и Дальневосточного рассмотрены закономерности размещения и формирования наиболее значимых (в том числе и потенциально) месторождений платиновых металлов. Установленные особенности металлогении платиноидов этих регионов позволили определить для них наиболее перспективные первоочередные объекты и предложить вариант многолетней государственной стратегии геологоразведочных и научно-исследовательских работ по отрасли “Платина”. Приведенные технологии переработки, прогноза и поисков известных и новых для России нетрадиционных типов платиноносодержащих объектов делают рекомендации авторов достаточно обоснованными.

Реализация приведенных в монографии конкретных рекомендаций по выявленным в рамках программы “Платина России” объектам позволит уже к 2005 г. увеличить добычу платиновых металлов (особенно платины), расширить существующие и создать новые базы платинодобычи.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов в области металлогении и экономики платиноидов, а также банкиров и промышленников.

216533

Библиотека Кольского
научного центра
Р. С.

ISBN 5-900357-63-5

© ЗАО “Геоинформмарк”, 2001
© Д.А.Додин, Н.М.Чернышов, О.И.Чередникова

ВВЕДЕНИЕ

Платиновые металлы (МПП) являются ценнейшими полезными ископаемыми, находящими все более широкое применение в промышленности, науке и новейших технологиях. В то же время, начиная с 1994 г., потребление платиновых металлов в мире на 50-90 т ежегодно превышает их производство [44, 45, 46]. Такое соотношение производства и потребления МПП при текущем состоянии разведанной и эксплуатируемой минерально-сырьевой базы скорее всего еще более обострится в прогнозируемый период до 2010 г. (табл. 1). Это обуславливает стабильно высокие, нередко с незначительным подъемом цены на мировом рынке. Так, 06.02.2001 г. стоимость покупки/продажи 1 г платины на лондонской бирже составляла: 19,51/19,71 дол. США, соответственно палладия – 34,40/35,68, родия – 69,92/71,34. Напомним, что минимальная стоимость палладия ~10 дол/г отмечалась только в 1980 г. – в короткий период полной дестабилизации мирового рынка МПП. В то же время цены на никель упали до 6805 дол/т, олово – 5115, медь – 1765 дол/т. Таким образом, платиновые металлы оказались не подверженными экономическому кризису.

Россия располагает крупной постепенно истощающейся и качественно ухудшающейся минерально-сырьевой базой МПП (сульфидные платиноидно-медно-

Таблица 1

Соотношение потребления, производства и поступления МПП в мире в 1991-2010 гг.

Показатель	1991 г.	1992 г.	1994 г.	1995 г.	1996 г.	1998 г.	2000 г.*	2010 г.**
Потребление, т	253	252	318	357	372	460	490-500	600-620
Производство, т	272	267	268	268	273	320	360	460

*Экспертная оценка.

**Прогноз.

никелевые руды Норильска и Печенги, россыпи Корякии и Алдана), являясь второй в мире (после ЮАР) платиновой державой.

Главными причинами падения добычи являются снижение производства МПГ на Норильском комбинате при постоянном уменьшении доли богатых руд (и ухудшении их качества – падении средних содержаний платиновых металлов в общей извлекаемой из недр товарной рудной массе) и не введение в строй новых крупных месторождений. Выполненный авторами анализ показывает, что разведанные запасы МПГ в России ни в какой мере не смогут обеспечить (естественно без крупных заимствований из государственных стратегических резервов) объемы экспорта на уровне 1994-2000 гг.

Перечисленное безусловно является очень существенной причиной, определяющей необходимость развития, качественного обновления минерально-сырьевой базы и постоянного роста в XXI в. добычи МПГ в Российской Федерации при восстановлении их запасов до уровня 70-80-х годов и последующем сохранении путем разведки и постановки на баланс открытых и изученных новых объектов в рамках программы “Платина России”.

Распределение разведанных запасов платиноидов по отдельным регионам и основным перерабатывающим предприятиям России крайне неравномерное. Практически все они сосредоточены в Арктической зоне России в Таймырском автономном округе. И хотя сырье Норильских месторождений является комплексным и высококачественным, большая часть добычи МПГ на одном объекте из экологически опасных (содержание серы до 30%), низкотехнологичных руд представляется нам крайне неблагоприятной. Тем более, что в рассматриваемом случае количество добываемых платиноидов зависит от производства никеля и меди, наращивать которое в связи с нестабильностью цен на эти металлы не всегда рентабельно.

Другой крупный комбинат – “Севроникель” испытывает острую потребность в сырье, и руду туда завозят морским путем из Норильска. В то же время, как будет показано ниже, авторами и другими соисполнителями программы “Платина России” вблизи комбината “Севроникель” оценены несколько перспективных платиноносных объектов с высокотехнологичными и экологически безопасными рудами.

Таким образом, основной очень серьезной проблемой минерально-сырьевой базы (МСБ) МПГ является ее преимущественное сосредоточение в одном труднодоступном регионе России при наличии свободных мощностей перерабатывающих предприятий на ее Северо-Западе.

В связи с отмеченным, авторы настоящей монографии в составе коллектива ученых (Д.А.Додин, Н.М.Чернышов, Г.В.Поляков, П.Я.Нескрасов, Г.Л.Митрофанов, О.А.Дюжиков, Л.Л.Тарновецкий и др.) из различных институтов и регионов страны в 1991-1992 гг. разработали межотраслевую общероссийскую программу “Платина России”. Для выполнения исследований по программе был сформирован межотраслевой коллектив из ведущих специалистов-платинистов организаций Роскомнедр – ныне Министерства природных ресурсов Российской Федерации (Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минераль-

ных ресурсов Мирового океана – головная организация по “Программе”, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского, Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, Всероссийский научно-исследовательский институт экономики минерального сырья и недропользования, Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, ГСФ “Минерал” и др.), Российской Академии наук (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии, Институт экспериментальной минералогии, Институт литосферы, Институт геологии и геохронологии докембрия, Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии, Институт геохимии и Институт геологии Сибирского отделения, Дальневосточный геологический институт и Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт Дальневосточного отделения, Геологический институт Кольского и Институт геологии Карельского научных центров и др.), Госкомвуза – ныне Министерства образования Российской Федерации (Воронежский государственный университет, Санкт-Петербургский горный институт, Санкт-Петербургский государственный университет, Томский политехнический и Томский государственный университеты, Красноярская государственная академия цветных металлов и золота и др.), Академии естественных наук (Институт платины) и ряда акционерных обществ (Механообр-Инжиниринг, Механообр-Аналит и др.). Программа “Платина России” была утверждена 27 мая 1992 г. первым заместителем Председателя Роскомнедр Б.А. Яцкевичем сроком по декабрь 2005 г. включительно. В 1996-1999 гг. в реализации программы приняло участие 180 специалистов из 40 организаций 22 городов России.

Главными задачами исследований по первому этапу “Программы” являлись: создание классификации платинометалльных месторождений; выявление новых месторождений МПГ известных и нетрадиционных типов; изучение строения платинометалльных районов, полей и месторождений; создание новых технологических схем переработки платиносодержащих руд и построение геолого-технологико-экономических моделей;

установление закономерностей размещения месторождений и рудопроявлений МПГ с прогнозно-платинометаллогеническим районированием территории России и обоснованием наиболее перспективных провинций и областей;

составление обобщающих монографий, сборников научных трудов, карт, схем и т.д.;

разработка технологий прогнозирования и поисков месторождений МПГ; создание металлогенических и прогнозно-геодинамических моделей формирования крупных и уникальных платиносодержащих или платиноидных месторождений;

оценка перспектив коренной, россыпной и техногенной платиноносности крупных регионов России с изучением металлогении платиноидов в их пределах и обоснованием предварительного варианта долговременной концепции развития геологоразведочных и научно-исследовательских работ по отрасли “Платина”.

Результаты работ по последней проблеме – металлогении платиноидов крупных регионов страны и отражает настоящая монография. В ее оформлении неоценимую помощь оказали Г.С.Мартынова, Б.К.Прокофьев, И.С.Рябкова, которым авторы выражают искреннюю признательность.

Огромную благодарность за постоянную поддержку исследований по программе “Платина России” авторы приносят бывшему министру природных ресурсов Российской Федерации Б.А.Яцкевичу, руководителю Департамента науки и информационных систем Н.В.Милетенко, заместителям руководителей Департаментов МПР А.Е.Березию, А.Н.Лабутину и Л.В.Огансяну, директору ВНИИОксангеология академику И.С.Грамбергу, его заместителям В.Л.Иванову, Т.П.Портновой и Г.А.Черкашеву, заведующим отделами А.З.Бурскому, А.П.Евдокимову, Л.В.Норинской, Т.А.Потемкиной и Е.Н.Сизовой, ректору Воронежского государственного университета профессору И.И.Борисову. Успешной работе над монографией во многом способствовали постоянные творческие контакты с ведущими российскими специалистами в области геологии, петрологии, геохимии и металлогении – академиками О.А.Богатиковым, Э.М.Галимовым, И.С.Грамбергом, Н.Л.Добрецовым, В.И.Коваленко, А.Э.Конторовичем, Н.П.Лавровым, Ю.Г.Леоновым, А.А.Маракушевым, Ф.П.Митрофановым, В.Г.Моиссенко, В.В.Ревердатто, Д.В.Рундквистом, Н.В.Соболевым, В.С.Сурковым, В.Е.Ханном, Н.А.Шило, членами-корреспондентами РАН В.А.Глебовицким, В.И.Гончаровым, Г.И.Горбуновым, И.В.Гордиенко, К.К.Золоевым, Е.А.Кулишом, М.И.Кузьминым, Г.В.Поляковым, А.И.Ханчуком и др.

Авторы благодарят всех соисполнителей программы “Платина России”, дружеское общение и конструктивный обмен мнениями с которыми стимулировали появление этой книги.

Авторы монографии свято чтят память своих безвременно ушедших друзей и соратников по платиновой проблематике: Н.Л.Балаболина, Н.В.Глухоедова, Л.К.Говорову, Л.Н.Коваленко, Н.П.Ермолаева, В.В.Менчинского, В.Ф.Попова, Б.К.Прокофьева, С.И.Рыбакова, А.В.Савицкого, Ю.Н.Седых, Л.Л.Тарновского.

Посвящают представляемую книгу авторы светлой памяти Великому Ученому Алексею Дмитриевича Щеглова, у которого они всегда находили помощь, поддержку и дружеский деловой совет.

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА И ДОБЫЧА ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Российскую минерально-сырьевую базу платиновых металлов образуют эндогенные месторождения Таймыра и Кольского п-ова, а также россыпи Корякни, Алдана и Урала.

ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОЕНИЯ И ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения Таймыра (Талнахское, Октябрьское и Норильск-1) образуют Норильский промышленный район (рис. 1). Забалансовые месторождения (Имангдинское, Черногорское, Норильск-2) после соответствующего пересчета кондиций в отношении платиновых металлов безусловно перейдут в разряд балансовых.

Крупнейшие Талнахское и Октябрьское месторождения по содержаниям и запасам МПГ не имеют себе равных среди других сульфидных платиноидно-медно-никелевых объектов мира.

В пределах названных месторождений выделяются три группы сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд [19, 44, 62]:

- сплошные руды в интрузивах и их экзоконтактах;
- вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды в интрузивах;
- вкрапленные, прожилково-вкрапленные и брекчиевидные руды в экзо- (и эндо-) контактах рудоносных интрузивов (“медистые”).

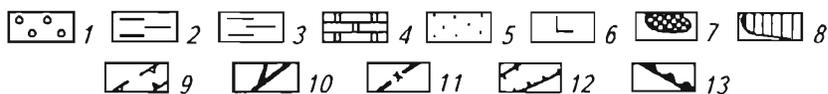
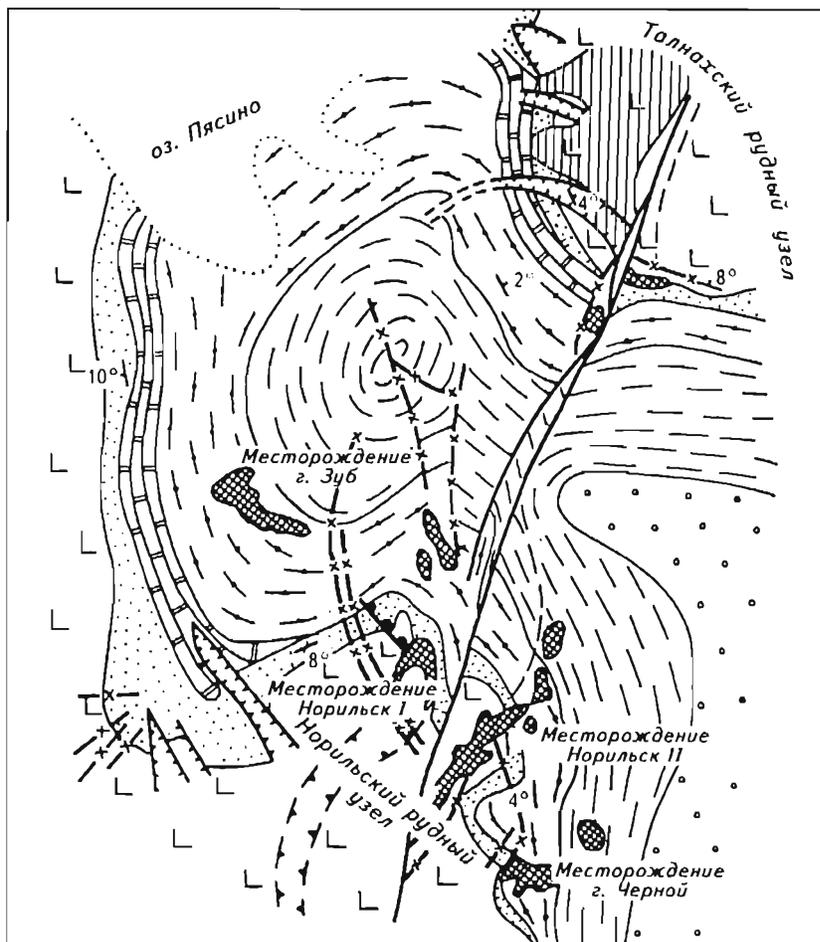


Рис. 1. Схема геологического строения Норильского и Талнахского платиноносно-никеленосных рудных узлов (по В. Ф. Кравцову, 1972)

1-6 – стратифицированные образования: 1 – ордовика, 2 – силура, 3 – нижнего и среднего девона, 4 – верхнего девона, 5 – верхнего карбона – верхней перми, 6 – верхней перми – нижнего триаса; 7 – выходы интрузивов норильско-талнахского типа на поверхность; 8 – ветви Верхней Талнахской интрузии; 9 – предполагаемое продолжение месторождения Норильск-I; 10 – Норильско-Хараелакский разлом; 11 – сбросы; 12 – просадочные структуры; 13 – границы прогибов

В рудах установлено более 200 минералов. Руды трех групп образуют единую сложного строения мощностью до 200 м и более рудную толщу Талнахского и Октябрьского месторождений, пространственно связанную с приподошвенной (в значительно меньшей степени с прикровельной) частью расслоенных интрузивов. Рудная толща вместе с рудоносным Верхним Талнахским интрузивом и слоями

Соотношение запасов (в %) сплошных (богатых), медистых и вкрапленных руд по полям рудника [83]

Месторождение	Поле рудника	Год начала отработки	Руды		
			Богатые	Медистые	Вкрапленные
Талнахское	Маяк	1966	11,4*/1,9	2,4/1,0	86,2/97,1
	Комсомольский	1972	8,5/0,7	11,4/10,8	80,1/85,5
Октябрьское	Комсомольский	1972	9,7/2,6	29,8/29,0	60,5/68,4
	Октябрьский	1974	33,0/17,7	20,0/24,6	47,0/57,7
	Таймырский	1982	22,8/21,4	0,3/0,3	76,9/78,3

*В числителе – содержание групп руд на начало отработки, в знаменателе – на 01.01.2000 г.

Пределы колебаний содержаний МПГ, Au и Ag в сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудах Норильского промышленного района

Группа руд	Минеральный тип руд	Содержание, г/т							
		Pt	Pd	Rh	Ir	Ru	Os	Au	Ag
Сплошные (богатые)	Халькопиритовый и талнахитовый	6,4-57,7	3,9-196,5 (до 200)	0,01-0,45	0,02-0,09	0,12-0,25	0,05-0,06	0,08-13,1	74,60-287,0
	Кубанитовый	0,2-6,5	0,4-99,2	0,01-1,90	0,03-0,08	0,11-0,14	0,03-0,08	< 0,01-3,88	2,43-20,50
	Пирротиновый	0,5-7,3	2,3-26,0	0,01-17,00	0,03-0,26	0,12-0,26	0,04-0,28	< 0,01-1,28	1,05-29,20
Вкрапленные	Пирротиновый, кубанитовый и халькопиритовый	0,1-13,4	0,2-13,4	0,01-1,10	0,02-0,04	0,12-0,25	0,02-0,04	< 0,01-1,05	1,09-11,12
Медистые	Пирротиновый, халькопиритовый и валлеритовый	0,4-7,3	1,2-34,6	0,01-0,21	0,02-0,04	0,11-0,30	0,02-0,08	< 0,01-9,95	0,77-17,61

вмещающих осадочных отложений погружаются до глубин 1500-2000 м и более, углы ее залегания 5-15°, в перегибах подошвы массива и ее бортах они повышаются до 30-40°.

Значительная часть (35%) запасов сплошных (богатых) руд, занимающих до самого последнего времени наибольшее значение в добыче МПГ, а также 7% вкрапленных и 8% медистых руд отработаны (табл. 2) [83]. При этом выработаны наиболее высокоплатиноносные моихукитовые, талнахитовые, халькопиритовые и кубанитовые (в значительной мере) руды, слагающие центральные части зональных залежей полей рудников "Маяк" и "Октябрьский" (табл. 3, рис. 2).

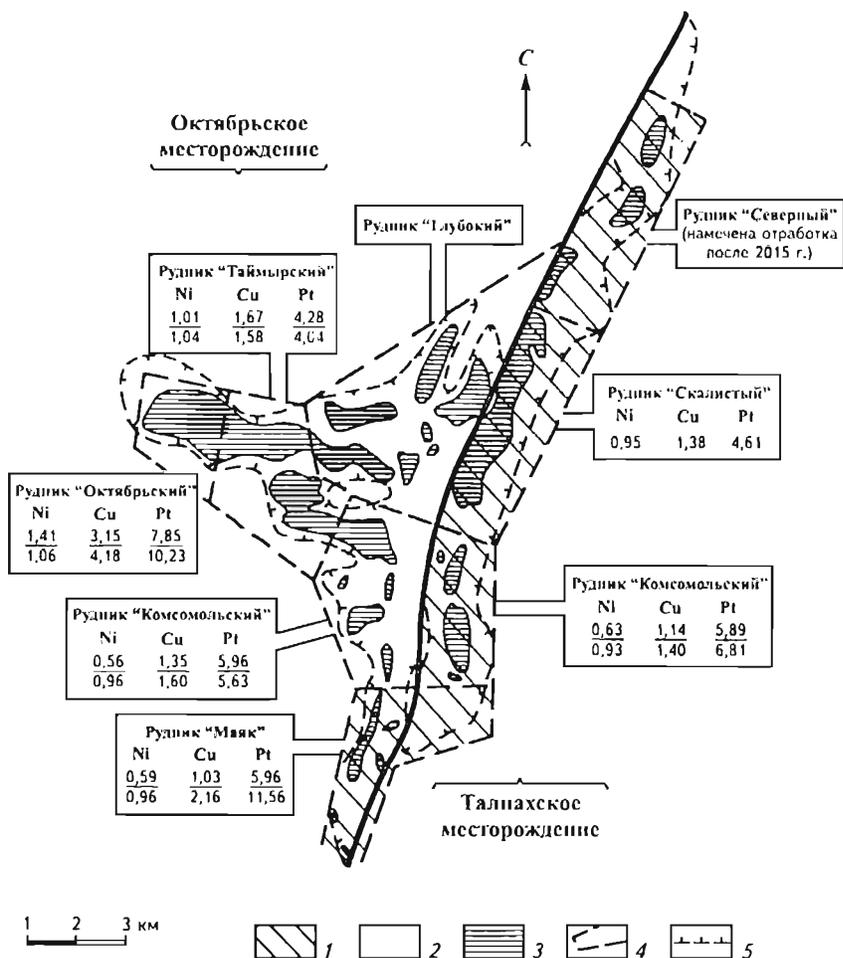


Рис. 2. Содержание основных металлов (Ni, Cu в %, Pt в г/т) по участкам Талнахского рудного узла [83]

В числителе – по состоянию на 01.01.2000 г., в знаменателе – на начало отработки
 1, 2 – месторождения: 1 – Талнахское, 2 – Октябрьское; 3 – залежи богатых (сплошных) сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд; 4 – границы Талнахского рудного поля; 5 – контур Талнахского интрузива

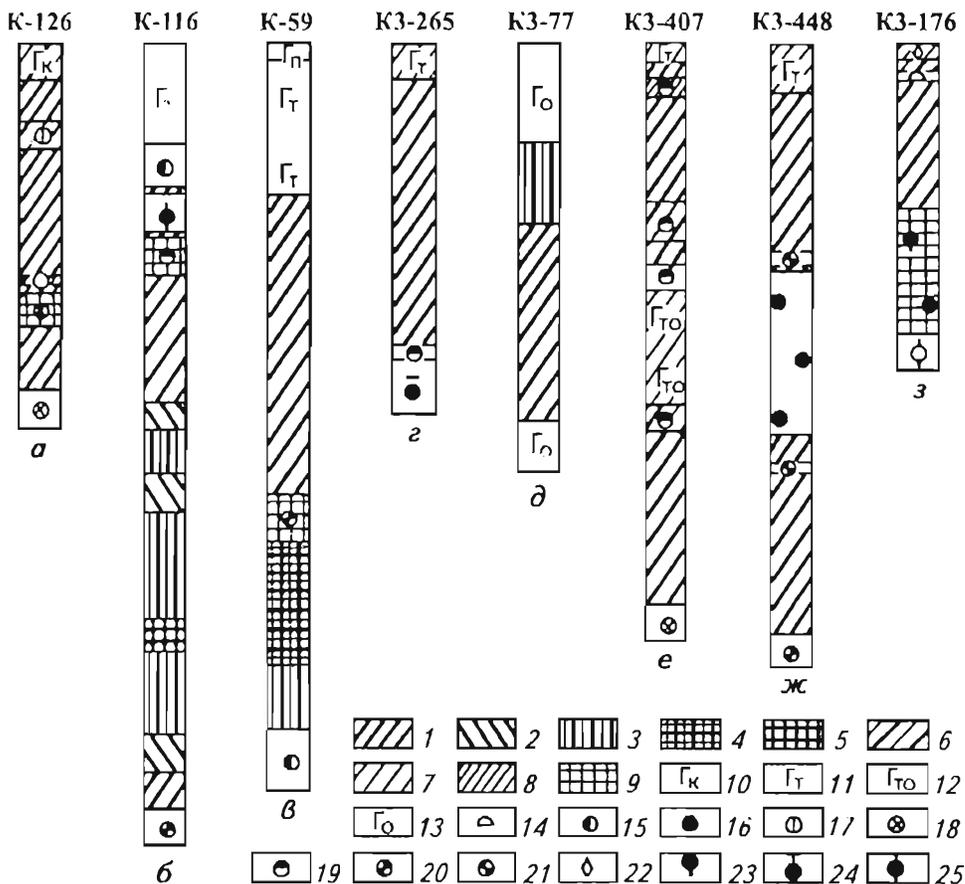


Рис. 3. Колонки рудной толщи Талнахского и Октябрьского месторождений

Талнахское месторождение: а, б, в – юго-западная, г, д – северо-восточная части; *Октябрьское месторождение:* е, ж – южная, з – центральная части. 1-5 – сплошные руды: 1 – пентландит-халькопирит-пирротиновые, 2 – пентландит-кубанит-пирротиновые, 3 – пирротин-кубанитовые, 4 – пентландит-халькопиритовые, 5 – пентландит-кубанит-халькопиритовые; 6-8 – вкрапленные руды пирротиновые: 6 – шлирово-петельчатые, 7 – неоднородно-вкрапленные, 8 – мелкокрапленные; 9 – мелкокрапленные халькопиритовые руды; 10-13 – интрузивные породы: 10 – контактовые долериты, 11 – такситовые долериты, 12 – долериты с таксито-офитовой текстурой, 13 – оливниновые долериты; 14 – осадочные породы – ангидриты; 15-16 – метаморфические породы: 15 – адиолы, 16 – спилозиты; 17 – кварц-альбитовые породы; 18 – кварц-микроклиновые породы; 19 – пироксен-альбитовые породы; 20 – кварц-биотит-микроклиновые породы; 21 – хлорит-микроклиновые породы; 22 – форстеритовые кальцифиры; 23 – серпентиниты; 24 – бруситовые мраморы; 25 – скарны

Основную часть оставшихся богатых руд представляют сплошные пирротиновые руды (рис. 3), образующие изолированные тела, а также входящие совместно с другими (преимущественно отработанными) типами руд в состав зональных залежей. Мощность тел и зон пирротиновых руд достигает нескольких десятков метров. В пределах отдельных месторождений и их частей сплошные пирротиновые руды занимают различное положение. Так, на месторождении Норильск-1 они

слагали (имеется в виду, что сплошные руды почти полностью отработаны) и самостоятельные тела, и красвые участки сложных тел. В юго-западной части Талнахского месторождения сплошные пирротиновые руды образуют красвые части зональных залежей сплошных сульфидных руд и располагаются вблизи нижнего контакта Верхней Талнахской интрузии (см. рис. 3а, б, в). Мощность тел до 25 м. В северо-восточной части Талнахского месторождения на ее южных флангах пирротиновые руды слагают крупное, вытянутое в субмеридиональном направлении тело с узким маломощным перешейком в центральной части. Иногда в красвых частях рудное тело расщепляется на несколько маломощных жил максимальной мощности до 30 м в южной его части и 9 м – в северной. На северных флангах северо-восточной ветви Талнахского месторождения в последние годы установлен ряд залежей мощностью 5-35 м существенно пирротиновых руд: Первая и Вторая залежи рудника “Скалистый”, Третья Северная и Первая Олорская залежи в поле рудника “Северный”. Третья Северная залежь прослеживается также в пределах Октябрьского месторождения, где образует одно тело и серию линз сплошных пирротиновых руд, залегающих на глубинах -1600 ... -1800 м. Пирротиновые руды северной части Талнахского месторождения в северо-восточном направлении обогащаются халькопиритом и пирротином. По данным Г.Ф.Пивня и др. (1996), запасы богатых руд северных залежей Талнахского и Октябрьского месторождений составляют около 70 млн т. Этими же авторами для глубоких северных флангов месторождений Талнахского рудного узла разработаны оригинальные системы вскрытия.

Средний минеральный состав сплошных пирротиновых руд характеризуется резким преобладанием пирротина, значительным количеством халькопирита и пентландита и подчиненным – всех остальных минералов (табл. 4). По сравнению с другими типами сплошных руд (табл. 5) пирротиновые руды отличаются, как правило, максимальным количеством железа, серы, титана, калия, кальция, минимальным – меди, никеля, свинца, цинка, мышьяка, сурьмы, теллура, селена и воды.

Вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды в интрузиях (максимально распространенные; табл. 6) фактически слагают нижний (обогащенные оливином породы, преимущественно троктолитовые и пикритовые долериты) и приподошвенный (такситовые и контактовые долериты) горизонты, образуя достаточно выдержанные, протягивающиеся пластообразные и линзообразные тела мощностью десятки (очень редко до сотни) метров, сопоставимой с таковой указанных горизонтов. Кровля тела промышленных вкрапленных руд – это обычно верхняя граница нижнего горизонта обогащенных оливином пород; в пределах северных флангов Талнахского рудного узла оно протягивается при мощности 15-30 м (до 75 м) почти на 10 км в соответствии с погружением Верхней Талнахской интрузии и простирается Главного шва Норильско-Хараслахского разлома. Вкрапленным рудам Октябрьского месторождения присуща большая изменчивость уровня мощностей и вещественного состава вкрапленных руд, чем для Талнахского (табл. 7). В целом, в пересчете на сульфидную массу, вкрапленные пирротиновые руды содержат 40-70% пирротина, 10-20% пентландита и 10-40% халькопирита.

Средний минеральный состав (в % мас.) сплошных пирротиновых руд некоторых участков Талнахского и Октябрьского месторождений

Минералы	Талнахское месторождение			Октябрьское месторождение		
	Руды юго-западной части (132)*			Руды северо-восточной части (48)	Южная залежь (73)	Центральная залежь (18)
	Пентландит-халькопирит-пирротиновые	Пентландит-кубанит-пирротиновые	Все пирротиновые			
Пирротин	63,2	51,4	61,5	64,8	67,2	72,3
Халькопирит	14,4	4,2	13,0	11,8	11,1	11,1
Пентландит-I	8,2	10,8	8,6	7,7	5,4	5,0
Пентландит-II	2,4	1,6	2,3	3,7	4,1	5,6
Валлерит	0,01	0,02	0,01	0,12	0,3	–
Макинавит	0,05	0,4	0,1	–	0,01	–
Кубанит	0,2	24,7	3,6	–	–	–
Сфалерит	0,05	0,1	0,06	0,01	0,01	–
Пирит	0,03	0,03	0,04	0,3	–	–
Магнетит	3,4	3,6	3,4	7,3	5,7	4,8
Титаномагнетит	–	–	–	–	0,2	0,05
Гематит	–	–	–	0,1	–	–
Нерудные	8,0	2,8	7,3	4,0	5,1	1,2

*В скобках – количество аншлифов.

Средневзвешенный химический состав сплошных руд, %

Компоненты	Тип руд							
	Пирротиновый				Кубанитсвый		Халькопиритовый	Талнахитовый
	Талнахское месторождение		Октябрьское месторождение		Талнахское месторождение			
	Участки							
	Ю-3 (21)*	С-В (9)	Ю-В (12)	С-3 (14)	Ю-3 (15)	С-В (1)	Ю-3 (19)	Ю-3 (13)
S	31,58	29,39	30,08	30,76	30,82	30,40	31,54	31,04
Fe	49,37	52,19	52,10	54,82	38,72	51,04	32,14	33,86
Ni	4,64	3,81	4,20	3,66	4,90	3,53	5,09	5,08
Cu	4,94	3,82	3,67	3,14	15,75	8,69	24,98	25,05
Co	0,14	0,12	0,15	0,16	0,11	0,09	0,08	0,09
Pb · 10 ⁻⁴	31	15	12	11	51	15	112	135
Zn · 10 ⁻³	14	9	7,1	7,3	15	25	17	5,6
As · 10 ⁻⁴	1	1	1	1	1	1	3	6
Sb · 10 ⁻⁴	1	1	Не опр.	Не опр.	Сл.	Не опр.	1	1
Se · 10 ⁻¹	56	53	40	36	95	64	110	160
Te · 10 ⁻¹	24	10	1	10	23	7	47	42
SiO ₂	2,68	2,59	1,60	0,24	3,05	0,52	1,73	0,68
TiO ₂	0,13	0,17	0,10	0,02	0,06	–	0,02	0,04
Al ₂ O ₃	3,30	1,56	1,85	2,19	4,85	2,41	1,90	2,48
MgO	0,23	0,33	0,33	0,22	0,31	0,14	0,19	0,11

CaO	0,21	0,88	1,03	0,36	0,42	0,10	0,16	0,05
MnO	0,09	0,11	0,04	0,05	0,06	0,03	0,06	0,004
Na ₂ O	0,19	0,18	0,17	0,10	0,31	0,12	0,11	0,09
K ₂ O	0,19	0,19	0,14	0,05	0,10	0,04	0,08	0,08
P ₂ O ₅	0,08	0,10	0,16	0,16	0,08	0,15	0,07	0,10
SO ₃	1,80	1,24	0,93	1,41	1,59	1,39	1,70	1,02
H ₂ O	0,76	Не опр.	0,84	Не опр.	0,95	Не опр.	1,00	0,57
Ni/Cu	0,9	1	1,14	1,2	0,31	0,46	0,2	0,2

*В скобках – количество анализов.

Таблица 6

Качество и структура запасов Норильских сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений [83]

Тип руд	Содержание			Запасы, %			
	Ni, %	Cu, %	МПГ, г/т	руды	Ni	Cu	МПГ
Богатые	3,20	4,60	10,80	10,5	42,0	32,3	20,8
Медистые	0,88	3,32	9,82	7,3	8,0	16,3	13,3
Вкрапленные	0,48	0,93	4,34	82,2	50,0	51,4	65,9
Всего	0,80	1,49	5,42	100	100	100	100

Минеральный состав вкрапленных руд в интрузивах месторождений порильско-талнахского типа
(составлена с использованием материалов В.М.Изоитко и Г.А.Митенкова (1971) и В.М.Изоитко (1978))

Минералы	Тип руд												
	Пирротиновый						Кубанитовый	Халькопиритовый				Борнит-халькозиновый	
	1			2				2		3			2
	Т(39/21)	Н(53/7)	С(70/10)	Т(23)	Н(61/29)	С(48/14)	Н(39/15)	Т(5/4)	Т(7/6)	Н(18)	Н(19)	С(-)	Т(2)
Пирротин	5,5	4,1	2,6	6,3	4,6	2,3	3,3	3,5	2,1	4,4	3,5	0,6	-
Пентландит	1,9	1,3	0,5	1,8	1,4	0,5	0,8	2,9	1,3	1,6	0,5	0,1	-
Халькопирит	4,2	2,8	1,1	4,6	5,0	1,6	3,5	3,5	4,7	6,1	4,4	1,0	0,1
Кубанит	0,3	0,4	0,1	Сл.	Сл.	Сл.	0,1	10,6	0,2	0,1	0,1	-	-
Пирит	0,2	0,2	Сл.	"-	0,7	0,8	1,4	Сл.	-	0,4	1,3	0,1	-
Марказит	-	Сл.	"-	-	0,1	0,8	0,7	-	-	-	1,4	-	-
Макинавит	Сл.	"-	"-	Сл.	Сл.	Сл.	-	Сл.	Сл.	-	-	-	-
Валлерит	"-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	Сл.	-	-	-
Виоларит	-	-	-	-	0,1	Сл.	0,6	-	-	-	1,1	Сл.	-
Сфалерит	Сл.	Сл.	-	-	Сл.	"-	Сл.	-	-	Сл.	0,1	"-	-
Миллерит	-	-	-	-	"-	"-	"-	-	-	0,1	Сл.	-	-
Хизлевудит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
Борнит	-	-	-	-	-	-	-	Сл.	0,1	-	-	-	0,8
Халькозин	-	-	-	-	-	-	-	-	Сл.	-	-	-	1,2
Хромит	Сл.	4,2	3,4	Сл.	1,1	0,8	-	Сл.	-	2,3	-	-	-
Магнетит, титаномагнетит, ильменит, гематит	3,3	2,6	0,3	1,6	2,1	1,4	2,3	1,6	1,9	2,0	2,0	1,6	1,9

Ильваит	0,1	Сл.	0,2	Сл.	0,2	Сл.	0,2	Сл.	0,1	0,1	0,1	Сл.
Плагиоклаз	28,6	92,0	47,8	92,6	49,2	92,6	—	—	—	—	—	—
Пироксены	17,0	92,0	20,8	92,6	25,2	92,6	77,8	89,7	—	—	—	—
Оливин	34,4	92,0	10,9	92,6	6,2	92,6	—	—	—	—	—	95,8
Биотит, хлорит, иддингсит, серпентин	4,6	92,0	5,2	92,6	6,5	92,6	—	—	—	—	—	—

Примечание. Горизонты: 1 – нижний; 2, 3 – приподошвенный (2 – такситовые, 3 – контактовые долериты); Месторождения: Н – Норильск-1; Т – Талнахское и Октябрьское; Ч – Черногорское.

*В скобках – количество аншлифов/шлифов.

Вкрапленные, прожилково-вкрапленные и брекчиевидные руды (в экзоконтактах рудоносных интрузивов – медистые) развиты на Талнахском, Октябрьском и Норильском месторождениях: на первом – только в подошве, а в пределах остальных месторождений – также и в кровле массивов норильско-талнахского типа. Экзоконтактовые (“медистые”) руды приурочены к метаморфическим (роговикам, бруситовым мраморам) и метасоматическим (офикальцитам, кальцифирам, щелочно-полевошпатовым) породам [64], а также, в меньшей мере, измененным долеритам, туфам, базальтам, осадочным породам. Залежи образуют пластобразные или линзообразные тела мощностью до первых десятков метров с многочисленными прослоями несоруденелых или слабооруденелых пород. Среди рассматриваемой группы устанавливаются пирротиновый, халькопиритовый, халькозин-борнитовый, пиритовый и валлеринитовый типы руд. В них преобладают или пирротин, или халькопирит, или борнит, или пирит (в зависимости от типа руд), подчиненное значение имеют пентландит, кубанит, миллерит и др. [64]. Текстуры руд – вкрапленная, прожилково-вкрапленная, густовкрапленная, полосчатая, брекчиевидная, петельчатая и шлирово-петельчатая, очень редко массивная. Как отмечали А.А.Филимонова, А.В.Смирнов и В.А.Коваленкер (1981), брекчиевидные руды характеризуются более высокой (до 80%, в среднем 25-30%) сульфидонасыщенностью, специфической морфологией минеральных агрегатов и сравнительно простым (по сравнению с вкрапленными и экзоконтактовыми рудами) минеральным составом. Химический состав экзоконтактовых руд в определенной мере обусловлен типом вмещающих пород, нередко значительно измененных рудообразующими процессами.

По содержаниям МПГ руды рассматриваемых месторождений являются уникальными (см. табл. 3): содержание палладия достигает 200 г/т (ранее до 2 кг/т), платины – до 60 г/т, родия – до 17 г/т.

Рассмотрение закономерностей распределения МПГ в различных группах руд позволяет отметить следующее:

1. По содержаниям МПГ, отнесенным к сульфидной массе, наиболее обогащенными платиновыми металлами являются вкрапленные и прожилковые руды в интрузиве, промежуточное положение они занимают во вмещающих породах, наиболее бедными оказываются сплошные руды.

2. В этом же направлении увеличивается доля МПГ, приходящаяся на собственные минералы: от 10 до 98%.

3. Среди пирротиновых руд максимально обогащенными палладием относительно платины являются руды Октябрьского, а иридием и рутением относительно родия – Талнахского месторождения, его северо-восточной ветви.

4. Среднее содержание МПГ в сплошных рудах северных залежей Октябрьского месторождения в 1,7 раза выше, чем в рудах всех отработываемых в настоящее время залежей, а по избирательным залежам даже в 2,5-3 раза (Пивень и др., 1996).

5. Высокие и очень высокие содержания МПГ в сплошных рудах при их постоянно преобладающей отработке приводят к тому, что из них добывается около 70% всех платиновых металлов Российской Федерации.

6. При обогащении руд различных групп происходят некоторые изменения в составе МПГ, переходящих в различные концентраты. Для вкрапленных руд характерен уход платины в медный концентрат. При обогащении сплошных руд платина, преимущественно в минеральных формах, переходит в этот же концентрат, остальная часть распределяется между никелевым (около 15%) и пирротиновым (около 20%) концентратами. Палладий в разных для различных групп соотношениях распределяется между всеми концентратами. В пирротиновый попадает большее из всех групп руд количество родия, иридия, рутения и осмия (Говорова, Тарасова, Storozhenko, 1986).

В Печенгском районе запасы МПГ более чем в 100 раз уступают таковым норильских месторождений. Тем не менее, они также должны быть кратко рассмотрены: из них добывается около 1 т платиновых металлов в год.

В пределах дугообразного Печенгского рудного поля площадью около 75 км² сульфидоносные габбро-верлитовые интрузии залегают в туфогенно-осадочной толще, слагая около 170 пластовых тел мощностью от первых метров до первых сотен метров. Исходной сырьевой базой для строительства комбината “Печенганикель” (Горбунов и др., 1985) явилось месторождение Каула. Сейчас добыча металлов производится из руд месторождений “Котсельваара”, “Семилетка”, “Ждановское” и “Заполярное”, остальные объекты являются резервными. Последние два месторождения уступают по запасам только Талнахскому и Октябрьскому.

Рассматриваемые месторождения в значительной мере (~85%) разведаны и активно осваиваются. Протяженность пластообразных, плито- и линзообразных рудных тел от десятков до 1300 м, по падению – до 2500 м; мощность их достигает

100 м и более. Устанавливаются вкрапленные, прожилково-вкрапленные, брекчиевидные и массивные руды (Горбунов и др., 1981, 1985).

Главными рудными минералами вкрапленных руд являются пирротин, пентландит, халькопирит, второстепенными и аксессуарными – троилит, магнетит I и 2, пльменит, хромит, бравоит, виоларит, макинавит, борнит, кубанит; из платиновых минералов установлены сперрилит, атокит, меренскит и майченерит. По данным В.В. Дистлера и др. (1989), основная часть платиновых металлов в рудах Печенги содержится в минералах ряда кобальтин-герсдорфит. Руды содержат в среднем: 0,55-0,60% никеля, 0,22-0,25% (редко до 1,9%) меди, 0,015-0,035% кобальта, 0,02-0,23 г/т платины и 0,04-0,39 г/т палладия.

Брекчиевидные и массивные руды обычно контролируются зонами тектонических нарушений, реже отмечаются “отщепленные залежи”, отходящие от подошвы рудоносных массивов во вмещающие породы на 100-150 м (месторождения “Ждановское”, “Котельваара”). Главные рудные минералы – пирротин, пентландит, халькопирит, из второстепенных и аксессуарных минералов устанавливаются также галенит, сфалерит, арсенопирит, герсдорфит, кобальтин, раммельсбергерит, молибденит; платиновые минералы представлены атокитом, сперрилитом, палладистым мелонитом, маякитом, майченеритом (в том числе сурьмянистым) и меренскитом (в том числе никелистым). Количество никеля в богатых рудах достигает 12% (в среднем 2,20-2,56%), меди – 12-13% (в среднем 1,01-1,12%), кобальта – 0,25% (0,031-0,036%), платины – 0,6 г/т, палладия – 0,5 г/т, золота – 0,7 г/т, серебра – 10 г/т. Количество МПГ в сульфидной фазе достигает 2,76 г/т при отношении Pt/Pd, равном 0,45-0,91 [107].

Промышленные россыпи приурочены к щелочно-ультрамафитовым и мафит-ультрамафитовым массивам [19, 35, 44, 60, 64, 77]. Россыпи – многоструйчатые, содержание платины (в алданских россыпях также иридия, в гулинских – преобладает осмий) в них колеблется от сотых долей до 250 г/м³. Запасы и прогнозные ресурсы составляют ~200-500 т, т.е. близки к таковым бывших богатых уральских россыпей.

В настоящее время наибольшее значение имеют россыпи Корякин, расположенные на севере Корякско-Камчатской провинции и входящие в Сейнав-Гальмознанский россыпной узел площадью около 600 км² [19, 35, 64]. Он объединяет перспективные платиноносные водотоки в окрестностях Сейнавского и Гальмознанского массивов. Продуктивность водотоков зависит от порядка речной долины, положения относительно коренного источника платины, количества дунитов в массиве и колеблется от 70 до 1500 кг/км. Суммарные прогнозные ресурсы россыпной платины превышают первые десятки тонн. Открыто четыре россыпи, три из них обрабатываются, две из которых – р. Левтыриниваям (водоток четвертого порядка) и руч. Ледяного (третьего порядка) изучены наиболее детально (рис. 4). Длина их соответственно 35 и 8 км, ширина долин – 200-2000 м, уклон – 0,007-0,013. На всем протяжении долины отмечаются аккумулятивные и смешанные террасы высотой до 15 м. Они сложены четвертичными галечниками с глыбами и валунами с песчано-гравийным и песчано-глинистым заполнителем аллювиального, водно-

ледникового и ледникового генезиса. Валунистость рыхлых отложений 5-30%. Окатанность обломочного материала средняя, в обломках преобладают дуниты, песчаники, алевролиты, отмечаются также кремни, яшмы, габбро, пироксениты, серпентиниты, базальты и диориты. В россыпях устанавливаются 2-3 платиноносных горизонта, залегающих на коренных породах или ложном плотике. Последний сложен песчаниками, алевролитами, серпентинитами, дунитами, изредка кремнями. Платиноносные пески представляют собой галечно-гравийные отложения, сцементированные песчанистой глиной и суглинком.

Мощность песков в первой россыпи 0,4-11,0 м, во второй – 0,4-8,4 м, торфов – 0,4-18,8 и 0,4-20,8 м. Ширина промышленного контура россыпей 20-380 м (руч. Ледяного) и 20-450 м (р. Левтыринываям). Металл россыпей относится к тонкому, мелкому и среднему классам. При обработке последнего получены самородки платины массой до 100-134 г. Окатанность зерен платины плохая. Среднее содержание платины на пласт колеблется от 0,05 до 23,8 г/м³, достигая в среднем 2,88 г/м³ (средний основной горизонт россыпи руч. Ледяного). Пробность шиховой платины 829-835. В россыпях установлены также золото, киповарь (до сотен граммов на кубический метр), самородные медь и цинк (табл. 8), отмечаются сростки платины с хромитом и пироксеном.

Рассматриваемые россыпные месторождения относятся к иридиисто-платиновому типу. Главный ми-

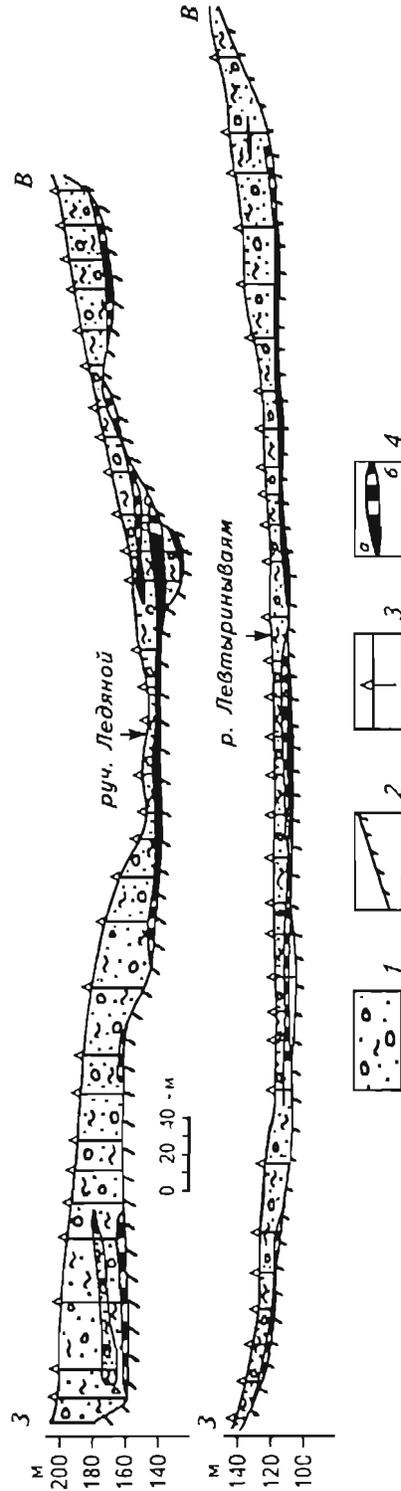


Рис. 4. Положение платиноносных россыпей узла в разрезе речных долин [64]

1 — галечно-гравийные и валунно-галечные отложения; 2 — коренные породы; 3 — буровые скважины; 4 — контуры россыпей; а — промышленные, б — забалансовые

Химический состав шлиховой платины, % [64]

Россыпь	Pt	Pd	Rh	Ir	Ru	Os	Au	Fe	Cu
руч.Ледяного (5 проб)	82,86	0,28	0,60	2,74	0,08	0,30	0,07	Не опр.	Не опр.
р.Левтыринываям	83,52	0,47	0,47	–	–	–	–	14,30	1,07

Таблица 9

Средний химический состав изоферроплатины россыпей
р.Левтыринываям и руч.Ледяного, % [64]

Россыпь	Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	Cu	Ni	Fe
руч.Ледяного (22 анализа)	84,2	2,6	0,29	0,03	0,65	0,32	0,76	0,16	10,8
р.Левтыринываям (48 анализов)	85,6	1,1	0,37	0,06	0,74	0,37	0,70	0,15	10,5

пирал россыпей – изоферроплатина (табл. 9), подчиненное значение имеют тетраферроплатина и железистая платина, количество остальных минералов, включенных в матрицу изоферроплатины, не превышает 1-2% от объема зерна.

Реакционные периферические каймы представляют собой поз.цветатые рыхлые оторочки, состоят из тетраферроплатины, железистой платины и туламинита, занимают около 12-15% объема зерен изоферроплатины.

Наряду с МПГ в матрице изоферроплатины встречены включения нерудных минералов, среди которых преобладают оливин (форстерит), хромшпинелиды (магнетит, феррихромпикотит), клинопироксен (диопсид). Отмечены амфиболы и слюды. Количество нерудных включений сильно варьирует от их полного отсутствия до 30% объема зерен.

По характеру нерудных включений платина близка платине Уральских россыпей, являющихся эталонными для данной формации. Особенности геологического строения территории и минералого-геохимические характеристики платины позволяют сопоставить описанные объекты с россыпями Гуд-Ньюс-Бей западной Аляски и Туламин Британской Колумбии Канады, где россыпная платина добывалась более 50 лет [19, 31].

Таким образом, в настоящее время в России МПГ добываются главным образом из сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд на Норильском комбинате. Извлечение платины и палладия составляло в разные периоды 60-90%, родия – 35-60, иридия – 25-40, рутения – 12-55, осмия – 1-25% [62], т.е. для основной минерально-сырьевой базы МПГ Российской Федерации при высокой комплексности (извлекаются Ni, Cu, Co, Pt, Pd, Rh, Ir, Ru, Os, Au, Ag, Se, Te, S) платиносодержащих руд характерно недостаточно рациональное их использование. На добычном

этапе это выражается в преимущественной отработке богатых руд, несовершенная технология обуславливает переход значительного количества МПГ в хвосты и другие промпродукты. В то же время находящиеся на балансе богатые руды при обычном соотношении добычи руд различных групп (богатые ~60%, вкрапленные ~30% и медистые ~10%) обеспечат стабильную работу Норильского комбината только в течении 25-28 лет при существенном снижении уровня рентабельности.

Горный передел комбината "Печенганикель" представлен двумя открытыми рудниками – "Центральным" и "Западным", разрабатывающими верхнюю часть Ждановского месторождения и двумя подземными – "Северным" (месторождение "Заполярное") и "Каула-Котсельваара" (месторождения "Котсельваара-Камикиви" и "Семилетка").

Высокая надежность разведанных запасов, их количественно-качественная оценка, по мнению И.А.Блатова, С.В.Соколова (1996), даст основание сделать вывод о стабильном производстве товарного никеля (и платиноидов – *прим. авторов*) не менее, чем в течение 50 лет. Однако авторам представляется, что без новых открытий богатых руд [52], эти сроки могут сильно измениться в сторону уменьшения.

На территории всемирно известного Исковского прииска старателями ведется разработка техногенных россыпей гидравлическим способом [50].

В ближайшие годы в Норильском промрайоне ожидается прирост запасов МПГ за счет детальной разведки Норильских малосульфидного и техногенного платинометалльных месторождений [83].

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ РОССИИ И ИХ ПРОИЗВОДСТВА В ОБЩЕМИРОВОМ МАСШТАБЕ

Роль минерально-сырьевой базы МПГ России и их производства в общемировом масштабе чрезвычайно велика. По оценкам S.Bernhard (1996), запасы и прогнозные ресурсы МПГ России составляют десятки процентов от мировых. По данным Г.Ф.Пивня, А.В.Валетова и В.А.Рябикина (1999), обрабатываемые месторождения Норильского промрайона включают в себе значительную (десятки процентов) часть мировых запасов платиновых металлов, а также никеля и кобальта, исходя из чего, а также данных [62], можно сделать вывод, что эти месторождения являются крупнейшими комплексными платиносодержащими объектами мира.

Совершенно очевидно, что в настоящее время в мировой платинодобывающей промышленности норильские и бушвельдские месторождения играют определяющую роль. Однако в последние два года в связи с резким возрастанием роли палладия, заменившего платину в электронной и автомобильной отраслях промышленности, Россия заняла лидирующее место в мире, поставляя на рынок более 60% палладия. Не будет преувеличением сказать, что сейчас развитие мировой

промышленности, имеющей дело с палладием, во многом зависит от России. Как это произошло?

Впервые палладий стал стоить дороже платины 19.05.1998 г. (соответственно 13,41 и 13,02 дол/г; рис. 5). В том же году Mining Journal (Vol. 33. – № 4) опубликовал чрезвычайно важную для дальнейшего развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов статью “Палладий переходит в центр внимания”, содержащую следующие основные тезисы:

1. В 1997 г. спрос на палладий вырос более чем в два раза – до 266,38 т (по другим данным, до 232,03 т) против 105,5 т в 1990 г. с увеличением среднегодовой цены до 5,72 дол/г*. Только с 1996 по 1997 г. спрос на палладий вырос на 21%, а на платину – только на 5% при цене 1 г – 11,00-15,98 дол., (средняя – 12,7 дол.). При этом больший объем поставок (149,29 т) приходился на Россию; ЮАР в 1997 г. поставила на рынок 56,3 т, а США – 16,95 т палладия.

2. В связи с тем, что палладий – наиболее эффективный платиноид-катализатор для контроля за выделением углеводородных газов, платина стала сдавать свои позиции в автомобилестроении (60-65% общего потребления МПГ, около 139,3 т против 9,8 т в 1990 г.).

3. Россия останется важнейшим поставщиком палладия еще достаточно длительное время, стремясь к цене 8,00-9,64 дол/г; в 2001 г. предполагается увеличить рост производства палладия в связи с переработкой отвалов и совершенствованием схем обогащения. Из других стран поставки палладия могут вырасти на 20-25 т, в том числе из ЮАР и США – по 10 т (к 2002 г.).

4. Более 90% поставок палладия приходится на нестабильные в политическом и экономическом отношении страны – ЮАР и Россию, что убеждает *в неизбежности постоянной лихорадки на рынке палладия.*

Последний тезис обуславливает неизбежность постоянного роста цен на этот металл, а соответственно и на другие металлы платиновой группы (рис. 6). Так, поступление МПГ из России в 1999 г. и первом квартале 2000 г. привело к резкому подъему цен, дол/г: палладия – до 26,52, платины – 18,10 и родия – 86,05. После подписания в марте 2000 г. Президентом Российской Федерации В.В.Путинным постановления о начале поставок МПГ цены упали и 18.04.2000 г. составили, дол/г: для палладия – 18,97, платины – 15,82 и родия – 61,09 (“Коммерсант”, № 68 от 19.04.2000 г.).

Однако в 2000–начале 2001 гг. отмечался постоянный рост цен на платиновые металлы, особенно на палладий (рис. 7) – почти до 35 дол/г 10.01 и 26.01.2001 г. с некоторым падением примерно до 30 дол/г в середине февраля 2001 г. Как правило, это объясняют нерегулярностью поставок палладия из России. Так, 28.12.2000 г. газета “Коммерсант” писала: “По мнению трейдеров причиной роста цен по-прежнему остается то, что Россия до сих пор задерживает поставки металла на мировой рынок В такой ситуации цены на палладий могут достичь 1 тыс.\$

* Mining J., 1998. – Vol. 330. – № 8481. – P. 402.

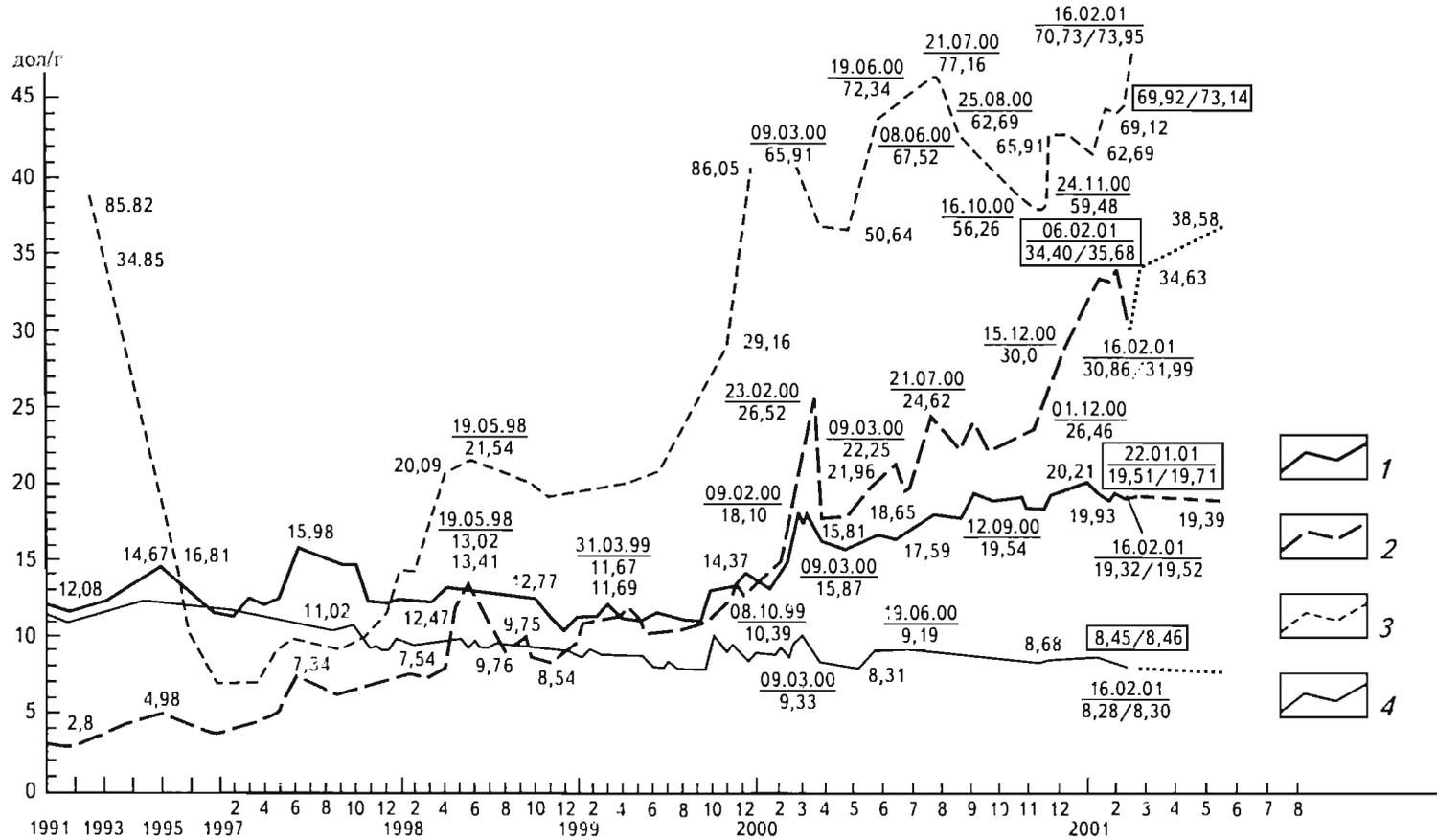


Рис. 5. Динамика цен на платину, палладий, родий и золото на мировом рынке

1 – платина; 2 – палладий; 3 – родий; 4 – золото

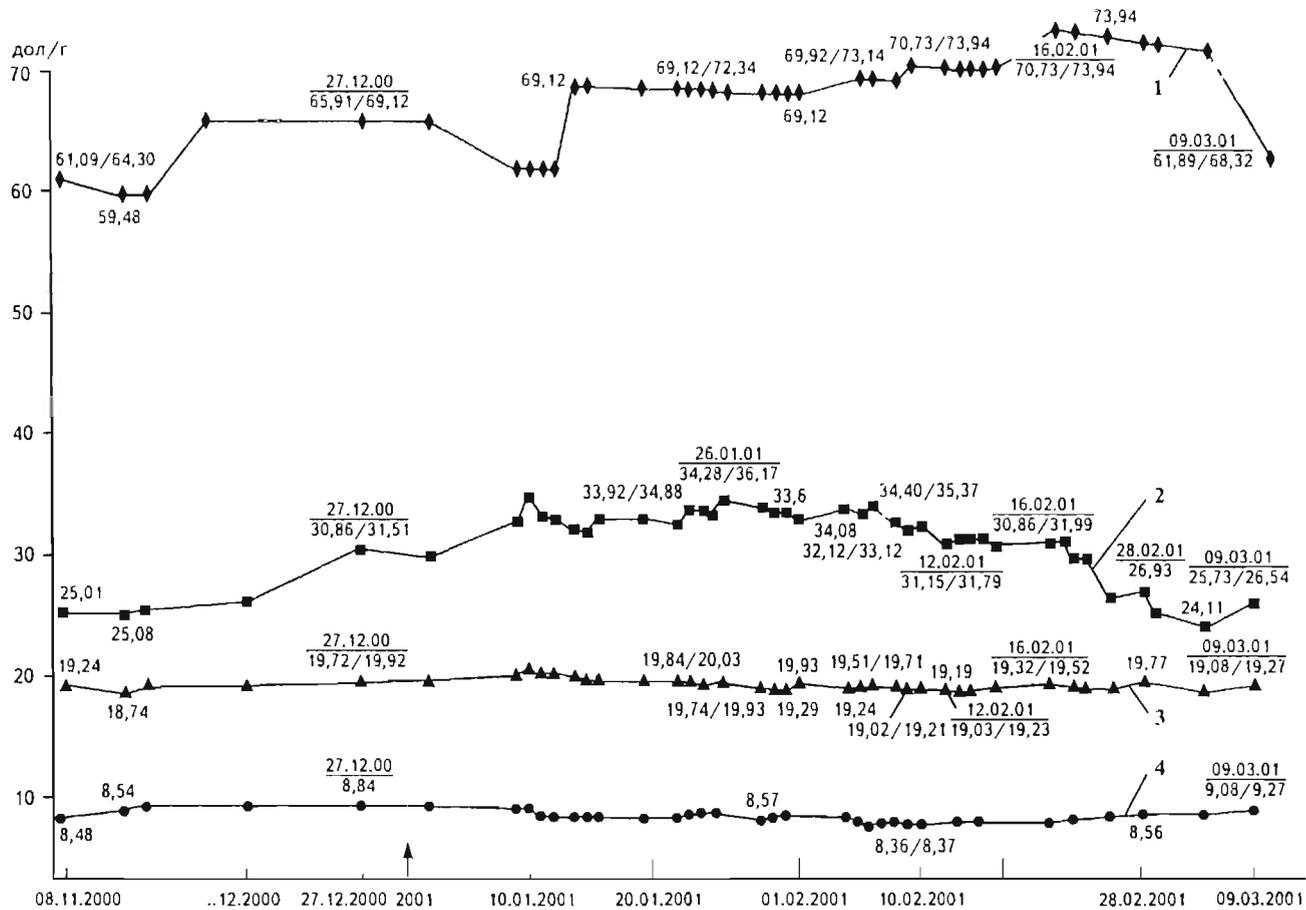


Рис. 6. Динамика цен на платиновые металлы и золото в период 08.11.2000-09.03.2001 гг.

1 – родий; 2 – палладий; 3 – платина; 4 – золото

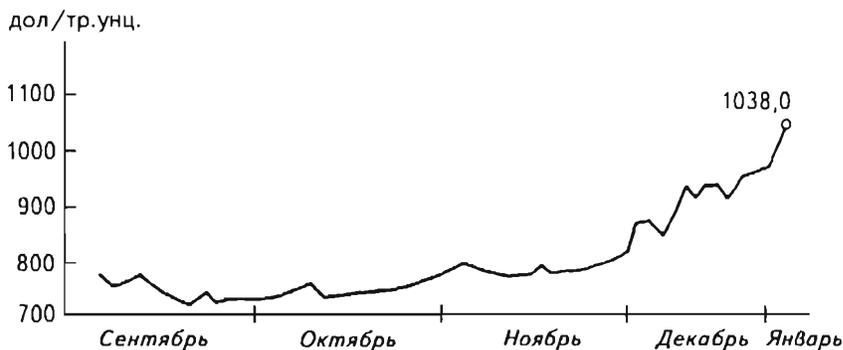


Рис. 7. Динамика цен на палладий (дневной фиксинг) в сентябре 2000 г.—начале 2001 г. (“Коммерсантъ” от 10.01.2001 г.)

за унцию еще до конца этого года”. И 09.01.2001 г. дневной фиксинг на палладий составил 1038 дол. за унцию (см. рис. 7). В то же время по оценкам экспертов (“Коммерсантъ”, № 1 от 10.01.2000 г.) “мировое потребление палладия в 2000 г. составило 261 т, из них около 180 т (68,9% всего объема потребления) поставила на рынок Россия. Однако в этом (2001 г.) году РАО “Норильский никель”, монополичный производитель российского палладия, собирается поставить 90-100 т. И если Россия не решится продать часть своих запасов, *на рынке будет сильнейший дефицит палладия* Однако автомобилестроители неизбежно найдут замену дорогостоящему металлу, и тогда Москва останется с дорогим и никому не нужным товаром” (с. 4). И уже через два дня “автогиганты во главе с General Motors объявили о разработке нового катализатора на основе более дешевой (на 10-12 дол. — прим. авторов) платины. Несмотря на длительные сроки внедрения новых технологий, дилеры уже сейчас подняли цену на платину до максимального за последние 13 лет уровня — 645 \$ за унцию” (“Коммерсантъ”, № 3 от 12.02.2001 г.). Вслед за General Motors об уменьшении использования палладия заявил и японский концерн Nissan. Последний собирается перейти на новую технологию, разработка которой займет меньше года.

Тем не менее, Россия в 2000 г. получила от экспорта палладия около 3 млрд дол., что впервые превысило объем продаж алмазов в денежном выражении (около 1,6 млрд дол.).

Вполне возможно, что палладий из России поступает нерегулярно, но ~69% поставок говорят сами за себя. Однако в то же время дорожает и платина (см. рис. 6) до 20,21 дол/г в январе 2001 г. Значит платину ЮАР тоже нерегулярно поставляет? Или действительно пришло время, когда платину заменяют паллади-ем? Или наоборот?

Мы думаем, что дело все-таки не только, а может быть даже и не столько в нерегулярности поставок. По мнению авторов, главная причина заключается в острой нехватке обоих металлов, а соответственно — и платиносодержащего сырья. Мы утверждаем, что в настоящее время главные поставщики палладия и

платины – Россия и ЮАР – уже в значительной мере исчерпали уникальные возможности месторождений Норильского промрайона и Бушвельдского комплекса и нуждаются в новых сырьевых объектах. Мы также утверждаем, что другие страны-производители платиновых металлов должны так же, как и Россия, и ЮАР, расширить свои минерально-сырьевые базы МПГ и поставлять платину и палладий на мировой рынок.

СЫРЬЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО РЫНКА ПЛАТИНОИДОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Основным объемом (96,3%) зарубежных мировых запасов МПГ обладает ЮАР, где они сосредоточены в пределах Бушвельдского комплекса. В этих запасах более 50% приходится на платину. Добыча платиновых металлов здесь в основном нивелируется их запасами, что требует ежегодных значительных финансовых затрат. Добыча производится из трех рифов: Меренского, UG-2 и Плэтриф. Незначительное количество (~100 кг) МПГ получают из медьсодержащих карбонатитов Палаборского массива, а осмистый иридий – из золотоносных конгломератов Витватерсранда. Прирост запасов требует постоянного расширения рудников, что и происходит. Так, в 1996 г. компания Rustenburg Platinum Holdings (группа Amplats) начала строительство предприятия по добыче платиноидов Боскоппи на западном крыле Бушвельдского комплекса. Проектная мощность – 7775 кг с ее достижением в 2002 г. Стоимость предприятия – 1,2 млрд рандов. Количество металла оценивается в 37 т при среднем содержании 6,1 г/т. Эта же компания предполагает реконструкцию своей обогащательной фабрики с увеличением (на 50%) до 375 тыс. т руды в месяц для переработки складированных медных руд с ростом добычи МПГ на 1,24 т/год с конца 1999 г. (Int. Gold Mining Newslett, 1997. – Vol. 24. – № 5). Компания Kroondal в 2000 г. ввела в эксплуатацию предприятие мощностью 3,11 т/год. В пределах Бушвельда работают также компании Platexco (Канада) и Aquarius Platinum (Австралия). В 1997 г. на Бушвельде добыча платины составила, т: на предприятиях компании Impala – 31,1, Lonrho – 18,7 (до 21,77 в 2002 г.), Northam – 5,6, Amplats – 58,19 (до 65,33 в 2002 г.), всего 114,59*.

Авторы монографии предполагают, что некоторый дополнительный объем платиноидов может быть получен при освоении сульфидного платиноидно-медно-никелевого месторождения Эйткомс (J.Woolfe, 1996) – первого в ЮАР собственно никелевого объекта. Он приурочен к массиву площадью около 15 км². Устанавливается четыре горизонта сульфидной минерализации: верхний – с рассеянно-вкрапленным оруденением с платиноидами, главный – пироксенитовый, базальный – габброидный, колчеданный в контакте с подстилающими гранитами.

* Mining J., 1998. – Vol. 330. – № 8481. – P. 11-13, 402.

Разведанные запасы месторождения составляют 3 млн т руды, содержащей в среднем 2,04% никеля, 1,13% меди, 0,008% кобальта, 1,65 г/т платины, 4,18 г/т палладия, 0,16 г/т родия, 0,18 г/т золота. Таким образом, *объект содержит около 18 т платиновых металлов, которые могут быть получены попутно при добыче никеля (~65000 т) и меди (~35000 т)*. В этом случае может быть использован российский и канадский опыт.

В США главным источником МПГ^{*} является малосульфидное платинометалльное месторождение Стиллоутер. В 1998 г. добыча МПГ на нем составляла 14,0-15,55 т. К 2001 г. компания Stillwater Mining планирует проведение реконструкции предприятия с извлечением 23,33 т МПГ в год. А в 2003 г., при дальнейшем увеличении мощности предприятия на базе вовлечения в разработку месторождения Ист-Боулдер, производство МПГ предполагается увеличить до 40,4 т, в том числе 31,1 т палладия и 9,3 т платины^{**}. С учетом получения платиноидов из россыпей Аляски, при рафинировании меди и из вторичного сырья (с использованием наукоемких технологий) эта цифра может вырасти до 45-48 т. Не вызывает сомнений, что проводимые в США геолого-поисковые работы на МПГ приведут к выделению промышленно значимых объектов. Уже сейчас (Peterson, 1994) в США выделены 53 перспективно платиноносные области, из них: на россыпи – 4, платиносодержащие меднорудные месторождения – 10, платиноносные черные сланцы – 21, платино-уран-золоторудные объекты – 7, платиноносные кварцевые конгломераты – 81, кобальтово-медное месторождение Блэкборд – 1, полиметаллическое месторождение – 1, платиноносные брекчиевые трубки урановых месторождений – 1. Хотя бы частичная реализация существующих перспектив может к 2005-2010 гг. привести к увеличению производства платиновых металлов в США до 60-70 т.

Продолжится строительство новых рудников – Виктор и Мак-Риди-Ист на месторождении Садбери в Канаде, что может увеличить запасы благородных металлов в последнем на 73 т [19].

В Зимбабве компания Delta Gold планирует вложить часть своих активов в компанию Limpits. Последняя намечает строительство предприятия по добыче МПГ Нгези в южной части комплекса Хартли с проектной мощностью 3 млн т руды, 6,22 т платины и 4,35 т палладия^{**}. По экспертным оценкам авторов при соответствующем увеличении капиталовложений (более предполагаемых 250 млн дол.) названные цифры могут возрасти в 1,2-1,3 раза.

В Индии открыто крупное платиносодержащее (до 20 г/т) месторождение в латеритных кобальтово-никельсвых корках выветривания (Беневольский, Зубатарева, 1993). Предварительно оцененные ресурсы платины на площади 450 км² (шестая часть общей площади коры выветривания) превышают 30 тыс. т. Этот объект нуждается в постановке крупных финансово-экономических геологоразведочных ра-

* Mining J., 1998. – Vol. 330. – № 8481. – P. 393-394.

** Mining J., 1998. – Vol. 330. – № 8482. – P. 423-424

бот; в первую очередь необходимо проверить правильность самих содержаний МПГ и их выдержанность по площади.

Весьма значительными разведанными и оцененными запасами и ресурсами МПГ (в том числе 54,8% запасов платины и 39,5% палладия) обладает Китай (Mineral Resources, Beijing, 1993). В настоящее время платиноиды получают на платиноидно-медно-никелевом месторождении Цзиньчуань (93% всего производства МПГ) и из шлаков фосфоритовых заводов. МПГ накапливаются также в хвостах при добыче молибдена из Au-МПГ-Ni-Mo руд месторождения Цзунь [109]. Дальнейшие резервы наращивания добычи платиновых металлов в Китае связаны с сульфидными платиноидно-медно-никелевыми и гидротермально-регенерированными месторождениями, платиносодержащими черными сланцами и россыпями. Первые считаются ликвационно-магматическими и являются основным типом платиноидных месторождений страны. Они приурочены, как правило, к окраинным частям платформ (месторождения Байцзяцзуйцзы, Цзиньбаошань и Янлюпин). Первое из них расположено в Луишоушаньской зоне на юго-западном фланге Сино-Корейской платформы и относится к мультиинъекционному ликвационно-магматическому типу**. Сама рудоносная зона сложена нижнепротерозойскими (1719 млн лет) метаморфитами. Руды приурочены к многофазной лерцолит-вебстерит-дунитовой интрузии и представлены четырьмя промышленными типами:

ликвационно-магматическими *in situ*, концентрирующимися в нижней и средней частях массива и содержащими 0,9 г/т Pt, 0,28 г/т Pd, 0,61 г/т Au, 0,085% Co, а также Se, Te при соотношении пирротина, халькопирита и пентландита, равном 5,9 : 5,6 : 1;

инъекционными ранних стадий, образующими наиболее крупные залежи протяженностью сотни-тысячи метров в лежачем и висячем боках интрузива и содержащими (при соотношении пирротин : халькопирит : пентландит, равном 4,8 : 2,6 : 1) до 1 г/т Pt, Pd, Au и Ag, а также Co, Se, Te, Ga, Ge, Ir, Tl, Re, Cd, Sb, Bi при отношении Pt : Pd : Os : Ru : Ir : Rh : Au : Ag, равном 46 : 23 : 2,5 : 2,1 : 1 : 1 : 31 : 640, Se : S = 1 : 3057;

инъекционными поздних стадий, слагающими богатые рудные жилы (более 100 м в длину и мощностью более 20 м при соотношении пирротин : халькопирит : пентландит, равном 43 : 1 : 1), содержащими относительно первых двух типов большие количества Co, Se, Os, Ir, Ru и меньшие – Pt, Pd и Au;

контактово-метасоматическими, сложенными пирротином (41%), пентландитом и виоларитом (24%), халькопиритом, кубанитом и валлериитом (35%); в них отмечаются максимальные количества платины (0,98 г/т), палладия (0,88), осмия (0,156), рутения (0,153), иридия (0,132), родия (0,066), золота (0,29) и серебра (7 г/т). Руды содержат также 0,079% Co, 0,0043% Se, 0,0007% Te, $\delta^{34}\text{S} = -0,3 \dots -3,1\%$. Абсолютный возраст 1509-1526 млн лет.

* Mineral Deposits China, 1992. – Vol.2. – P. 391.

** Там же. P. 65-74.

Месторождение Цзиньбаошань связано с рифтовой зоной Хунхэ (“Красная река”), тяготеющей к юго-западному флангу параплатформы Янцзы, и приурочено к герцинскому метаморфизованному гипербазитовому силлу перидотит-пироксенитового состава. Малосульфидные платино-палладиевые руды в верхней и средней частях силла содержат 0,0–0,1 г/т платины и палладия ($Pt : Pd = 1 : 1-1 : 2,6$ до $1 : 13$) и 0,0–0,1 г/т осмия, иридия, родия, рутения при $(Pt+Pd) : (Os+Ir+Ru+Rh) = 1 : 13-1 : 18$; максимальное количество никеля равно 0,45%, а меди – 0,08%. Из платиновых минералов установлены сперрилит, мончит, Вi-мончит, Вi-Pd-мончит, садберит, майксерит, Вi-котульскит, Вi-меренскит, станнопалладинит, As-станнопалладинит, иридоосмин, тетраферроплатина, самородная платина. В других подобных рудах отмечаются также тестибиопалладинит, масловит и др.

Наиболее характерным представителем гидротермально-регенерированного типа является месторождение Хуншияла, приуроченное к силлообразному гипербазитовому телу протяженностью около 7 км и мощностью до 420 м. МПГ тяготеют к диопсидовым фациям силла. Согласно линзообразные рудные тела содержат 0,0–0,1 г/т платины и палладия, более 2 г/т осмия и рутения при отношении $Pt : Pd : Rh : Ir$, равном $395 : 80 : 1,2 : 1$. Зерна платиновых минералов размером до 0,6 мм представлены куперитом и сперрилитом, а также арсенопалладинитом, фенггуанитом, As-фенггуанитом, стиббиопалладинитом, хонгшитом, Pt-Fe сплавами. В коренных породах, почвенном слое и аллювии отмечаются платино-палладиевые геохимические поля низкого и среднего концентрирования.

Несомненное промышленное значение в будущем будут иметь платиносодержащие черносланцевые комплексы, расположенные в платиноносном поясе протяженностью до 2000 км при мощности рудоносных горизонтов в первые десятки метров [109].

По нашему мнению, безусловный интерес могут представлять мощные никельсодержащие (до 2,2–9,2% Ni) железные шляпы на некоторых месторождениях, например, Лашуйся в провинции Цинхай. Этот объект – небольшая ($100 \times (1-10)$ м) залежь сплошных, на флангах – брекчиевидных руд, содержащих до 4,2% Ni, 0,57% Cu и 0,11% Co. В самих рудах отношение $Pt : Pd : Os : Ru : Rh : Ir = 1 : 1,25 : 1 : 1,56 : 0,37 : 0,43$ (количество рутения и палладия выше, чем таковое платины**).

Связанные с хромитсодержащими ультрабазитами россыпи платиноидов установлены в районах Гайосытай, Мьяньян-Люэян, Дунцяо и Уньюо***. В них платиноиды ассоциируют с золотом, которое еще в глубокой древности служило объектом кустарной добычи. В россыпях в зернах размером более 0,1 мм диагностированы самородные иридий, осмий, родий, платина, палладий, осмирид, Pt-осмирид, иридоосмирид, рутениридоосмирид, Ru-Os, Pt-рутенирид, Fe-Pt, Ir-Fe-Pt, Pt-Fe сплавы, тетраферроплатина, а в зернах размером до 30 мкм – спер-

* J.Changchun Univ. Earth Sci., 1998. – Vol. 24. – № 4. – P. 386-392.

** Miner. Deposits China, Beijing, 1992. – Vol. 2. – P. 88-90.

*** Там же. P. 346-347.

рилит, андуоит, куперит, лаурит, Os-лаурит, эрлихманит, Ru-эрлихманит, Ir-эрлихманит, Ni-эрлихманит, (Ir,Ru) S_2 , (Ir,Pt) S_2 , (Ru,Os,Ir) S_2 , ирарсит, Ru-ирарсит, Os-ирарсит, Ir-платарсит, руарсит, синчжунит. Отмечены и случаи обогащения платиной остаточных кор выветривания медно-никелевых месторождений.

Значительные объемы платиновых металлов могут быть получены при начавшейся отработке малосульфидных платинометалльных руд в месторождениях Манни-Вуэлд-Рейндж, Уиндимарра, Пантон, Итменс-Бор, Ламбу в расслоенных массивах докембрия (1,84-2,94 млрд лет) Австралии. Количество руды в названных объектах – 0,5-30 млн т, содержание МПГ – 1-6 г/т, Ni – 0,1-0,3%, Cu – 0,2-0,3%, Au – 0,1-0,5 г/т. Извлекаются Pt, Pd, Au, Ir, Rh, попутными элементами являются – Cu, Cr, Ni, As, Bi, Te, Rh, Hg, Sb, Sn. Руды приурочены к лежащему боку мощных (> 5 км) расслоенных массивов в 150-500 м выше контакта. Среди платиновых минералов установлены сульфиды, арсениды, теллуриды, антимониды, соединения с Hg, сплавы платиноидов. Потенциальные ресурсы МПГ рассмотренных месторождений составляют ориентировочно 200-500 т [110]. По экспертным оценкам авторов с учетом этих объектов добыча МПГ может быть доведена до 5-10 т ежегодно (в 1996 г. – около 0,7 т).

В странах СНГ платиновые металлы извлекаются из золотых руд Мурунтау (Узбекистан), колчеданно-полиметаллических руд на Усть-Камепогорском комбинате (около 70-100 т при соотношении Pt : Pd : Rh, равном 1,0 : 2,4 : 0,7), медистых песчаников Жезказгана в Казахстане и, вполне вероятно, из медно-молибденовых месторождений Армении.

Однако, как ранее неоднократно отмечали авторы и многие другие исследователи [19, 44, 62-66 и др.], минерально-сырьевой потенциал стран СНГ чрезвычайно велик. Некоторые объекты изучены более или менее детально, большинство же практически не исследовано совсем.

Перспективы открытия крупных платиносодержащих и платинометалльных месторождений установлены в Узбекистане, Казахстане, Киргизии, на Украине, предполагаются в Таджикистане и Армении. Так, Р.Г.Юсуповым [55] для Узбекистана намечены следующие ведущие платиноидно-(продуктивные) рудно-минеральные парагенезисы:

- самородно-металльные (мафит-ультрамафитовые комплексы);
- ингерметаллидные (мафит-ультрамафитовые комплексы и умеренно-кислые гранитоиды калиевой щелочности);
- сульфидно-(сульфоарсенидно)-теллуридно-платинометалльные (магматизм гранитоидный орогенного типа);
- углеродисто-сульфоарсенидные и самородно-металльные.

Представителем последнего парагенезиса, безусловно, является крупнейшее в мире золоторудное месторождение Мурунтау (рис. 8), из которого, как было отмечено выше, получают попутно очень небольшое количество МПГ, реальные же возможности его в отношении добычи платиноидов значительно больше. Так, по данным [26] “Мурунтау и более мелкие месторождения рудного поля (Мютенбай, Восточный Бесапан, Ташкумыр и др.) формировались на фоне региональной гео-

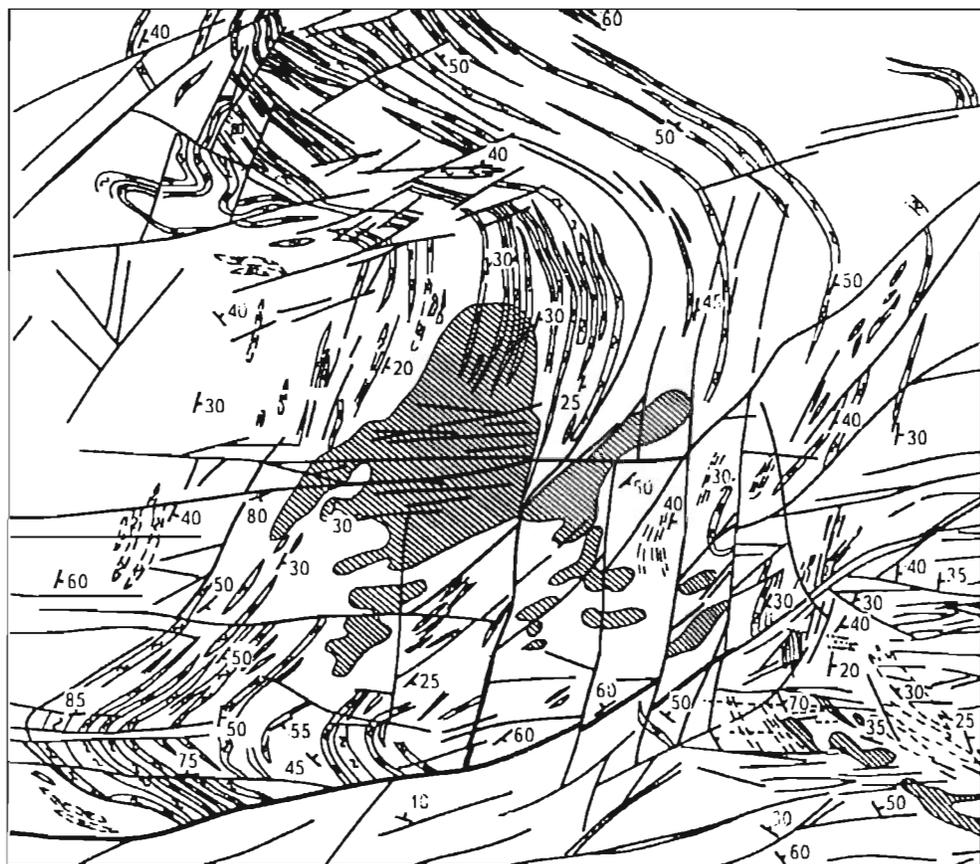


Рис. 8. Схема геологического строения месторождения Мурунтай (по Г.В.Касавченко)

1 – песчано-сланцевые породы, малоуглеродистые; 2 – углеродисто-кремнистые сланцы, алевролиты; 3 – кварцевые и кварц-биотитовые роговики по углеродистым сланцам; 4 – платиносодержащие золоторудные метасоматиты; 5 – разломы; 6 – дайки снетит-порфиров и плагногранит-порфиров повышенной щелочности

химической аномалии, обусловленной обогащением углеродистых алевролитовых пород золотом, мышьяком, вольфрамом, платиноидами” (с. 26). Преобладающие концентрации последних – от 2 до 3,0 г/т [64, 98]. Отмечаются и редкие урановые (до 50 г/т Pt и Pd) содержания в породах, обогащенных высокоуглеродистым веществом. Выделяются две разновозрастные группы руд: субпластовые ранние сульфидно-вкрапленные, содержащие 0,3-3 г/т Au, 0,01-0,08 г/т Pt и 0,01-1% W [28]. В более поздних штокверковых рудах содержится 3-26 г/т Au, 0,5-3 г/т Pt и 0,98 г/т Pd. Максимальные концентрации МПГ установлены в осевой части штокверка (рис. 9); в графитистых тектонитах содержится до 8,7 г/т Pd, 4,22 г/т Os

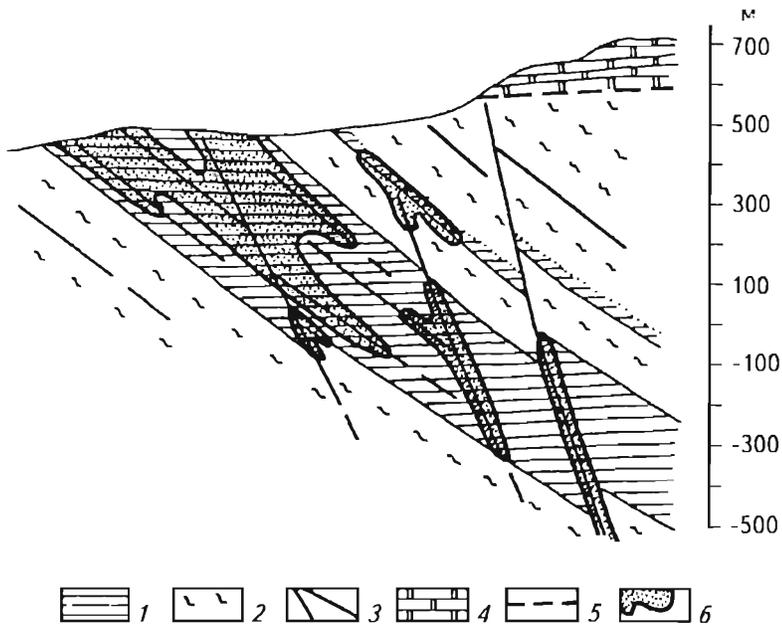


Рис. 9. Схематический разрез через рудную залежь месторождения Мурунтау [39]

1 – золоторудные метасоматиты; 2 – вмещающие терригенно-сланцевые породы бесапанской свиты; 3 – разрывные нарушения; 4 – наднадвиговая карбонатная толща карбона; 5 – поверхность регионального надвига; 6 – тела платиноидно-золотых руд

и 13,6 г/т Pt [28]. МПГ присутствуют в качестве примесей, а также сперрилита, придарсенита, ирарсита [64]. По мнению Н.П.Ермоласва с соавторами [64, 98], наибольшее количество платиноидов связано с серицитом, обогащенным битумами, высшими антраксолитами, графитом. Главным концентратором МПГ является персотложенное органическое вещество. Учитывая огромное количество последнего, ресурсы платиновых металлов месторождения Мурунтау могут быть весьма и весьма значительны. Для их выявления необходима достоверная аналитика, а в последующем – специальная технология извлечения МПГ.

Н.П.Ермоласв, Н.А.Созинев и другие по этому поводу делают вывод “о необходимости проектирования новых технологий заводской переработки такого сырья с утилизацией не только тяжелого концентрата, но и гравитационного легкой графит-гидроослюдистой составляющей руд” [39, с. 74]. Безусловно, именно эта проблема имеет первостепенное значение. Наверное, не будет пресувеличением сказать, что *разработка технологии извлечения платиновых металлов из платиносодержащих руд в черносланцевых комплексах является одной из важнейших научных проблем первого десятилетия XXI в.*

Перспективы платиноносности Казахстана связываются преимущественно с месторождениями подиморфных хромитов Кемпирсая, медно-никельсвых руд златогорского и умуртайского комплексов, золоторудными объектами Западной Калбы и медистыми песчаниками Жезказгана [1, 19, 58, 66].

В хромитовых рудах Южно-Кемпирсайского района Кемпирсайского дунит-гарцбургитового массива суммарное содержание МПГ доходит до 0,8 г/т (в том числе Os – 0,1-0,15, Ru – 0,08-0,3, Ir – 0,05-0,25, Rh – 0,01-0,05, Pt – 0,01-0,09, Pd – 0,001-0,01 г/т). В богатых хромовых рудах количество платиноидов достигает 0,7-2,0 г/т. Они, по данным В.В.Дистлера и др. (1989), представлены твердыми растворами Os-Ir-Ru, Ir-Os-Fe-Ni (самородные иридий и осмий), Ru-Os-Ir (лаурит, эрлихманит), Ru-As (рутснарсенит и RuAs₂), Ir-Ru-As-S (ирарсит, руарсит и др.), Ni-As (платиносодержащие орселит и маухерит). Устанавливаются также ксипг-хонит и кашинит (Волченко, Коротеев, 1998). По мнению авторов, рассматриваемые месторождения являются крупными платиносодержащими объектами. При средних содержаниях МПГ 0,4-0,6 г/т количество платиноидов в контурах разведанных запасов составит около 250 т (Абдрахманов, Петров, 1998). Во флотационном концентрате – сульфидно-хромшпинелидовом продукте содержится до 10 г/т МПГ (преобладают осмий, иридий и рутений) с извлечением 10-12%. Авторы считают, что уже сейчас с учетом весьма значительных (> 1 млн т товарных хромовых руд) объемов добычи на Донском комбинате технологические исследования необходимо продолжить с ежегодным получением 300-400 кг платиновых металлов. Успешная разработка технологии позволит значительно (в 5-6 раз) увеличить количество добываемых платиноидов.

В дунитах и серпентинизированных дунитах Златогорского массива Н.П.Михайловым [58] установлено 6,1 г/т платины и палладия.

В черносланцевых каменноугольных комплексах Западной Калбы в западной части Зайсанской складчатой области расположены крупные платиносодержащие золоторудные месторождения: Акжальское, Боко-Васильевское, Бакырчицкое, Костобе-Эспинское и др. [28]. Платиновые металлы располагаются зонально по отношению к Чарскому поясу. Во вкрапленных золото-платиноидно-пирит-арсениопиритовых рудах содержится до 3,4 г/т осмия и 47,6 г/т платины, а в лиственнизированных породах наиболее удаленного от пояса Костобе-Эспинского блока установлено до 6 г/т палладия [28]. Гравиконцентрат содержит 8,0 г/т Pt, 0,43 г/т Pd и 0,002 г/т Os, а флотоконцентрат – 7,4 г/т Pt, 0,02 г/т Pd и 7,912 г/т Os. Рассмотренные месторождения четко отражаются геохимическими полями элементов-индикаторов (Au, Pt, Pd, Cu, Pb, Zn, Bi, Te, Ag, Sb и др.) и элементов-спутников (Ti, Cr, V, Mo, W и др.). Протяженность некоторых полей достигает 8 км, ширина – 1200 м. От внутренней зоны Чарского офиолитового пояса к внешней геохимические поля (АГП) сверхинтенсивного ($K_H = 2000-2900$) сменяются АГП интенсивного ($K_H = 860-230$) и слабого ($K_H = 2$) концентрирования МПГ в золото-пирит-арсениопиритовых ассоциациях, площадных метасоматитах и черносланцевых толщах.

Прогнозируемые уровни объемов добычи из рассмотренных руд при наличии соответствующей технологии – десятки тонн.

В Кыргызстане платиносодержащее оруденение связано со скарнами кугу-тегерского типа (Тимофеева, 1968), жилами кичик-каиндинского типа (табл. 10) и золоторудными объектами в черных сланцах предположительно сухоложского типа. К последним относится уникальное месторождение Кумтор (рис. 10). В его

Содержание МПГ и Au в месторождениях ведущих типов стран СНГ [1, 19, 28, 39, 58, 66, 71, 106]

Формация	Тип	Страна	Содержание, г/т				
			Pt	Pd	Rh	Ir	Au
1	2	3	4	5	6	7	8
Сульфидная МПГ-Cu-Ni	Норильско-дулутский	Россия	0,1-58	0,2-2000	0,01-17	До 1	0,17-11
		Украина	До 1 и более	До 1 и более	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.
	Плэтрифско-мончегорский	Россия	0,1-11,9	0,4-10,5	"-	"-	"-
		Украина	0,3	0,18	0,004	0,01	0,62
		Казахстан	До 6		Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.
Малосульфидная платинометаллическая	Верхнеталнахский	Россия	0,2-12	0,2-64	0,01-0,95	"-	"-
		Украина	До 4,8	До 4,8	Нет свед.	"-	"-
Платиносодержащая хромитовая	Кемпирсайско-рай-изский	Россия	До 5,4		0,02	"-	"-
		Украина	0,04	0,02	Нет свед.	"-	"-
		Казахстан	0,01-0,54	0,001-0,1	0,01-0,05	0,05-0,25	"-
Платиносодержащая титаномагнетитовая	Пудожгорский	Россия	0,23-0,51	0,59-1,11	Нет свед.	Нет свед.	0,19-0,35
		Казахстан	0,2-0,5		"-	"-	Нет свед.
Платиносодержащая золото-железородная (скарновая)	Кугутегерекский	Россия	0,007-33,2	0,009-44	0,8	До 4	До 38
		Армения	0,5	0,17	0,03	Нет свед.	Нет свед.
		Кыргызстан	0,2	0,2	Нет свед.	"-	"-
		Узбекистан	1,2	0,16	0,02*	"-	До 3,2
		Украина	До 1	До 2	0,04	"-	Нет свед.
	Криворожский	Россия	До 0,4	До 0,55	До 0,01	"-	До 41,7
		Украина	До 14 (Pd:Pt = 2:1-10:1)		Нет свед.	"-	Нет свед.
Платиносодержащая молибден-медно- порфиновая	Сорский (битгемский)	Россия	0,01	0,1	0,01	"-	"-
		Украина	0,03	0,12	Нет свед.	"-	"-
		Армения	До 0,12	0,2**	"-	"-	"-

1	2	3	4	5	6	7	8
Рениево-радиогебно-осмиевая меденосная	Удоканско-жезказганский	Казахстан	0,4	0,3	-"	-"	-"
		Россия	До 8	До 4,1	-"	-"	До 1
		Казахстан	До 4		-"	До 4***	
Платиносодержащая полиметаллическая колчеданная	Рудно-алтайский	Россия	0,084	0,049	0,035	Нет свед.	Нет свед.
		Армения	0,08	0,05	0,03	-"	-"
		Туркменистан	0,002	0,032	Нет свед.	-"	-"
		Казахстан	1,8-2	2	-"	-"	3-10
Платиносодержащая полиметаллическая черно-сланцевая	Онжский	Россия	0,5-30	0,05-420	До 0,6	До 1	До 25
		Казахстан	5-6		Нет свед.	Нет свед.	
	Сухолюжский	Россия	До 24	До 18	До 8	До 16	До 50
		Украина	До 3		Нет свед.	До 4	До 187
		Казахстан	До 47,6	До 6,3	-"	До 4	До 12
		Узбекистан	До 13,6	До 8,7	-"	До 3	До 26
		Кыргызстан	До 2	До 5,3	До 0,2	0,28	До 14
		Украина	0,05-1,3	0,03-2	0,3	0,9	0,05-3
	Любинский	Казахстан	1,6-13	1,14	Нет свед.	0,8	Нет свед.
		Казахстан	До 2	Нет свед.	-"	Нет свед.	
Платиносодержащая жильная	Кичиккаиндинский	Казахстан	До 2	Нет свед.	-"	Нет свед.	-"
Платиноидная россыпная		Россия	До 250 г/м ³		-"	-"	-"
		Украина	До 3 г/м ³		-"	-"	-"
		Кыргызстан	До 51 г/м ³		-"	-"	-"

*Содержание в минералах.

**Содержание в молибденитах.

***Содержание Os, в том числе Os-187.

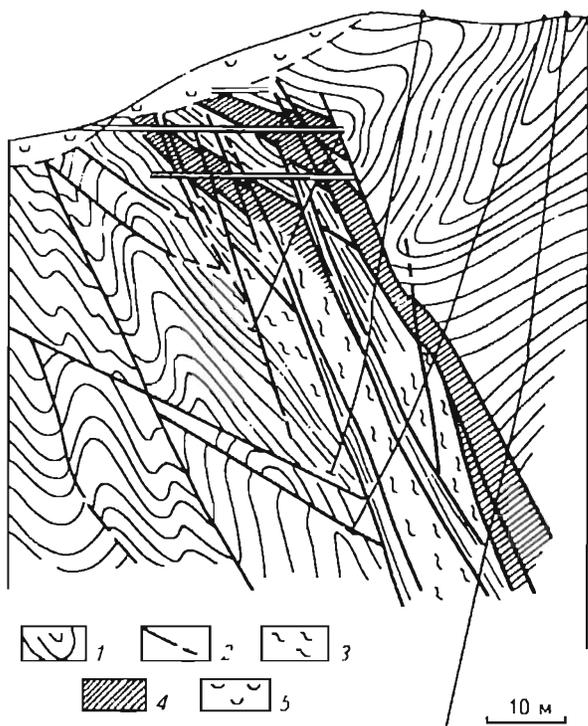


Рис. 10. Схема геологического строения рудной зоны месторождения Кумтор. Вертикальный разрез центрального рудного блока [44]

1 – филлиты и алевролиты джетымской свиты; 2 – разломы; 3 – зоны интенсивного перематия сланцев, окварцевания, фельдшпатизации; 4 – зоны интенсивной фельдшпатизации (тела платиносодержащих сульфидно-вкрапленных руд); 5 – современные гляциальные отложения

сульфидных вкрапленных золото-вольфрамовых рудах содержится от 0,6 до 2,0 г/т платины и 0,9-5,3 г/т палладия. В субпластовых рудах платиновые металлы сосредоточены главным образом в высокоуглеродистом субстрате, а в секущих рудных телах – в основном в позднем пирите. В нем, кроме рассеянной формы, устанавливается также примесь платины и палладия в дисперсных включениях теллуридов золота, серебра и никеля, а также в самородном золоте, последнее содержит платину (до 0,8%), палладий (до 0,4%); мугманит (Ag,Au)Te – до 1% платины и 1% палладия, а мелонит – до 2,5% платины. Преобладающая часть золота и палладия входит в графит-серицитовую фракцию (табл. 11). Рассчитанный баланс палладия для

Таблица 11

Баланс палладия в алевролитах месторождения Кумтор [65]

Минерал	Средний минеральный состав, %	Содержание Pd в минерале, % мас.	Доля Pd, связанная в минерале, % отн.
Серицит + графит	26,01	$8,37 \cdot 10^{-6}$	65,88
Кварц + графит	56,16	$1,81 \cdot 10^{-6}$	30,76
Альбит	11,04	$1,00 \cdot 10^{-6}$	3,34
Пирит	$4,67 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	0,01
Итого	97,81		99,99

месторождения Кумтор [65] практически полностью определяет принципы создания новой технологии извлечения МПГ из платиноидно-золотых руд в черносланцевых комплексах.

В Таджикистане перспективы платиноносности связаны с золоторудными месторождениями в черных сланцах, а также с Гишунским медно-никелевым проявлением (северо-западный Памир). Последнее приурочено к одноименному двухфазному массиву (Лаврусевич и др., 1986). Первая фаза образована габбро, габбро-анортозитами и анортозитами, вторая – серпентинитами, плагноклаз-содержащими и габбро-перидотитами. Породы первой фазы слагают около 95% пород массива. Рудоносные гипербазиты содержат 0,5-3% Ni, 0,2-1,3% Cu, менее 0,01-0,07% Co, 0,05-5 г/т МПГ. Основные перспективы выявления промышленных сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд связаны с опонскованием глубоких (до 600 м и более) горизонтов в прикорневой части интрузива с целью выявления залежей рудных (около 40% сульфидов) гипербазитов размером не менее 4 × 0,2 × 0,2 км. Открытие таких тел в пределах полосы от руч.Хукас до Северного Гишуна на глубинах 600 м и более вполне вероятно. Необходимость проведения крупномасштабных поисковых работ на этом участке сомнений не вызывает. Рудные гипербазиты этого проявления по составу (39,40% SiO₂, 25,51 MgO, 4,80 CaO, 0,09 K₂O, 0,40 Na₂O и 15% суммарного железа) могут быть сопоставлены с плагноклазсодержащими оливинитами или меланотроктолитами массивов норильско-талнахского типа.

Наиболее системно к настоящему времени изучены перспективы платиноносности Украины [66, 71, 106; Есипчук и др., 1994], в пределах которой первые находки платины на Украинском щите (УЩ) и в Днепровско-Донецкой впадине (ДДВ) были сделаны в 1951 г. в гипербазитах (0,1-0,2 г/т) и в циркон-ильменитовых россыпях. Сейчас платинопроявления известны в мафит-ультрамафитовых комплексах, россыпях, а также в метаморфитах, метасоматитах, гидротермалитах, гипергенных и прочих образованиях. Наибольший интерес, по мнению авторов, представляют платиноносные железисто-кремнистые формации Украинского щита: "... железные руды, железистые кварциты и сопряженные с ними сланцы и другие породы, *отрабатываемые в больших количествах в Кривбассе и Приднепровье*" [71]. В пределах последнего железорудные образования зеленокаменных структур (Белозерский рудный район) содержат до 14 г/т МПГ (Pd > Pt) и до 1 г/т золота. Преобладают содержания 0,1-0,23 г/т. Повышенные содержания платиноидов ассоциируют с пиритом, пирротинном, марказитом, халькопиритом, арсениопиритом. Такие же количества МПГ (до 3 г/т) устанавливаются и в железистых кварцитах Криворожья, особенно в богатых рудах ингулецкого типа. Особый интерес представляют древние коры выветривания мафит-ультрамафитов криворожской серии (до 0,5 г/т МПГ) – терригенно-карбонатные и железистые образования саксаганской и гданцевской свит протяженностью до 70 км. В тальковых, тремолитовых и других сланцах по гипербазитам содержится до 0,4 г/т МПГ при наличии самостоятельных минеральных форм – платины, поликсена, палладия, невьянсита, иридосмина и др. Получение МПГ и попутных золота и серебра при добыче и пе-

переработке железных руд и сопряженных с ними пород абсолютно вероятно. *Необходимо подчеркнуть, что огромные объемы хвостов передела железных руд Кривбасса в отношении платиноносности абсолютно не изучены.*

Безусловного внимания заслуживают широко развитые ильменитовые россыпи, титаномагнетитовые руды Коростеньского и Корсунь-Новомиргородского плутонов, черносланцевые, фосфоритоносные и красноцветные эвапоритовые толщи. Ведь запасы титана в ильменитовых россыпях составляют около 6 млн т, годовое производство концентратов – около 400 тыс. т [46], а находки платины известны с 1954 г.

Повышенные концентрации платины (до 4,9 г/т) и других платиноидов выявлены в Прутовском, Железняковском и Каменском массивах УЩ, они обычно возрастают в малосульфидных зонах. Как отмечается в [71], "... по набору рудных формаций интрузивные образования перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации северо-западного района УЩ коррелируются с платиноносным Федорово-Панским массивом ... и характеризуются следующим набором рудых фаций: сульфидная Cu-Ni → титаномагнетитовая и ильменитовая → малосульфидная платинометаллическая " (с. 333). Здесь установлены хараелакит, масловит и инсизваит, причем иногда масловит образует наноминеральные (< 1 мкм) зерна в хедлейдите. В пегматоидах отмечаются также тетраферроплатина и высокопробное самородное золото. Иногда в массивах прослеживаются маломощные (до десятков сантиметров) прерывистые малосульфидные "риффы". С Прутовским массивом связаны одноименное сульфидное платиноидно-медно-никелевое и Верхнепрутовское малосульфидное платинометаллическое рудопроявления. Содержание МПГ достигает 5 г/т.

В Среднеприднепровском мегаблоке известна серия дунит-пироксенит-гарцбургитовых массивов (Александровский, Софиевский и др.), характеризующихся высокими и повышенными содержаниями осмия (до 4 г/т), иридия (до 0,8 г/т), рутения (до 1 г/т) и родия (до 0,25 г/т).

Определенный интерес представляют и платиносодержащие россыпи УЩ и ДДВ, в которых количество МПГ достигает 0,3 г/т. Е.А.Кулиш и др. [71] в пределах Украины выделяют платиноносные провинции: Украинского щита, Донбасса, Днепровско-Донецкой впадины и Карпат.

Авторские материалы и литературные источники [1, 39, 58, 66, 71, 106] дают определенное основание предполагать, что потенциальные ресурсы платиноидов стран СНГ сопоставимы с запасами и ресурсами Бушвельдского массива и других платиновых месторождений мира (табл. 12, 13), причем заключены они преимущественно в крупных и уникальных объектах. К подобным, включая прогнозируемые, относятся месторождения сульфидной платиноидной медно-никелевой, малосульфидной платинометаллической, платиносодержащих хромитовой, титаномагнетитовой, черносланцевых полиметаллической и золоторудной, техногенной, россыпной и других формаций (см. табл. 10).

Для целенаправленного решения проблем развития минерально-сырьевой базы МПГ стран СНГ и внедрения намеченных приоритетов геологических работ

Таблица 12

Подтвержденные запасы МПГ в зарубежных странах на 01.01.96 г., т/% [46]

Страна	МПГ	В том числе Pt
ЮАР	49920/96,33	23950/96,69
Канада	520/1,00	200/0,81
Зимбабве	411/0,79	229/0,92
США	310/0,60	110/0,44
Финляндия	300/0,58	83/0,34
Китай	200/0,39	120/0,48
Гренландия	78/0,15	34/0,14
Колумбия	30/0,06	28/0,11
Австралия	25/0,05	4/0,016
Бразилия	17/0,032	7/0,03
Югославия	5/0,01	1/0,004
Эфиопия	2/0,004	2/0,01
Пакистан	2/0,004	2/0,01
Всего	51820/100,00	24770/100,00

Таблица 13

Прогнозные ресурсы МПГ месторождений различных рудных формаций [30, 38]

Рудная формация	Тип месторождений	Месторождение	Ресурсы, тыс. т/%
Малосульфидная платинометаллическая	Стиллиуотерский	Стиллиуотер	1,06/1,39
		Лак-лез-Иль, Маратон	0,10/0,13
	Рифа Меренского	Бушвельд	16,96/22,32
		Великая Дайка	7,89/10,38
Итого			26,01/34,22
Сульфидная платиноидно-медно-никелевая	Садберийский	Садбери	0,22/0,30
	Плэтрифский	Бушвельд	11,38/14,97
	Австралийский	Камбалда	0,01/0,01
	Прочие		6,20/8,16
Итого			17,81/23,44
Платиносодержащая хромитовая	Бушвельдский	Бушвельд (UG-2)	32,05/42,17
Платиносодержащая медно-порфировая	Бингхемский	Бингхем и др.	0,03/0,04
Платиносодержащая россыпная		Месторождения США, Колумбии и др.	0,10/0,13
Всего			76,00/100,00

предлагается разработать и реализовать под эгидой Межгосударственного Экономического комитета первую целевую комплексную научно-производственную программу "Платина СНГ" с акцентированием внимания на изучение и ускоренное освоение платиноидных объектов нетрадиционных типов. Главные составляющие (блоки) программы: создание научных основ прогноза; составление специализированных методических пособий и рекомендаций для проведения научно-исследовательских, геологоразведочных и эксплуатационных работ; техническое и аппаратурно-аналитическое обеспечение; региональная и локальная оценка ресурсов и запасов; технолого-минералогическое картирование рудных районов, полей и месторождений; создание основ современной малоотходной технологии переработки руд, хвостов, отвалов и других промпродуктов разрабатываемых месторождений; разработка и внедрение многоуровневой информационной системы с составлением первой "Карты платиноносности стран СНГ".

Важнейшими факторами реализации программы "Платина СНГ" должны стать: постепенное возрастание роли государств в освоении, воспроизводстве и продаже МПГ;

создание межгосударственного научного центра "Платина СНГ", выполняющего помимо обычных функций роль координатора при разработке и реализации программы;

благоприятный инвестиционный климат: подготовка и освоение новых крупных платиноидных объектов на основе соглашений о разделе продукции; прямая финансовая помощь фирмам и физическим лицам, принимающим участие в освоении месторождений МПГ; наличие в налоговых кодексах разделов, регулирующих налоги на инвесторов в изучении и освоении месторождений МПГ;

формирование крупных частно-государственных корпораций и холдингов; образование специальных региональных кредитных фондов для изучения и освоения платиноидных месторождений;

создание внутренних и межгосударственных рынков МПГ для производства платиноидных катализаторов, радиотелефонов, персональных компьютеров, современной телевизионной техники, ювелирных изделий, специальных препаратов на основе Os-187;

развернутая рекламная кампания по продвижению на рынок платиновых ювелирных изделий, в том числе замене золотых обручальных колец платиновыми (в Японии ежегодно для производства таких колец (>1,4 млн штук) расходуется более 5 т платины, в 1995 г. 78,3% японских женщин владели платиновыми ювелирными украшениями).

Разработка и реализация на основе рационального природопользования программы "Платина СНГ", базирующейся на научно-техническом взаимодействии стран СНГ и субъектов Российской Федерации приведет к существенному расширению минерально-сырьевой базы МПГ России и созданию таковой в ряде других стран СНГ, в первую очередь на Украине, в Казахстане, Кыргызстане, Узбекистане с превращением их в последующем в ведущие платиновые державы мира.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИРОВОГО РЫНКА ПЛАТИНОВЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Отмеченные выше положения о замене в производстве фильтров-нейтрализаторов палладия на платину (компания General Motors) или разработке новой безпалладиевой технологии (компания Nissan) обуславливают необходимость принципиального решения этой проблемы или хотя бы ее постановки. Ранее авторы отмечали, “что уникальные свойства МПГ – высокие температуры плавления, электрическая проводимость и каталитическая активность, удивительная устойчивость к коррозии – дают основание полагать, что разработать искусственные заменители платиноидов исключительно трудно, если вообще возможно” [19, с. 5]. Авторы пока не изменили своей точки зрения. Для объяснения этого потребуется несколько более подробно, используя данные [30, 38, 42], рассмотреть физические и химические свойства платиновых металлов, т. е. их геохимические особенности.

На геохимическое сходство МПГ впервые обратил внимание в 1906 г. Д.И. Менделеев, поместив их в VIII группу одного варианта периодической системы (далее просто Система). По массовым числам триада (Ru, Rh, Pd) отличается от триады (Os, Ir, Pt) приблизительно вдвое меньшим числом протонов и нейтронов в ядре атома. Максимальное сходство по химическим свойствам имеют элементы, стоящие в Системе один под другим, т. е. Ru и Os, Rh и Ir, Pd и Pt. В рамках каждой из отмеченных триад намечается постепенное изменение основных физических свойств (табл. 14). Из последней видно, что Os, Ir и Pt обладают наибольшей плотностью, а Pd – наименьшей. Естественно, атомные объемы первых трех металлов – минимальные по сравнению с остальными. Соответственно, на кривой атомных объемов они располагаются в минимумах (Ru, Rh, Os, Ir) – признак сидерофильности или в начале восходящих ветвей (Pt, Pd) – параметр халькофильности. В непосредственной близости к МПГ располагаются серебро и золото (с одной стороны), а также технеций и рений (с другой). Все МПГ входят в группу d-металлов, характеризуясь наличием свободного f-уровня. В связи с высокими зарядами, небольшими ионными радиусами и незаполненными d-орбиталями МПГ являются типичными комплексообразователями.

В целом благородные металлы, занимая место в 5-м и 6-м длинных периодах Системы, резко отличаются от гомологов d-металлов 4-го периода (Fe, Co, Ni, Cu), легко образующих простые ионы, весьма активные в химическом отношении. Чем объясняется это различие? Оно возникает вследствие эффекта лантоидного сжатия, обуславливающего то, что переходный элемент 5-го периода намного более сходен с расположенным под ним элементом 6-го периода, чем с гомологом 4-го периода. Выделяются диагональные пары сходных элементов: Ru-Ir, Rh-Pt, Pd-Au.

Конфигурация электронов определяет ряд геохимических особенностей элементов, максимально близких друг другу: Ru ($4d^7 5s^1$), Rh ($4d^8 5s^1$), Ir ($5d^7 6s^2$), Os ($5d^6 6s^2$). Заполненные d-уровни у элементов обуславливают наименьшую теплоту атомизации: у Pd (91) по сравнению с Os (187), Ru, Ir (155), Pt (135) и Rh (133).

Физические свойства платиновых металлов [38]

Металл	Плотность при 20°C, г/см ³	Цвет	Температура, °C		Кристаллическая решетка		Удельная теплоемкость, Дж/(м · К)	Теплопроводность при 25°C, Вт/(м · К)	Удельное электрическое сопротивление при 0°C, мкОм · см	Твердость по Бринеллю, МПа	Модуль упругости, ГПа
			плавления	кипения	Структурный тип	Параметры, нм					
Рутений	12,45	Матово-серый или серебристо-белый	2310	4900	Магния	$a = 0,271$, $c/a = 1,582$	24,0	117	6,71	2000-3000	485
Родий	12,41	Серовато-белый	1960	4500	Меди	$a = 0,380$	25,1	152	4,33	1000-1300	386
Палладий	12,02	"-	1552	3980	"-	$a = 0,389$	26,0	75,2	9,93	380-460	124
Осмий	22,61	Синевато-серый	3050	5500	Магния	$a = 0,273$, $c/a = 1,584$	24,8	87	8,12	3000-4000	570
Иридий	22,65	Серебристо-белый	2443	5300	Меди	$a = 0,384$	25,1	147	4,71	1700-2200	538
Платина	21,45	Серовато-белый, блестящий	1769	4590	"-	$a = 0,392$	25,9	74,1	9,85	390-420	173

Аналогичные следствия вытекают и для температур плавления и точек кипения элементов (см. табл. 14).

Необходимо также подчеркнуть, что Pt и Pd наиболее химически активные из платиновых металлов. Осмий отличается от других особенно легким взаимодействием с кислородом и инертностью относительно водорода, далее в ряду снижения оксифильности следуют Ru, Ir и Pd. Максимально устойчива к кислороду Pt, к сере – Ru, к хлору – Ir, к фтору – Rh. Наиболее высокая способность к абсорбции газов, особенно водорода и кислорода, проявляется в тонкодисперсном и коллоидном состоянии. Так, один объем палладия при комнатной температуре может поглотить до 900 объемов водорода. Поэтому он и наилучший поглотитель углеводородных газов, поэтому он и наилучший катализатор. Вероятно, его можно заменить платиной, другими металлами – вряд ли. *Поэтому авторы и не видят пока достойной замены палладия как катализатору.* Ведь замена палладия на платину, также как и наоборот, абсолютно не снимает самой главной, отмеченной нами, проблемы – *острой нехватки в настоящее время платиноидного сырья* в разведанных и обрабатываемых или подготовленных к отработке месторождениях. С вводом последних целый ряд стран просто запоздал. В России же, как будет показано ниже, в последние десятилетия целый ряд высокоперспективных объектов даже детально не опробовывался. В то же время, если в автомобильной промышленности палладий будет в значительной мере заменен на платину, то это приведет к резкому понижению цен на него. И Россия будет просто вынуждена искать и вводить в строй платиновые месторождения. Таковыми являются крупные россыпи или месторождения в черносланцевых толщах. Последнее, как мы уже отмечали выше, неизбежно будет означать необходимость решения очень серьезных аналитических и технологических проблем.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАТИНОИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В монографии использована оригинальная разработанная авторами и опубликованная в 1994 г. [70] классификация платиноидных месторождений, учитывающая рТ-условия (классы: эндогенный, полигенный, экзогенный и техногенный), среду формирования объектов (группы: магматогенная, постмагматическая, флюидно-осадочно-магматогенная и др.), комплекс ведущих полезных ископаемых (подгруппы: платинометалльные, платиносодержащие – сульфидные платиноидно-медно-никелевые, платиносодержащие золоторудные), соотношения МПГ (геохимические разновидности: платино-палладиевая, иридиево-осмий-платиновая, палладиево-платиновая и др.), формационную принадлежность (типы месторождений). В классе эндогенных месторождений выделены магматогенная (сульфидная платиноидно-медно-никелевая, малосульфидная, платинометалльная, платиносодержащая хромитовая, платиносодержащая медно-ванадий-титаномагнетитовая, платиносодержащая нефелиновая, апатит-магнетитовая, хромитовая и титаномагнетитовая ийолит-карбонатитовых комплексов формации), постмагматическая (эпитермальная платиноидно-золоторудная и платиносодержащая молибден-медно-порфировая, скарновая золото-платино-палладийсодержащая железорудная и платиносодержащая колчеданная и колчеданно-полиметаллическая, золото-платиносодержащая железистых кварцитов, платиносодержащая жильная формации) и промежуточная (платиносодержащая марганценосная формация) группы. Полигенный класс включает флюидно-магматогенно-осадочную (платиносодержащая глубоководных и мелководных образований, платиносодержащая полиметалльная и золоторудная черносланцевая формации), гидротермально-флюидно-метасоматическую (платиносодержащая полиметалльная углеродистых метасоматитов) и космогенно-осадочную группы. В классе экзогенных месторожде-

ний и проявлений устанавливаются группы россыпных нелитифицированных и литифицированных, платиноносных кор выветривания и платиносодержащих железомарганцевых конкреций. Класс техногенных месторождений – хвостоотвалы месторождений различных формационно-генетических типов всех вышеперечисленных групп. Всего сводный вариант классификации насчитывает не менее 70 типов месторождений. Важнейшие из них, являющиеся промышленными и потенциально промышленно значимыми платиноносными формациями страны (табл. 15, 16), нанесены на составленную под редакцией авторов “Карту платиноносности России”, фрагменты которой приведены ниже при характеристике перспектив крупных регионов России.

Серьезные критические замечания к разработанной классификации высказали А.Ф.Коробейников [28] и Н.А.Шило [103]. А.Ф.Коробейников отмечает: “...принятая общая схема благодаря *чрезмерной генерализации* всех известных типов объектов не всегда позволяет отчетливо определять место каждого конкретного месторождения и рудопроявления МПГ в данной классификации”. Им только внутри группы потенциальных комплексных месторождений золота и МПГ выделяются: 1) золото-платиноидные объекты в орогенно-рифтогенных структурах офиолитовых и вулканических поясов (фанерозой); 2) золото-платиноидные объекты в терригенных синклиналях рифтогенного типа (фанерозой–рифсей); 3) золото-платиноидные полихронные объекты в терригенно-вулканогенных синклиналях в зонах тектономагматической активизации (протерозой–фанерозой); 4) золото-платиноидные осадочно-гидротермальные месторождения в медистых песчаниках и сланцах (протерозой–фанерозой); 5) золото-платиноидные объекты в медно-порфириновых интрузиях (фанерозой). Н.А.Шило упрекает авторов в создании излишне усложненной систематики и отмечает: “В классификациях не находят отражение тот факт, что платиново-металльные месторождения связаны с плутонами, которые незначительно варьируют по составу и даже сходны по геологическим позициям. Их положение в структурах земной коры нормируется проявлением соответствующего магматизма в пределах древних платформ или рифтогенных складчатых зон и не отличается разнообразием, а некоторые различия рудной минерализации, в какой-то степени определяющей трендами составов платиново-металлоносных ритмов продуктивных плутонов, демонстрируют сравнительно устойчивую повторяемость” [103, с. 122-123].

Авторы, к сожалению, не могут согласиться со сделанными замечаниями. Так, первые три из выделенных А.Ф.Коробейниковым [28] групп по сути представляют собой подтипы сухоложского типа, четвертая в классификации авторов выделяется в качестве жезказганско-удоканского, а пятая – сорского типов. Замечания Н.А.Шило [103] касаются только класса эндогенных месторождений, а указанное им количество групп, подгрупп, типов и подтипов характеризует весь объем классификации авторов [70]. К тому же трудно согласиться и с отнесением таких разных

* Имеется в виду и классификация авторов.

Рудно-формационный блок легенды к "Карте платиноносности России"

Рудная формация	Тип ассоциаций МПГ в платино- идных рудах	Ведущий тип месторождений (номер соответствует номеру типа на рис. 12, 25, 29, 35)	Преобладающая геологическая формация (техногенное образование)	Месторождения				Рудопроявления
				Установленные		Прогнозируемые		
				Крупные	Средние, мелкие	Крупные	Средние, мелкие	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сульфидная платиноидно- медно- никелевая (I)	Pt-Pd	1. Норильско- талнахский	Трапповая (пикрит- габбро-долеритовая)	+	+	+	+	+
		2. Мончегорский	Перидотит-пироксенит- габбро-норитовая		+	+	+	+
		3. Еланский	Ортопироксенит-норит- долеритовая		+		+	+
		4. Шанучский	Норит-кортландитовая		+		+	+
		5. Мамонско- печенгский	Дунит-перидотит- габбро-норитовая, габбро-верлитовая		+		+	+
Pd-Pt	6. Ловноозерский	Перидотит-пироксенит- габбро-анортозит-нори- товая, дунит-троктолит- габбровая				+	+	
	7. Аллареченский	Дунит-гарцбургитовая железистая				+	+	
	8. Австралийский	Сульфидоносных кома- титов и их кумулатов				+	+	
Малосульфидная платинометалль- ная (II)	Pt-Pd	9. Стиллуотерский (федорово-панский)	Перидотит-пироксенит- габбро-анортозит-нори- товая, дунит-троктолит- габбровая	+	+	+	+	+

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Малосульфидная платинометаллическая (II)	Pt-Pd	10. Верхнеталнахский	Трапповая (пикрит-габбро-долеритовая)	-	+	+	+	+
	Rh-Au-Pt-Pd	11. Скаергаардский (неконгдоконский)	Троктолит-феррогаббро-долеритовая			+	+	+
Платиносодержащая хромитовая (III)	Ir-Os (Pt-Pd в зонах сульфидизации)	12. Альпийский (кемпирсайско-рай-изский)	Дунит-гарцбургитовая				+	+
	Ir-Pt	13. Алданский	Дунит-клинопироксенит-габбровая щелочная				+	+
	Au-Ir-Os	14. Гулинский	Дуниты щелочно-ультрамафитовой (ийолит-карбонатитовой) формации		+		+	+
	Pt	15. Уральский (нижнетагильский)	Дунит-клинопироксенит-габбровая		-		+	+
Платиносодержащая титаномагнетитовая (IV)	Ir-Os- Pt	16. Бушвельдский (бураковский)	Дунит-перидотит-габбро-норитовая, дунит-гарцбургитовая железистая		+	+	+	+
	МПП*	17. Джугджурский	Анортозитовая, габбро-анортозитовая				+	+
	Pt	18. Качканарский	Дунит-клинопироксенит-габбровая		+		+	+
	Cu-Pt-Pd	19. Волковский			+		+	+
		20. Пудожгорский	Габбро-долеритовая		-	+	+	+
	Au-Pt-Pd	21. Палаборский (ковдорский)	Ийолит-карбонатитовая				+	+

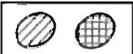
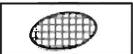
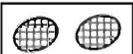
<p>Платиносодержащая золото-железородная – скарновая (V)</p> <p>Платиносодержащая молибден-медно-порфировая (VI)</p> <p>Платиносодержащая полиметаллическая колчеданная (VII)</p> <p>Платиносодержащая постмагматическая жильная сульфидная платино-медно-никелевая (VIII)</p> <p>Платиносодержащая полиметаллическая в черных сланцах и их метасоматитах (IX)</p>	Au-Pt-Pd	22. Алтае-саянский	Скарновая				+	+
	Pt-Pd ?	23. Бигхемский (сорский)	Зоны эксплозивных брекчий в экзоконтактах порфировых штоков диорит-гранитовой, гранит-гранодиоритовой формации				+	+
	Pt-Pd ?	24. Рудно-алтайский	Спилит-кератофировая, базальт-андезитовая, натровых базальтов				+	+
	Pt-Pd ?	25. Худолазовский	Габбро-плагногранитовая, габбро-диорит-гранитовая, габбровая				+	+
	Pt-Pd-Au	26. Тимской	Углеродистые и высокоуглеродистые сланцы осадочно-вулканогенных зон рифтогенеза докембрийских щитов и массивов			+	+	+
	Pt-Pd (с V, U, Mo)	27. Онсжский				+	+	+
	Pt-Au	28. Сухоложский (мурунтаусский)	Терригенная, карбонатно-терригенная сероцветная	-	+	+	+	+
	Au-Ag-Pt-Pd	29. Любинский	Углеродистая терригенно-красноцветная чехла платформ (цехштейн)				+	+

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Платиносодержащая полиметаллическая в черных сланцах и их метасоматитах (IX)	Au-Ag-Pt-Pd	30. Таймырский	Углеродистая терригенная сероцветная складчатых областей			+	+	+
	Au-Ag-Pt-Pd	31. Полярноуральский	Углеродисто-сланцевая офиолитовых поясов				+	+
	Au-Ag-Pt-Pd	32. Ханкайский	Углеродисто-сланцевая рифтогенных прогибов у срединных массивов				+	+
	Au-Pt-Pd (с Mo)	33. Южно-китайский	Углеродисто-терригенно-карбонатная с горизонтами фосфатов вблизи границ несогласия чехла платформ			+	+	+
	Pt-Pd	34. Наталкинский	Углеродисто-терригенная сероцветная				+	+
Платиносодержащая медная (X)	Os-Pt-Pd	35. Удоканско-жезказганский	Терригенная пестро- и красноцветная (медистые песчаники)				+	+
Платинометаллическая россыпная (XI)	Pt-Pd и Pd-Pt	36. Норильский россыпной	Продукты разрушения месторождений норильско-талнахского и верхнеталнахского типов		-	+	+	+
	Rh-Au-Pt	37. Вилюйский россыпной	Продукты разрушения месторождений неконглокатного типа			+	+	+
	Pt-Ir-Os (с Au)	38. Альпийский россыпной	Продукты разрушения месторождений одноименных типов				+	+

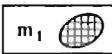
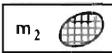
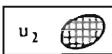
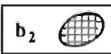
Платиносодержащая хромитовая техногенная (XII)	Ir-Os (с Au)	39. Гулинский россыпной			+	+	+	+
	Ir-Pt	40. Алданский россыпной		+	+	+	+	+
	Pt	41. Уральский, корякский россыпной		+	+	+	+	+
	Pt	42. Уральский техногенный	Хвостоотвалы платинометаллических и платиносодержащих месторождений		+	+	+	+
	Pt-Pd	43. Норильский техногенный	Хвостоотвалы месторождений норильско-талнахского типа	+	+	+	+	+
	МПГ*	44. Сибирско-дальневосточный техногенный	Хвостоотвалы золоторудных месторождений				+	+
Платиносодержащая полиметаллическая, железорудная, медно-молибденовая техногенная (XV)	Pt-Pd-Au	45. Курский, алтайский и сорский техногенные	Хвостоотвалы полиметаллических, колчеданных, медно-молибденовых железорудных месторождений				-	+

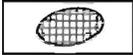
Примечания. 1. Приведены не все потенциально возможные типы месторождений; 2. Крупные месторождения: а) коренные – более 100 т МПГ; б) россыпные – более 10 т МПГ; в) техногенные – более 50 т МПГ. *МПГ означает комплексность, неустойчивость или отсутствие ярко выраженной специализации на определенные платиновые металлы.

Структурно-формационный блок легенды (фрагмент). Структурно-формационные

СФК крупных структур земной коры	Типы и вещественный состав СФК	Геодинамический, фациальный режимы формирования СФК		Знак СФК на карте (цвет, цветная штриховка)
1	2	3	4	5
СФК щитов, фундамента платформ и складчатых областей	Дайково-интрузивные пояса (расслоенные ультрамафит-мафитовые интрузии, дайки основного, ультраосновного и щелочного составов)	Проторифтогенез в докембрийских структурах	Поясовой проторифтогенез с малым раскрытием в условиях протоконтинентального режима	
	Интрузивно-вулканогенные прогибы: пикрит- и коматит-базальтовые серии, осадочно-туфогенные породы, черные сланцы, интрузии мафит-ультрамафитов		Поясовой проторифтогенез с полным раскрытием; океанические обстановки с протоостроводужным типом магматизма	
СФК складчатых областей	Офиолитовые пояса, зоны (толлиты, спилит-краторифиры, дунит-гарцбургитовые, дунит-пироксенит-габбровые, габбро-плагиогранитовые комплексы, толщи андесит-липаритов)	Интрузивный, эффузивный и петрогенез и осадконакопление в островных дугах, на окраинах континентов	Островодужный режим, процессы облужки (аллохтоны, меланж, сутурные зоны), метаморфизм	

комплексы – СФК (вещественная, структурная и прогнозная характеристики)

Платиноносные геологические формации в составе СФК и типы платиноидных месторождений в связи с ними					
Формация	Знак  , индекс (m) формации				
	Знак прогнозируемого типа месторождений				
6	7	8	9	10	11
1. Перидотит-пироксенит-габбро-анортозит-норитовая (m ₁) 2. Габбро-анортозитовая (mc)					
3. Ортопироксенит-норит-диоритовая (sm ₁) 4. Габбро-долеритовая (dm ₁) 5. Перидотит-пироксенит-габбровая (gm)	 				
1. Габбро-верлитовая (m ₂) 2. Черносланцевая, высокоуглеродистая, турбидитовая (b ₁)					
1. Дунит-гарцбургитовая (u ₂) 2. Дунит-клинопироксенит-габбровая (um ₁) 3. Габбро-плагногранитовая (ms) 4. Спилит-кератофировая, натровых базальтов 5. Терригенно-карбонатная черносланцевая метаморфизованная (графитистые кремнистые сланцы – b ₂)					
	 	 			

1	2	3	4	5
СФК платформ	Дифференцированные траппы и родственные породы (пикриты, трахибазальты и др.)	Внутриплитный континентальный рифтогенез	Поясовой рифтогенез на периферии платформ в областях сочленения с рифтогенными оксаническими структурами	
	Интрузивные, интрузивно-дайкивые пояса: а – щелочно-ультраосновных массивов, б – мафит-ультрамафитовых интрузий со щелочным клоном		Рифтогенные зоны, связанные со следами горячих точек	

Примечание. Рудные формации и типы месторождений:



Их характеристика дана в рудно-формационном блоке легенды (таблица 15).

массивов, как Стиллуотер и Скаергаард, к единой норит-ортопироксенит-гарцбургитовой формации. В последнем плутоне – типичном представителе высокожелезистой троктолит-феррогаббро-долеритовой формации – платиноносный риф располагается в титаноносных габбро, отличающихся от рифов Стиллуотера и Бушвельда. В этой же классификации не находят места и платиноносные нефелиновые, апатит-магнетитовые и типичные габбро-долеритовые (Карелия) массивы. В то же время нельзя не признать, что для россыпных месторождений платиноидов классификация россыпеобразующих формаций, предложенная Н.А.Шило [103], является абсолютно приемлемой.

Однако разработанная и использованная авторами при реализации первого этапа программы “Платина России” формационно-генетическая типизация (классификация) платиноидных месторождений при своей стройности (классификационное древо: класс → группа → подгруппа → разновидность → тип → подтип) действительно страдает определенной громоздкостью и нуждается в усовершенствовании. Авторы считают, что она должна быть и минералого-геохимической. Именно последняя должна способствовать успешному выполнению второго этапа программы – созданию оптимальной стратегии освоения, рационального использования и сохранения в долгосрочной перспективе минерально-сырьевой базы платиновых металлов России. Решение такой проблемы бесспорно требует создания высоких наукоемких технологий на принципиально новом – микровсествен-

6	7	8	9	10	11
1. Трапповая (пикрит-габбро-доляритовая – d)					
2. Троктолит-феррогаббро-доляритовая (fd)	 	 			
1. Щелочно-ультрамафитовая (am)					
2. Дунит-клинопероксенит-габбровая щелочная (um ₂)	 	 			



IV



VII



VIII



IX



XI



XIII

ном уровне. Переход к последнему и обусловил создание минералого-геохимической классификации платиноидных месторождений. Последний ее вариант, разработанный авторами [40], включает восемь минералого-геохимических типов: 1) сульфидный платино-палладиевый и палладиево-платиновый с тремя подтипами (медно-никелевый платино-палладиевый и палладиево-платиновый, медно-молибденовый золото-осмиево-платиносодержащий, медно-свинцово-цинковый золото-платиносодержащий); 2) малосульфидный платино-палладиевый и палладиево-платиновый; 3) хромитовый комплексный платиноидный (как правило, осмиево-иридиево-платиновый); 4) ванадий-титаномагнетитовый (золото)-платино-палладиевый, реже палладиево-платиновый; 5-8) комплексные платиносодержащие углеродистый, нефелиновый, апатит-магнетитовый и гематит-магнетитовый.

В рудах установлено (имеются в виду упоминаемые в монографии) более 120 платиновых минералов и около 180 неназванных фаз (табл. 17), которые в макро-, микро- и тонкодисперсной концентрационной и изоморфной формах заключены в рудно-силикатную матрицу, состав которой определяется названием типа или подтипа.

Каждому типу присущи основные минералы-концентраторы и минералы-коллекторы и их типоморфные особенности. В то же время устанавливаются и минералы (сперрилит, станнопалладинит, полнксен, стибнопалладинит, соболевскит, котульскит, холлингвортит, палладистое золото и др.), встречающиеся в большинстве

Распространенность минералов МПГ в платинометаллических рудах
различных минералого-геохимических типов

Минерал, не названная фаза	Формула	Тип*						
		С	М	Х	Т	Н	А	У
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Арсенопалладинит	$Pd_8(As,Sb)_3$	+	+				+	
Атсенит	$(Pd,Hg)_3As$			+	+			
Атокит	$(Pd,Pt)_3Sn$	+	+				+	
Тс-атокит	$Pd_3(Sn,Tc,Sb)$		+					
Рб-атокит	$(Pd,Pt)_3(Sn,Pb)$		+					
Брэггит	$(Pt,Pd,Ni)S$	+	+	+			+	
Высоцкит	$(Pd,Ni)S$	+	+	+	+			
Геверсит	$PtSb_2$	+		+				
Генкиннит	Pt_3PdSb_5			+				
Рд-герседорфит	$(Ni,Co,Fe,Pd)AsS$		+					
Гуанглинит	Pd_3As			+				
Железистая платина	$Pt(Fe,Cu,Ni)$	+		+				+
Звягинцевит	$(Pd,Pt)_3(Pb,Sn)$	+	+	+			+	
Рд-золото	(Au,Pd,Ag)		+					
Изомертинит	$Pd_{11}Sb_2As_2$	+	+	+			+	
Изоферроплатина	Pt_3Fe	+	+	+	+		+	
Ir-изоферроплатина	$(Pt,Ir)_3Fe$			+				
Инаглинит	$PbCu_3(Ir,Pt)_8S_{16}$			+				
Инсизвант	$PtBi_2$	+		+				
Ирарсит	$IrAsS$	+		+				
Иридарсенич	$IrAs_2$			+				
Иридистая платина	(Pt,Ir)			+				
Иридоосмин (сысертскит)	$IrOs$	+		+	+			
Os-иридий	(Ir,Os)							+
Иридий	$IrNi$			+				
Кабринит	Pd_2SnCu	+						
Кашинит	$(Ir,Ru,Cu)_2S_3$			+				
Кейтконнит	$Pd_{20}Te_7$		+	+	+			
Rh-кобальтин	$(Co,Ni,Fe,Rh)AsS$		+					
Кондерит	$PbCu_3(Rh,Pt,Ir)_8S_{16}$			+				
Котульскит	$PdTe$	+	+	+	+			
Bi-котульскит	$Pd(Te,Bi)$	+						

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sb-когультскит	Pd(Te,Sb)		+					
Sn-когультскит	Pd(Te,Sn)		+					
Куперит	PtS	+	+	+			+	
Купропридит	CuIr ₂ S ₄			+				
Купрородсит	CuRh ₂ S ₄			+				
Лаурит	RuS ₂	+	+	+				
Ос-лаурит	(Ru,Os)S ₂			+				
Маланит	Cu(Pt,Ir) ₂ S ₄			+				
Масленицковит	(Pt,Pd)Sn		+					
Масловит	PtBiTe	+						
Майченерит	PdBiTe	+	+	+				
Маякит	PdNiAs	+	+					
Медистый палладий	(Pd,Cu)					+		
Pd-мелонит	(Ni,Pd)(Te,Bi) ₂	+	+					
Меренскит	Pd(Te,Bi) ₂	+	+	+	+			
As-меренскит	(Pd,Pt)(Te,Bi,As) ₂		+					
Мертинит-I	(Pd,Pt,Cu) _{5+x} (Sb,As) _{2-x}			+			+	
Мертинит-II	(Pt,Pd) ₈ (Sb,As)	+	+				+	
Мончент	PtTe ₂	+	+	+			+	
Bi-мончент	Pt(Te,Bi) ₂	+						
Пинглит	PtSn	+						
Оксид платины	PtO			+				
Омент	OsAs ₂	+						
Осарит	OsAsS	+		+				
Осмирид (невьянскит)	OsIr			+	+			+
Осмиридистая платина	(Pt,Os,Ir)			+				
Паларстанид	Pd ₃ (As,Sn) ₂	+						
Hg-палладий	(Pd,Hg)		+					
Au-Pt-палладий	(Pd,Pt,Au)							+
Палладистая платина	(Pt,Pd)					+		
Палладоарсенид	Pd ₂ As	+	+					
Палладовисмуто- арсенид	Pd ₁₀ BiAs ₄	+	+					
Паоловит	Pd ₂ Sn	+						
Pd-паркерит	(Ni,Pd) ₃ Bi ₂ S ₂	+						

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Платарсит	PtAsS			+				
Платинистый иридий	(Ir,Pt)			+				
Платиноиридий	PtIr			±				
Плюмбопалладинит	Pd ₃ Pb ₂	+	+	+			+	
Полярит	PdBi-PdPb	+						±
Потарит	(Pd,Pt)Hg			+	+			
Родистая платина	(Pt,Rh)		+					
Родплюмсит	Rh ₃ Pb ₂ S ₂			+				
Руарсенит	RuAs ₂			+				
Руарсит	RuAsS			+				
Рустенбургит	Pt ₃ Sn	+	+	+			+	
Pd-рустенбургит	(Pt,Pd) ₃ Sn	+						
Рутенарсенид	RuAs			+				
Рутениевая платина	(Pt,Ru)		+					
Рутенистый осмий	(Os,Ru)			+				
Рутениридосмин	RuIrOs			+				
Садберинг	PdSb	+	+	+				
Самородная платина (поликсен)	Pt	+	+	+	+		+	+
Самородный иридий	Ir			+				
Самородный осмий	Os			+	+			
Самородный палладий	Pd				+			+
Самородный рутений	Ru			+				
Соболевскит	PdBi	+	+	+			+	
Сопчет	Pd ₃ Ag ₄ Te ₄	+	±					
Сперрилит	PtAs ₂	+	+	+	+	+	+	
Станнопалладинит	(Pd,Pt) ₅ Sn ₂ Cu	+						
Стибиопалладинит	Pd _{5+x} Sb _{2-x}	+	+	+	+			
Стиллиуотерит	Pd ₈ As ₃		±	+				
Таймырит	(Pd,Pt) ₃ Sn ₄ Cu ₃	+						
Теларгпалит	(Pd,Ag) _{4+x} Te	±	+					
Bi-теларгпалит	(Pd,Ag) ₃ (Te,Bi)		+					
Теллурупалладинит	Pd ₃ (Te,Bi) ₂		+					
Темагамит	Pd ₃ HgTe ₃		+					

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тестнибиопалладинит	(Pd,Ni)(Sb,Bi)Te	+						+
Тетраферроплатина	PtFe	+	+	+				
Туламинит	Pt ₂ FeCu		+	+				
Урванцевит	Pd(Bi,Pb) ₂	+						
Ферроплатина	PtFe	+		+	+			
Фрудит	PdBi ₂	+	+					+
Хараелахит	(Cu,Pt,Pb,Fe,Ni,Pd) ₉ S ₈	+						
Холлингвортит	(Rh,Pt,Ru,Ir,Pd)AsS	+	+	+				
Хонгшит	PtCu			+				
Sb-хонгшит	Pt(Cu,Sb)			+				
Штумпфлит	Pt(Sb,Bi)	+		+				
Pd-электрум	(Au,Ag,Pd)		+					
Эрлихманит	OsS ₂			+				
Неизвестная фаза	(Fe,Pd)Cu	+						
"	Pt ₂ Fe		+					
"	PtCu ₄		+					
"	Pt ₂ (Fe,Cu)			+				
"	Cu(Re,Mo) ₄ S ₈₄		+					
"	(Pt,Pd) ₁₃ S ₁₄		+					
"	Pd(Fe,Ni) ₂ S ₃			+				
"	(Fe,Ni,Pd)S		+					
"	Pd ₁₅ S ₁₄		+					
"	(Pt,Pd,Ni) ₁₄ S ₁₃		+					
"	Pd ₁₂ Pt ₂ Ni ₅ S ₁₇		+					
"	(Pt,Pd) ₉ S ₈		+					
"	Pt ₁₅ Ni ₅ S ₂₃		+					
"	(Pt,Pd) ₁₃ S ₁₂		+					
"	(Pd,Cu) ₈ NiS ₈		+					
"	(Ir,Rh) ₂ S ₃			+				
"	Ir(Fe,Ni) ₄ S ₅			+				
"	(Os,Ru,Ir) ₃ S ₂			+				
"	(Pd,Au,Ag,Ni) ₁₆ (Bi,Pb) ₂ S ₄			+				
"	Pt ₉ As ₁₇		+					
"	Pt ₅ As ₉		+					
"	Pt ₆ As ₁₁		+					
"	Pt ₄ As ₇		+					
"	Pt ₅ As ₂		+					

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Не названная фаза	$Pt_7(Fe,Rh)As_{15}$		+					
"	Pd_3As		+					
"	Pd_3As_2		+					
"	Pd_5As_2	+	+					
"	$(Pd,Ni)_5As_2$	+						
"	$(Pd,Ni)_2As$		+					
"	$Pd_3Ni_2As_3$		+					
"	$Ni_6Pd_2As_3$	+						
"	$(Pd,Au,Hg)_5As_2$		+					
"	$(Ni,Ir)_3As$			+				
"	$RhNiAs$			+				
"	$(Pd,Pt)_{11}As_6O_9$		+					
"	$Pd_{17}As_4O_7$		+					
"	$Pd_2(As,Sn)$	+						
"	$Pd_2(As,Sb)$		+					
"	$Pd_5(As,Sb)_3$		+					
"	$Pd_{11}(As,Tc)_4$		+					
"	$Pd_8(As,Tc)_3$		+					
"	$Pd_3(As,Tc)$		+					
"	$Pd_3(As,Tc,Sn)$		+					
"	$Pd_3(As,Tc,Sb)$		+					
"	$Pd(As,Tc,Sb,Sn)_4$		+					
"	$(Pt,Fe,Ni)(As,S)_2$		+					
"	$(Rh,Ni,Ir)_5As_4S_5$		+					
"	$(Pt,Rh)_2(As,S)_3$			+				
"	$(Rh,Ni)_2As_2S_3$	+						
"	$(Os,Ru)_6FeAs_8S_8$	+						
"	$(Pd,Ni)_{13}As_3TeS$		+					
"	$(Pt,Pd)_2(Fe,Bi)_5$	+						
"	$Pd_4Bi_5Cl_3$	+						
"	$Pd(Bi,Sb,Tc)$	+						
"	$(Pt,Pd)(Bi,Sb)$			+				
"	$PdBi$			+				
"	$Pd_{5-x}Bi_{2-x}$			+				
"	$PdBiTe_2$	+						
"	$(Pd,Pt)_3Bi_2Te_2$	+						
"	$PtPdNi_2BiTe_5$	+						

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Неназванная фаза	$Pt_8Bi_5Te_6$	+						
"	Pd_4BiTe_8		+					
"	$(Pt,Cu)_3BiTe_4$		+					
"	$Pd_{12}Ag_7Bi_3Te_3$		+					
"	Pd_7BiTe_5		+					
"	$Pd_8Bi_6SbTe_8$		+					
"	$(Pt,Pd)_2Te_5$		+					
"	$(Pt,Pd)_3Te_7$		+					
"	$(Pt,Pd)_6Te_{13}$		+					
"	Pt_2Te_5		+					
"	Pt_8Te_{13}		+					
"	Pt_8Te_{15}		+					
"	$Pd_{13}Te_6$		+					
"	Pd_5Te_9		+					
"	Pt_5Te_9		+					
"	Pt_3Te_5		+					
"	Pt_6Te_{13}		+					
"	$PdPt_3Te_9$		+					
"	$(Pd,Pt)_6Te_{13}$		+					
"	$(Pd,Pt)_3Te_7$		+					
"	$(Pt,Pd,Fe)_5Te_{11}$		+					
"	$(Pd,Ag)Te$		+					
"	Pd_7AgTe_5		+					
"	$Pd_2Ag_3Te_3$		+					
"	$(Pt,Fe)Te_2$		+					
"	$(Pd,Fe)_{14}Te_{13}$		+					
"	$(Pt,Cu)_3Te_5$		+					
"	$(Pd,Hg)_6Te_5$		+					
"	$Pd_{13}Hg_4Te_{14}$		+					
"	$Pd_7Hg_2Te_7$		+					
"	$(Pd,Ag)_8Te_5$		+					
"	$(Pd,Ag)_5Te_3$		+					
"	$(Ag,Pd)_5Te_3$		+					
"	Pd_2Te		+					
"	$(Pd,Hg)Te$				+			
"	$PdTe_{1+x}$				+			
"	$(Pd,Ag)_2(Te,Pb,Sb,Sn)$						+	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Неназванная фаза	Pt(Te,Bi)(Te,S)		+					
..	Pt(Te,Bi) ₃		+					
..	Pt ₃ (Te,Bi) ₅		+					
..	(Pt,Pd) ₂ (Te,Bi) ₅		+					
..	(Pd,Pt) ₃ (Te,Bi) ₇		+					
..	(Pt,Pd) ₃ (Te,Bi) ₇		+					
..	Pt ₄ (Te,Bi) ₉		+					
..	Pt ₇ (Te,Bi) ₁₅		+					
..	Pd ₁₆ (Te,Bi) ₁₅		+					
..	Pd ₁₂ (Fe,Cu)(Te,Bi) ₂₄		+					
..	(Pd,Pt) ₄ (Te,Bi) ₇		+					
..	(Pt,Pd) ₂ (Te,Bi) ₃		+					
..	Pd ₇ (Te,Bi) ₁₀		+					
..	Pd ₁₁ AgNi(Bi,Te) ₁₆		+					
..	Pd ₆ (Te,Bi) ₇		+					
..	Pd ₁₃ (Te,Bi) ₁₅		+					
..	Pd ₁₇ (Te,Bi) ₁₉		+					
..	Pd ₈ (Te,Bi) ₉		+					
..	(Pd,Ni,Ag) ₁₀ (Bi,Te) ₁₁		+					
..	Pd ₁₁ (Te,Bi) ₁₂		+					
..	Pd ₁₂ (Te,Bi) ₁₃		+					
..	Pd ₁₁ (Te,Bi) ₁₀		+					
..	(Pd,Ag) ₃ (Te,Bi,Pb) ₂		+					
..	Pd(Te,Bi,Sb)		+					
..	Pd ₄ (Te,Bi,Sb) ₅		+					
..	(Pd,Fe) ₁₆ (Te,Bi) ₁₆ S		+					
..	(Pd,Ag) ₄ (Te,Pb)(Te,Se)		+					
..	Pd ₈ (Te,Sn) ₆ (Te,S)		+					
..	Pd ₅ Sn ₂ Cu	+						
..	Pd ₂ (Sn,Cu)	+						
..	(Pd,Pt) ₂ (Sn,Cu)	+						
..	(Pt,Pd)(Cu,Sn)			+				
..	Pd ₂ (Sn,As)	+	+					
..	Pd ₃ (Sn,As)		+					
..	Pd ₆ Sn ₂ As-Pd ₆ As ₂ Sn	+						
..	(Pt,Pd) ₇ (Sn,As,Te) ₃		+					
..	(Pd,Pt) ₅ (Sn,As,Sb) ₂	+						

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Не названная фаза	$Pd_{16}Sn(As,Te)_3$		+					
"	$Pd_8Sn_2Te_5$		+					
"	$(Pd,Ag)_{17}SnTe_7$		+					
"	$(Pd,Ag)_{17}SnTe_7$		+					
"	$Pd_{15}FeSn_3Te_{11}S$		+					
"	$Pt_3Sn_3(Te,Bi)_4$	+						
"	$(Pd,Fe)_7(Sn,Te)_2(Te,S)_4$		+					
"	$Pd_3(Cu,Fe)_2(Sn,Te)(S,Te)_2$		+					
"	$Pd_2(Sn,Sb)$	+						
"	$PdSn_2$							+
"	$Pd_{10}HgSnAs_3$		+					
"	$Pd_2(Sb,As)$	+						
"	$Pd_5(Sb,As)_2$		+					
"	Pd_xPb_5	+						
"	$Pd_{23}Pb_7$	+						
"	$(Pd,Au)_3(Ag,Pb)(Te,Se)$	+						
"	$Pd_3(Pb,As,Sn,Sb)$	+						
"	$Pd_{13}(Pb,Ag)_6(Te,Se)_3$		+					
"	$(Pd,Pt)_{11}(Cu,Pb)_4(Te,As)_2S_5$		+					
"	$(Pd,Pt)_{15}(Pb,Cu)_5(Te,As)_2S_7$		+					
"	$Pd_{10}Ag_2(Pb,Te)_3(Te,Se)_2$		+					
"	$(Pd,Pt)_3Se_2$							+
"	Pd_2Ge			+				

*С – сульфидный, М – малосульфидный, Х – хромитовый, Т – титаномагнетитовый, Н – нефелиновый, А – апатит-магнетитовый, У – углеродистый.

или в рудах всех типов. В целом можно сделать сугубо ориентировочный вывод, что в рудах углеродистого типа преобладают самородные минералы, в хромитовом и титаномагнетитовом типах – сульфиды, в малосульфидном – висмутотеллуриды, теллуриды и теллуrowвисмутиды, в апатит-магнетитовом и нефелиновом – станинды, арсениды, арсенотеллуриды МПГ, в гематит-магнетитовом – палладистое золото, в сульфидном – интерметаллические соединения, сплавы и сульфиды МПГ. Размеры зерен: сперрилита – до 12 см, сплавов и твердых растворов (Pd,Pt)–(Sn,Bi) – до 10 мм, остальных минералов – 0,1-30 мкм.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЛАТИНОНОСНОСТИ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ КРУПНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

Ранее авторами в своих работах [19, 44, 62-65, 70 и др.] основное внимание уделялось перспективам платиноносности конкретных объектов различных типов или последних в целом. Однако в связи со структурой геологической службы страны, привязанной к субъектам Федерации, а в последнее время даже к более крупной категории – семи федеральным округам, необходима оценка перспектив платиноносности крупных регионов нашей страны и соответственно рассмотрение металлогении платиноидов в их пределах. Поскольку, по мнению авторов, эти регионы не должны быть только географическими категориями, они привязаны к металлогеническим таксонам (рис. 11).

ПЛАТИНОМЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РОССИИ

Исследование закономерностей размещения выделенных платиноносных структурно-формационных комплексов (СФК) дало возможность выявить платинометаллогенические пояса – достаточно крупные геоблоки литосферы, характеризующиеся совмещением разновозрастных и зачастую разнотипных платиноносных рудно-магматических (РМС) и рудно-метасоматических (РММС) систем. Выделены Воточно-Европейский, Уральский, Алдано-Североземельский, Дальневосточный, Арктический, Амуро-Алтайский и Среднеазиатско-Китайский пояса (см. рис. 11), приуроченные к энсиалическим, внутриконтинентальным интракратонным рифтам, зонам Заварицкого-Беньофа и т.д. Из рис. 11 следует, что пояса

образуют своеобразную платинометаллогеническую решетку, к пересечениям которой приурочены максимально промышленно значимые провинции, области и даже крупные и уникальные месторождения. В узлах пересечения Арктического с Восточно-Европейским, Алдано-Североземельским и Дальневосточным поясами картируются соответственно Карело-Кольская, Таймыро-Норильская и Чукотско-Ануйская провинции.

Названные пояса, как было показано ранее [44], связаны с определенными типами земной коры, характеризуются продолжительной и сложной эволюцией в геологическом развитии нашей планеты и являются, как правило, составными частями планетарных металлогенических поясов. Так, Восточно-Европейский и Дальневосточный – отдельные ветви соответственно Европейского и Тихоокеанского металлогенических поясов. Амуро-Алтайский и Среднеазиатско-Китайский переходят восточнее в Средиземноморский металлогенический пояс. Алдано-Североземельский – составная часть уникального золото-алмазочно-платиноносного Алдано-Гренландского пояса. Представления Л.Н.Овчинникова (1991) о наличии глобального кольца рифтогенных структур вдоль Урало-Африканской аномалии пониженной плотности мантии позволили нам высказать предположение о существовании Урало-Бушвельдского планетарного пояса протяженностью не менее 20 тыс. км и продолжительностью платиноидного рудообразования около 3 млрд лет. Авторы отдают себе отчет в определенной умозрительности регионально-планетарных построений, особенно учитывая мобилистские воззрения ряда ученых и авторов в том числе, и считают, что высказанные предположения о планетарности (по имени графической, а не смысловой, так как в последнем всякие сомнения отсутствуют) процессов платиноидного рудообразования нуждаются в серьезной проверке.

Важнейшая особенность и платиноносных поясов, и платиноносных провинций – их полихронность и полиформационность. Типичными примерами таких провинций являются Кольская (Восточно-Европейский пояс), Таймыро-Норильская (Алдано-Североземельский и Арктический пояса) и Байкальская (Алдано-Североземельский пояс). Для первой провинции характерна продолжительность платиноидного рудообразования более 2 млрд лет. Вот примерный перечень платиноносных (формаций) от древних к молодым для Кольской провинции: раннесархейская нуклеократонная ловноозерская сульфидная платиноидно-медно-никелевая перидотит-пироксенит-габбро-норитовая → позднесархейская протогеосинклинальная алларченская сульфидная платиноидно-медно-никелевая дунит-гарцбургитовая (железистая) → раннепротерозойские формации континентального рифтогенеза: мончегорская сульфидная платиноидно-медно-никелевая норит-ортопироксенит-перидотитовая, федорово-панская малосульфидная платинометалльная перидотит-пироксенит-габбро-норитовая и имандровская (сопчезерская) платиноидно-хромитовая и платиноидно-ванадиево-титаномагнетитовая норит-габбро-норит-габбро-диоритовая → раннепротерозойская реактивированного рифтогенеза печенгская сульфидная платиноидно-медно-никелевая габбро-верлитовая → палеозойская рифтогенная ковдорская платиноидно-редкометалльно-апатит-магнетитовая ийолит-карбонатитовая.

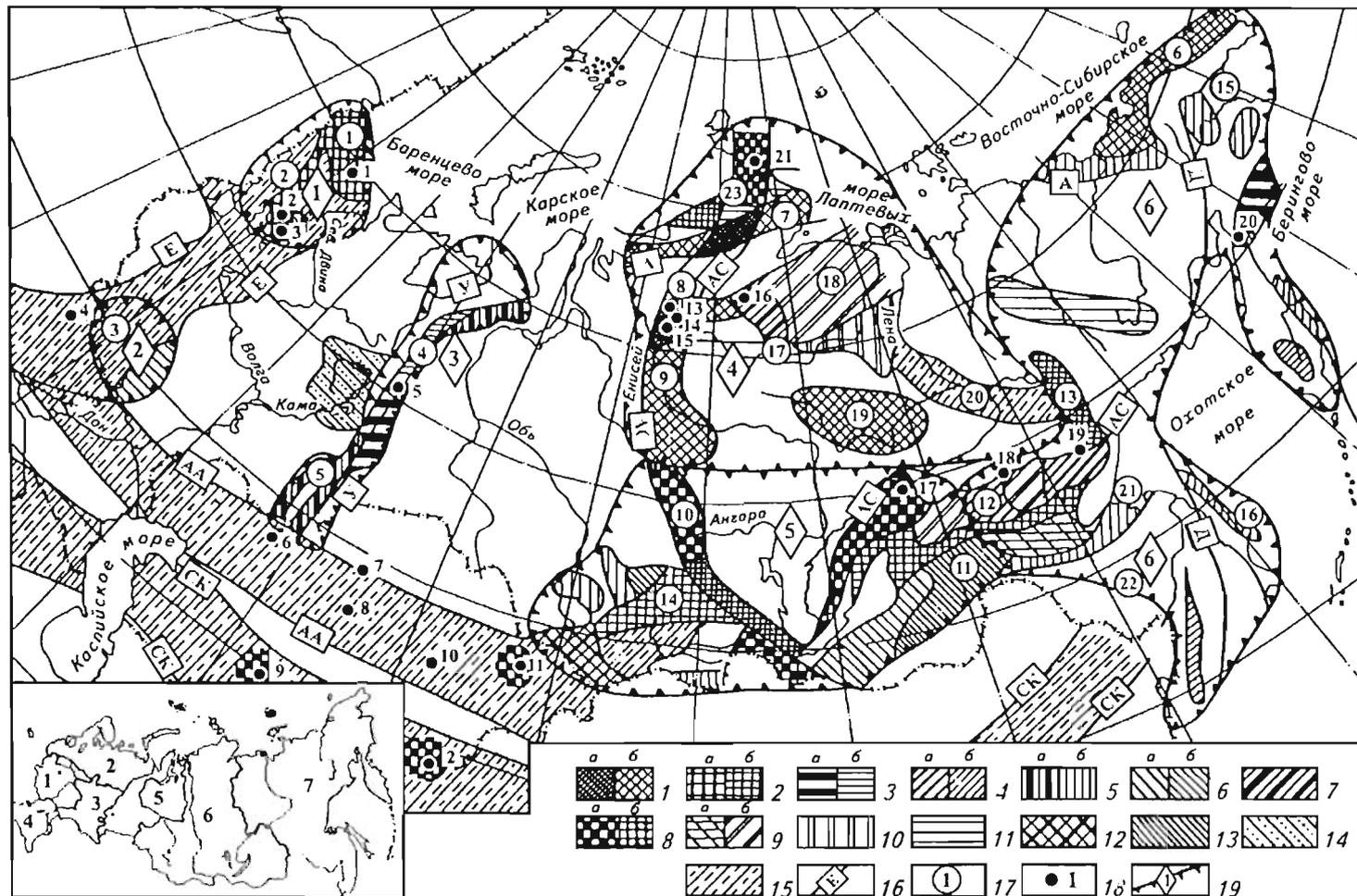


Рис. 11. Схема прогнозно-платинометаллогенического районирования территории России

1-15 – рудно-формационные типы платиноносных провинций и областей (а – установленные, б – предполагаемые): 1 – норильско-талнахский, верхнеталнахский, неконглодонский, норильские россыпной и техногенный, талнахский техногенный, на Чукотке – наталкинский, 2 – федорово-панский, бураковский, пудожгорский, печенгорский, мончегорский и др., 3 – уральские коренной, россыпной и техногенный, а также корякский россыпной, 4 – алданские коренной и россыпной, 5 – кемпирсайско-рай-изский, 6 – еланский, мамонский, 7 – маймеча-котуйский и ковдорский, а также гулинский россыпной, 8 – сухоложский, мурунтауский, западно-калбинский, 9 – россыпной, связанный с древними толщами, 10 – южно-китайский (куонамский), 11 – таймырский, 12, 13 – куру-тегерекский, рудно-алтайский, сорские коренной и техногенный, 14 – верхнекамский, 15 – смешанные (тимской, онежский, южно-китайский, стиллутерский и др.); 16 – платиноносные пояса: Е – Восточно-Европейский, У – Уральский (отрезок Урало-Бушвельдского планетарного пояса), АС – Алдано-Североземельский (часть Алдано-Гренландского), Д – Дальневосточный (Тихоокеанский), А – Арктический, АА – Амуро-Алтайский, СК – Среднеазиатско-Китайский; 17 – платиноносные провинции (цифры в кружках): 1 – Кольская, 2 – Карельская, 3 – Воронежская, 4, 5 – Восточно- (4) и Западно-Уральские (5), 6 – Чукотско-Ануйская, 7 – Таймырская, 8 – Таймыро-Норильская, 9 – Курейско-Тунгусская, 10 – Енисейского кряжа, 11 – Байкальская, 12 – Алдано-Становая, 13 – Сетте-Дабанская, 14 – Алтае-Саянская, 15 – Корякско-Камчатская, 16 – Сахалинская, 17 – Маймеча-Котуйская, 18 – Енисейско-Оленекская, 19 – Виллюйская, 20 – Куонамская, 21 – Монголо-Охотская, 22 – Амуро-Приморская, 23 – Таймыро-Североземельская; 18 – платиноидные месторождения: 1 – Федорово-Панское, 2 – Падминское, 3 – Бураковское, 4 – Среднеднепровское, 5 – Денежкин Камень, 6 – Кемпирсай, 7 – Джаркангач, 8 – Жезказган, 9 – Мурунтау, 10 – Бошакуль, 11 – Западной Калбы, 12 – Кумтор, 13 – Талнахское, 14 – Верхнеталнахское, 15 – Норильское техногенное, 16 – Гулинское, 17 – Сухой Лог, 18 – Инагли, 19 – Кондер, 20 – Левтыринываам, 21 – Голышевское; 19 – платиноносные регионы, рассматриваемые в монографии (цифры в ромбах): 1 – Карело-Кольский, 2 – Курско-Воронежский, 3 – Уральский, 4 – Северо-Сибирский, 5 – Южно-Сибирский, 6 – Дальневосточный. На врезке – федеральные округа: 1 – Центральный, 2 – Северо-Западный, 3 – Приволжский, 4 – Северо-Кавказский, 5 – Уральский, 6 – Сибирский, 7 – Дальневосточный

Набор платиноидных формаций Таймыро-Норильской провинции представляется в следующем виде: норильско-талнахская сульфидная платиноидно-медно-никелевая трапповая (пикрит-габбро-долеритовая) → верхнеталнахская магносульфидная платинометалловая такситовых лейкокотаббро с шестью субформациями → неконглодонская и дюмталейская магносульфидная платинометалловая и платиносодержащая вапаллий-титаномагнетитовая троктолит-фррогаббро-долерит-сиснит-диоритовая → норильские платинометалловая россыпная и техногенная → талнахская техногенная.

Платиноидное рудообразование в пределах Байкальской провинции происходило на протяжении не менее 3 млрд лет. Перспективы этой провинции определяются наличием исключительно разнообразных платиносодержащих объектов, в том числе [62, 63] не менее шести разновозрастных платиноносных черносланцевых уровней:

- 1) раннепротерозойский удоканский – шунгитсодержащие графитовые породы (паладисво-придид-платиновые проявления Холбодохское, Графитовое, Урага-Холбодохского рудного узла);
- 2) предрифейский предлурпольский – остаточная кора выветривания;
- 3) раннерифейский пурпольский – углеродистые песчаники и гравелиты;
- 4) среднерифейский бугарихтинский – углеродистые сланцы псрикратонного комплекса;

5) средне-верхнерифейский хомолхинский;

6) позднпалеозойский суходожский – различные углеродистые образования (иридий-платиновые – Аномальное, Куэстовое, Кульбарукунское, Анно-Николаевское и другие и комплексные платиносодержащие золоторудные месторождения и рудопроявления – Суходожское, Высочайшее, Вернинско-Невское, Ходоканское и другие Бодайбинского, Сеньского и Бульбухтинского рудных районов и узлов).

Второй-шестой уровни – типичные черносланцевые, “типа несогласия” и кор выветривания. Устанавливаются также перспективные золото-платиноидно-медные (удоканский тип, Удоканское месторождение), платиноидно-медно-титановые (Чинейский массив, сульфидные экзоконтактовые “медистые руды” содержат до 100 г/т МПГ), сульфидные платиноидно-медно-никелевые и малосульфидные платинометалльные (Йоко-Довырнское, Средне-Мамское, Чинейское и др.), платиноидно-медно-колчеданно-полиметаллические (рудно-алтайский тип, Прибайкальский и Березовский рудные районы) месторождения и рудопроявления и платиноносные золотых россыпей в Муйском районе.

Важнейшей металлогенической особенностью поясов и многих провинций является вхождение в них различной степени платиноносных углеродсодержащих комплексов. Их расположение, а также приуроченность к ним в различной степени потенциально промышленно значимых объектов определяют, как правило [9, 10, 19, 28, 39, 44, 62-66, 70, 84, 90, 91, 98, 100, 109]:

шельфы пассивных окраин палеоконтинентов и окраинно-континентальные морские палеобассейны “западно-тихоокеанского типа”;

офиолитовые пояса и дискордантные складчато-глыбовые структуры, зачастую совпадающие на докембрийских щитах с зеленокаменными поясами, их полицикличность, многостадийность, широкое развитие вулканоплутонических ассоциаций;

зоны интенсивного проявления складчатости, взбросово-надвиговых нарушений, межформационных несогласий и объемного катаклаза;

низкоградиентный тип метаморфизма;

повышенные количества в самих толщах сульфидов и сульфоарсенидов, а также Au, Ag, Cu, Ni, Co, Zn, Pb, As, Sb, Se, Te, U, V, P и некоторых других элементов.

Платиновые металлы в рудах концентрируются в серицит-графитовой массе, в битумоидах, во включениях в сульфидах, теллуридах, оксидах, а также в виде самостоятельных минералов нано-, микро- и макроминеральной размерности (менее 0,1-160 мкм). Тяготение углеродсодержащих комплексов к различным геодинамическим обстановкам, проявленным в конкретные отрезки геологической истории нашей планеты в ее развитии, различия металлогенической специализации дают нам основание выделить воронежский, карельский, виватерсрандский, курский, онежский, тимской, саскачеванский, суходожский, таймырский, южно-китайский, полярно-уральский, ханкайский, любинский, наталкинский, центрально-кавказский типы платиносодержащих руд. Кроме того, намечается прямая или опосредованная связь многих уникальных платиноидных месторождений (Бушвельд, Норильск, Талнахское, Октябрьское и др.) с углеродсодержащими комплексами.

Воронежский тип – высокоуглеродистые графитизированные плагногнейсы обоянковой серии, содержащие 1,3-7,5 г/т Au и до 5,9 г/т Pt, распространенные в раннеархейских нуклеократонах Воронежского кристаллического массива (ВКМ).

В карельский тип могут быть включены железо-магний-хромовые фукситовые сланцы (средняя часть РММС) Хаутаваарской структуры [62, 63], в которых вблизи тел серпентинитов содержится до 3,4 г/т МПГ при отношении Pd к Pt, равном 0,31. К этому же типу, по-видимому, относятся платиноносные углеродсодержащие комплексы и других крупных регионов – Канадского, Австралийского цитов, ВКМ.

Витватерсрандский тип – осмий-иридий-золотоносные конгломераты, залегающие в углеродсодержащих комплексах мезопротозоя (2600-2450 млн лет). А.Д.Щеглов [104] доказал обломочный и гипергенный характер OsIr. Платиной обрастает и пирит, и раннее россыпное золото. В качестве источника предполагаются [104] тела серпентинитов – составные части архейских вулканогенных поясов – реликтов протоокеанических рифтовых структур Земли. К этому же типу авторами относятся платиноносные (МПГ до 5,1 г/т) конгломераты курской железорудной серии (2600-2300 млн лет) и некоторые другие образования страны.

Чрезвычайно распространены платиноносные углеродсодержащие комплексы в ранне- и среднепротерозойское время: онежский с двумя подтипами (онежский U-V-Mo-МПГ и уницкий Au-МПГ), тимской (МПГ-Au), саскачеванский (U-Au-МПГ) и сухоложский (МПГ-Au) типы [19].

Определяющая черта, обуславливающая особенности платиноидной металлогении многих провинций с углеродсодержащими комплексами – присутствие в разрезе серии (до 200 и более) слоев сульфидизированных, метасоматизированных черных сланцев, пронизанных интрузиями и дайками плагногранитового и другого состава. В платиноносных провинциях краевых структур Сибирской платформы авторами намечены шесть разновозрастных продуктивных горизонтов углеродсодержащих формаций:

ранних байкалит (сибирит или карелид), включающих графитсодержащие терригенно-карбонатные и вулканогенные образования (хан-арульская и муйская серии), метаморфизованные в амфиболитовой фации (графит, силлиманит, рутил, железо, золото, уран, молибден, возможно медь);

поздних байкалит (по рифей включительно) с распространением черносланцевых толщ (золото, медь, платиноиды, полиметаллы);

ранних каледонид с вендскими–кембрийскими вулканогенными породами спилито-диабазо-кварц-кратофировой, кремнисто-сланцевой и кремнисто-карбонатной формаций, содержащими пачки сульфидизированных черных графитистых и шунгитовых сланцев с платинометалльно-золотым и другими типами оруднения;

поздних каледонид с флишоидными и молассоидными формациями, “нашпигованными” пачками графитисто-глинистых сланцев позднекембрийско-ордовикского возраста (полиметаллы, золото, медь, платиноиды и т. д.);

орогенного типа каледонид графитисто-кремнисто-глинистых формаций силура–раннего девона;

верхоянских мезозонд, представленных терригенными слабоуглеродистыми толщами.

Из составленной “Карты платиноносности России” очевидна общая прогнозная оценка платинометаллогенической специализации территории страны и ее отдельных регионов [64].

Убывание перспектив в промышленной платиноносности даст основание выделенные пояса расположить в ряд: Алдано-Североземельский и Арктический → Восточно-Европейский и Дальневосточный → Уральский → Амуру-Алтайский. Из рис. 11 очевидны ведущие платиноносные формации и комплексы, а также главные рудно-формационные и металлогенические типы платиноносных провинций и областей.

Платинометаллогеническое районирование территории нашей страны сделало возможным определить:

достаточно значительное развитие эндогенных, россыпных и (в меньшей мере) техногенных платинометалльных и платиносодержащих объектов, тяготеющих к определенным магмо- и рудоконтролирующим структурам – платиноносным поясам;

насыщенность поясов платиносодержащими проявлениями, позволившую очертить платиноносные провинции, области и рудные районы.

На “Карте платиноносности России” [19, 64] околтурены особо перспективные, перспективные с учётом дополнительных условий и отдаленно-перспективные платиноносные провинции и области, а также конкретные объекты. К наиболее перспективным провинциям относятся: Таймыро-Норильская, Кольская, Байкальская, Алдано-Становая, Карельская, Воронежская, Коряжско-Камчатская и Восточно-Уральская, к областям – Кетско-Норильская, Центрально-Таймырская, Байкало-Патомская, Восточно-Алданская, Центрально-Карельская, Лапландско-Кольская, Курско-Воронежская, Ватынская, Сыум-Кеу-Войкаро-Сыльинская, Маймеч-Котуйская и ряд других, к зонам – Норильско-Хараслахская, Сывермино-Аянская, Сухоложская, Удоканская, Падминская, Бураковская, Панско-Федоровско-Мончегорская, Вывенская. Наиболее перспективными являются объекты нетрадиционных типов, приуроченные к массивам трапповой (верхнесталнахский и пудожгорский типы), перидотит-пироксенит-габбро-норит-анортозитовой (федорово-панский (стиллоутерский), бураковский, саранский типы), углеродсодержащей (онежский, сухоложский, тимской и другие типы) формаций, хвостохранилища и другие промпродукты ряда месторождений (норильский, уральский, сибирско-дальневосточный и другие типы), платиновые россыпи Корякии, богато-вкрапленные платиносодержащие руды норильских месторождений. Безусловно, следует подчеркнуть, что по-прежнему наиболее значимыми платиноидными месторождениями страны являются Талнахское и Октябрьское с залежами богатых руд. Открытие новых залежей в их пределах, открытие новых подобных место-

рождений является важнейшей проблемой, во многом определяющей национальную (ее сырьевую составляющую) безопасность страны.

ПЛАТИНОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РОССИИ

Выполненное прогнозно-платинометаллогеническое районирование территории страны дает основание выделить крупные регионы России, требующие оценки перспектив эндогенной, россыпной и техногенной платиноносности. Таких регионов всего намечается шесть: Карело-Кольский, Курско-Воронежский, Уральский, Северо-Сибирский, Южно-Сибирский и Дальневосточный (рис. 12). Первый расположен в пределах Северо-Западного, второй – Центрального, третий – Уральского, четвертый и пятый – Сибирского и Дальневосточного, а шестой – Дальневосточного федеральных округов. Оценка перспектив платиноносности намеченных регионов будет соответствовать ее перспективам в федеральных округах, что чрезвычайно важно для национальной безопасности страны.

Карело-Кольский регион

Карело-Кольский регион охватывает восточную часть докембрийского Балтийского щита. Основной рудоконтролирующей структурой Балтийского щита служит Кольско-Карельский или Восточно-Балтийский мегараскол (рифтовый пояс) [64], а главными рудовмещающими структурами являются самые крупные в регионе проторифтогенные впадины типа Онежской и крупнейшие в Евразии расслоенные мафит-ультрамафитовые плутоны и интрузивы. Балтийский щит характеризуется интенсивным и масштабным проявлением ультрамафит-мафитовых и щелочных (нефелин-сиенитовых, щелочно-ультрамафитовых – ийолит-карбонатитовых и щелочно-кислых) глубинных магматитов, различающихся по времени образования и формационной принадлежности [48].

Карело-Кольский регион располагается на пересечении Арктического субширотного и Восточно-Европейского субмеридионального металлогенических поясов, занимая северо-восточную часть последнего (см. рис. 11) и по геологическим, географическим и металлогеническим критериям делится на две платинометалльные провинции: Кольскую и Карельскую (рис. 12).

В регионе выделяются три металлогенические зоны (рис. 13): Печенга-Имандро-Варзугская на Кольском п-ове и Северо- и Южно-Карельские. В состав Печенга-Имандро-Варзугской платино-металлогенической зоны входят Федорово-Панско-Цагинский (в северном борту Имандро-Варзугской рифтогенной структуры, в центральной части зоны), Имандровский (на южном фланге Имандро-Варзугской структуры), Мончегорский (на западном замыкании зоны) и Печенгский (в северо-западной ее части) рудные районы – районные РМС.

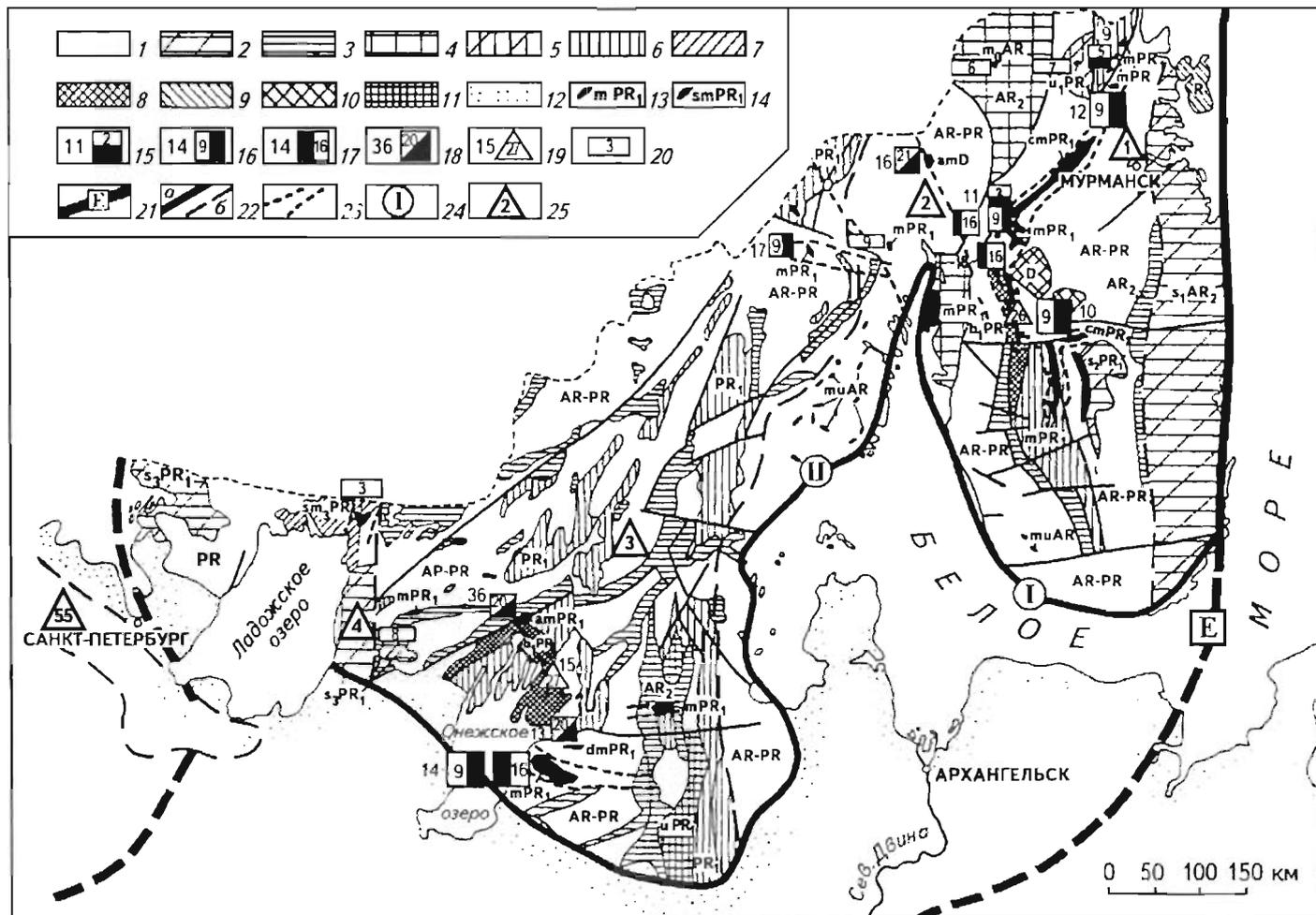


Рис. 12. Платинометаллогеническая карта северо-западной части России (Карело-Кольский регион; фрагмент «Карты платиноносности России»)

1-12 – типы структурно-формационных комплексов: 1 – нерасчлененных метаморфитов, 2 – гранитоидов (мигматит-гранитов (s_1), гранитов щелочных (s_2) и рапакиви (s_3)), 3 – зеленокаменных и гранит-зеленокаменных поясов, 4 – гранулитовых поясов и блоков, 5 – амфиболит-гранитогнейсовых куполов и выступов, 6 – интрузивно-вулканогенных прогибов, 7 – метасадочных прогибов, 8 – докембрийских щитов и массивов с платиноносными высокоуглеродистыми сланцами и их метасоматитами (тимской и онежский типы), 9 – черносланцево-карбонатно-терригенных прогибов (сухоложский тип?), 10 – агпантовых нефелиновых сиенитов, 11 – интрузивно-вулканогенных прогибов с широким развитием ультрамафитовых массивов, 12 – чехла Русской платформы; 13-14 – платиноносные интрузивные формации: 13 – перidotит-пироксенит-габбро-анортозит-норитовая, 14 – ортопироксенит-норит-диоритовая; 15-20 – платиноносные рудные формации, месторождения установленные и прогнозируемые: 15 – МПП-Cu-Ni, 16 – малосульфидная платинометаллическая, 17 – платиноносодержащая хромитовая, 18 – платиноносодержащая титаномагнетитовая, 19 – платиноносодержащая полиметаллическая (черные сланцы и их метасоматиты), 20 – платинопроявления (номера в знаках соответствуют пронумерованным типам месторождений и проявлений в табл. 15; около знаков – платиноидные месторождения: 9 – Печенгское, 10 – Федорово-Панское, 11 – Мончегорское, 12 – Лоустари, 13 – Пудожгорское, 14 – Бураковские, 15 – Онежские, 16 – Ковдорское, 17 – Луккулайсваара, 18 – Имандровское, 36 – Святонаволоцкое); 21 – Восточно-Европейский платиноносный пояс; 22 – границы платиноносных и потенциально платиноносных провинций (а) и областей (б); 23 – зоны, контролирующие размещение платиноносных интрузий; 24 – платиноносные и потенциально платиноносные металлогенические провинции: I – Кольская, II – Карельская; 25 – платиноносные и потенциально платиноносные металлогенические области: 1 – Лапландско-Кольская; 2 – Беломорская; 3 – Центральное-Кольская; 4 – Ладожская; 5 – Прибалтийская

Имандро-Варзугская структура

Была сформирована в результате коллизионного сжатия в конце раннего протерозоя в виде надвиго-подвиговой моноклинали, погужавшейся в южном направлении. Максимальную ширину (до 50 км) она имеет на участке развития Федорово-Панско-Цагинской РМС. По периферии (бортам) образованной впадины структура ограничена крупными разломами северо-западного простирания с различным характером и амплитудой перемещения; аналогичный разлом установлен в ее осевой части (Умбаарченско-Вильмуайвинский), который разделяет структуру на северную моноклиналную и южную сложнопластичную структурно-тектонические зоны, которые различаются также разрезами и степенью метаморфизма, существенно увеличивающейся в южных частях. Здесь развиты также крупные поперечные и диагональные разломы: Мунозрско-Цагинский, Стрельнинский, Пурначский, которые контролируют размещение и мощность выполняющих впадин осадочно-вулканогенных толщ.

На всем своем протяжении Имандро-Варзугская рифтогенная структура контролируется коровой проводящей аномалией со значением $S > 1000$ Ом в центральной и 100 Ом – в краевой частях, крупные региональные разломы отражаются сериями сближенных четкособразных, параллельных протяженных аномалий проводимости по методам НДК, ВМП, ЕЭМП, аэродИП. Региональным разломам субширотного простирания соответствуют протяженные положительно знакоперемешные зоны аномалий $dT(dZ)$; субмеридиональные и север-северо-восточные разломы фиксируются преимущественно поллосовы-

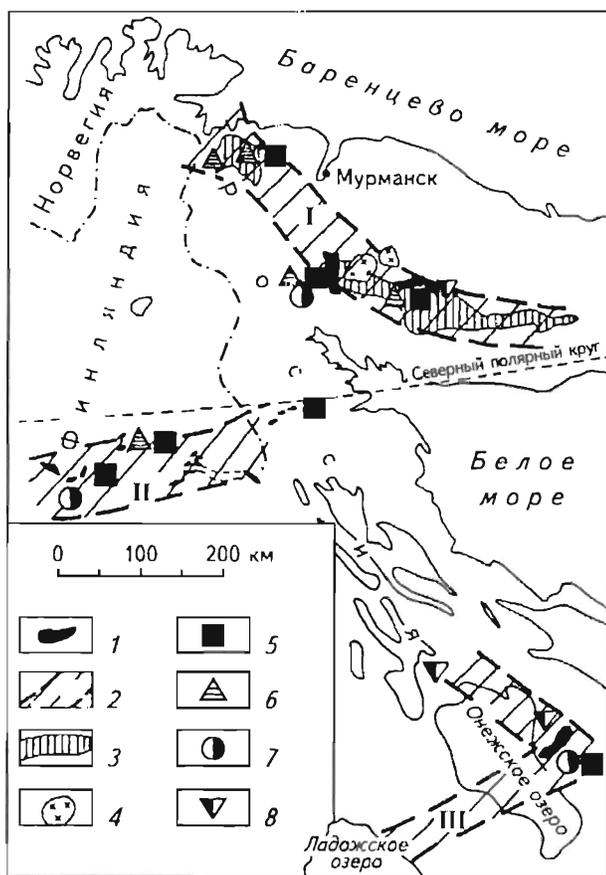


Рис. 13. Металлогенические зоны Карело-Кольского региона

1 – отдельные массивы перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации; 2 – металлогенические зоны: I – Печенго-Имандро-Варзугская, II – Северо-Карельская, III – Южно-Карельская; 3 – западная и восточная части Печенго-Имандро-Варзугской зоны; 4 – палеозойские потенциально-платиноносные щелочные массивы; 5-8 – платиноидные месторождения и рудопроявления: 5 – малосульфидные платинометалльные, 6 – сульфидные платиноидно-медно-никелевые, 7 – платиносодержащие хромитовые, 8 – платиносодержащие ванадий-титаномангнетитовые

ми зонами отрицательного поля, осложненного мозаичными положительными аномалиями $dT(dZ)$. В сейсмических полях по профилям МОГТ наблюдается неоднородный по акустическим параметрам состав верхнего слоя земной коры до глубины 6-7 км. Причем характер гетерогенности изменяется в широких пределах: от диффузного с мелкомасштабными включениями до крупнослоисто-блокового типа. Отмечается резкое структурное несогласие протерозойских вулканогенно-осадочных пород (северное крыло) с вмещающей архейской рамой. Региональные глубинные разломы в поле упругих волн выделяются по зонам потери корреляции отражений, а также – по системам эшелонированных крутозалгающих отражающих границ.

В состав Федорово-Панско-Цагинской РМС входят Федорово-Панский ультрамафит-мафитовый, Цагинский габбро-анортозитовый и Нижнецагинский массивы. Последний дифференцирован от умеренно-щелочных (субщелочных) габброидов до сиенитов и кислых дериватов.

Федорово-Панский лополитообразный расслоенный массив картируется по моноклиналино залгающим фрагментам. Падающий на юго-запад ($25-45^\circ$) интрузив прорывает на северном фланге породы гранитогнейсового фундамента, оказы-

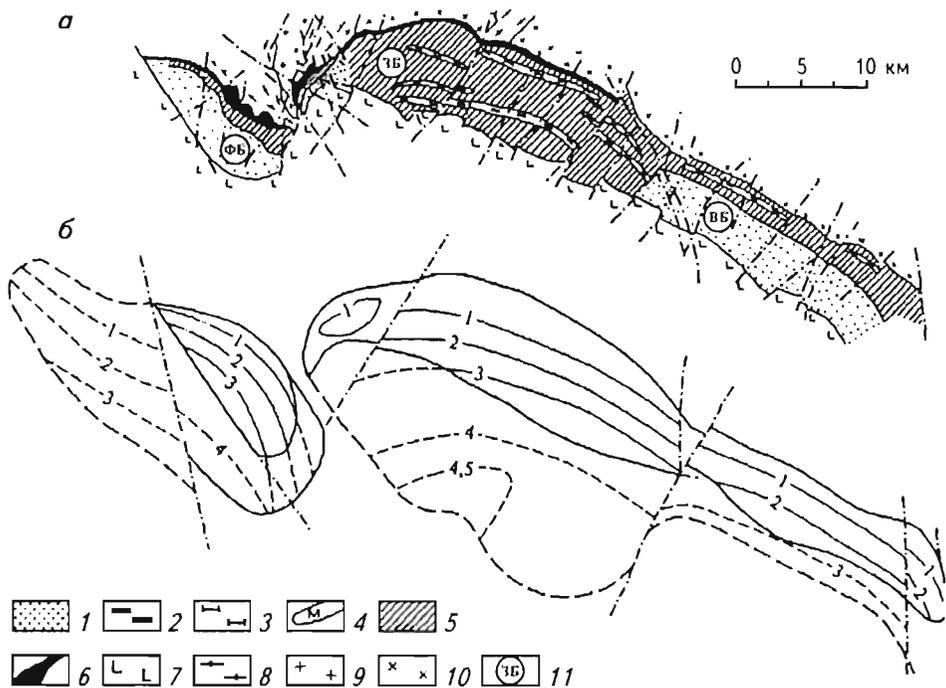


Рис. 14. Геолого-структурная (а) и структурно-геофизическая (б) схемы Федорово-Панского платиноносного массива (по Ю.Н.Седых, Ф.И.Свяженинову, В.М.Ступаку)

1 – габбро; 2, 3 – рифовые платиноносные пачки: 2 – верхняя, 3 – нижняя; 4 – магнетитсодержащие слои; 5 – габбро-нориты; 6 – нориты; 7 – базальтоиды; 8 – гранитоиды; 9 – гранитоиды; 10 – граниты; 11 – блоки массива: ФБ – Федоровотундровский, ЗБ – Западно-Панский, ВБ – Восточно-Панский. На схеме б показаны изоглубины залегания массива (в км) по геофизическим данным

вая на них термальное воздействие, и по тектоническому контакту соприкасается с породами стрельнинской свиты на своем южном замыкании. Он прослеживается в юго-восточном направлении на расстоянии 80 км при максимальной ширине выхода на поверхность в центральной части до 7,5 км. Субмеридиональной Мунозерско-Цагинской системой взбросо-сдвиговых дислокаций (участок Ластьявр) Федорово-Панский интрузив расчленяется на два крупных массива: Федоровотундровский протяженностью 13 км и площадью 25 км² и Панский, образованный Западно- и Восточно-Панскими блоками общей протяженностью 67 км и площадью 270 км² (рис. 14).

Интрузив и его блоки отражаются гравитационной аномалией типа ступени, обусловленной морфологией и условиями залегания массива, а также влиянием перекрывающих его вулканитов. В магнитном поле он четко выделяется аномалией интенсивностью до 8 тыс. нТл, при этом его северо-восточные контакты находятся в области отрицательных полей (так называемый экраный минимум), что указывает на их относительно пологое залегание. В крайней восточной части рисунок гравимагнитного поля соответствует колесообразному изменению гнесс-

рального простираения на юго-юго-восточное и возможно приобретение последним дайкообразной формы. По данным глубинной электроразведки (ЛОЭЗ) интрузив характеризуется значениями сопротивления ρ_k до 15-30 тыс. Ом · м, причем тектонические контакты и зоны дробления выделяются по значениям ρ_k менее 3-5 тыс. Ом · м. Интрузиву отвечает упорядоченное сейсмическое поле; выделяется ряд структурированных границ в связи с внутренней расслоенностью [96].

Выполненный Ю.Н.Ссдых, В.М.Ступаком и др. [96] совместный анализ результатов гравиметрической и магнитной съемок, данных сейсморазведки даст основание предполагать, что ширина как Федоровотундровского, так и Панского массивов значительно больше, чем на видимом эрозийном срезе и составляет, соответственно, для первого из них 9-11 км и для второго – 14-16 км. Кроме того, вероятно, существует сброшенная (по сбросу север-северо-западного простираения к западу от г.М.Ихтегипакк) и погруженная часть массива Федоровой тундры площадью 8-9 км². Мощность Федоровотундровского массива составляет около 3-3,5 км, а массива Панских тундр – 4-4,5 км.

В разрезе интрузива устанавливается красная габбро-норитовая зона и ряд мегаритмов. В подошве последних вскрыты ультрамафиты или меланократовые оливинсодержащие мафиты, выше они сменяются мезо- и лейкократовыми мафитами – норитами, габбро-норитами и габбро; мафиты резко преобладают над ультрамафитами. Эта грубая расслоенность усложняется тонкой – чередованием маломощных (первые сантиметры – первые метры) слоев норитов, оливковых норитов, лейкогаббро, анортозитов.

Петрографические разрезы и характер расслоенности массивов различаются. В разрезе Федоровотундровского массива выделяются красная, норитовая с плагио-пироксенитами, габбро-норитовая и габбровая зоны. Разрез Западно-Панского массива практически полностью сложен габбро-норитами с верхним и нижним расслоенными горизонтами (рифовыми пачками), с которыми связаны ведущие платиноносные уровни, и маломощными слоями анортозитов и магнетитсодержащих габбро; в разрезе восточного блока Панского массива устанавливаются крупная зона габбро (75% объема) и зона габбро-норитов с тонкорасслоенным горизонтом в нижней части.

Минеральный и химический составы пород Федорово-Панского интрузива определяются наличием оливина, орто- и клинопироксена, плагиоклаза, кварца; второстепенные минералы представлены биотитом, флогопитом, апатитом; из рудных преобладают сульфиды, титаномagnetит, ильменит; наиболее характерными аксессуориями являются платиновые минералы. Существенными особенностями являются умеренно повышенная железистость, нормальная щелочность ($\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$), повышенная глиноземистость (до 20-30% в анортозитах), повышенный геохимический фон хрома, никеля, кобальта, меди, титана.

Выделяется несколько минеральных типов оруденения Федорово-Панской интрузии: сложное по составу халькопирит-пентландит-пирротитовое, миллерит-борнит-халькопиритовое, пирит-пирротитовое и магнетитовое.

Имандровский рудный район, входящий в центральную часть Печенга-Имандро-Варзугской металлогенической зоны и локализованный в южной части Имандро-Варзугской зоны, состоит из серии обособленных общей протяженностью до нескольких десятков километров при мощности около 3 км массивов: гор Ягельной, Девичьей, Сеяваренг, Оспе, Большая Варака, Мончеполуострова, Прихибинского, Умбарченского, р.Черной и др. [57]. Слагающие эти массивы породы образуют сингенетичный ряд от меланократовых норитов и плагиоклазовых пироксенитов в приподошвенной части до габбро-диоритов и гранодиоритов в кровле. Сходство строения, состава пород и типов распределения полезных компонентов дало основание объединить эти отдельные тела в крупнейший в России лополит площадью ~1500 км² [20]. Он прорывает силурийские осадочно-вулканогенные образования, перекрывается кислыми вулканитами сейдорченской свиты и датируется возрастом 2397 ± 5 млн лет. Поздняя жильная фация представлена дайками титанистых долеритов – комагматов, близких по составу базальтов томингской свиты карелид. В разрезе Имандровского лополита устанавливаются следующие зоны [64]:

нижняя краевая зона (мощностью 5-90 м) – таситовые микрогаббро;

нижняя расслоенная зона I (мощностью 100-150 м) – меланократовые габбро-нориты и плагиоклазовые ортопироксениты с маломощными (до 2 м) прослоями хромитоносных габбро-норитов – порфиrowидные мезократовые габбро-нориты;

главная расслоенная зона II (мощностью ~2000 м) – мезократовые габбро-нориты с прослоями оливинсодержащих в нижней и лейкократовых габбро-норитов в верхней частях зоны;

верхняя расслоенная зона III (мощностью ~300 м) – чередование мезо- и лейкократовых габбро и апортозитов с габбро-норитами в подошве;

прикровлевая зона IV (мощностью 150-500 м) – мезократовые кварцевые габбро и габбро-диориты со слоями (в основании и в 100 м выше подошвы зоны) вкрапленных ванадий-титаномагнетитсодержащих руд.

Лополит характеризуется и скрытой расслоенностью. В целом породы Имандровского массива относятся к нормальному петрохимическому типу щелочно-зелемельных образований.

К зоне меланоноритов Имандровского плутона приурочено платиноидно-хромитовое, к габброидам верхней части – платиноидно-ванадий-титаномагнетитовое оруденение.

Положение **Мончегорского рудного района** определяется его приуроченностью к северо-западной краевой части Имандро-Варзугской зоны, к области сочленения субмеридионального сдвигосброса Главного хребта, субширотной Имандро-Варзугской рифтогенной структуры и гранитоидных куполов. Он расположен на участке резкого изгиба Печенга-Имандро-Варзугского рифтогенного пояса и залегает между зеленокаменными вулканогенно-осадочными породами карельского комплекса и подстилающими их кольско-беломорскими гнейсами.

В строении рассматриваемого района устанавливаются три структурных этажа [64]: нижний – нижнесархейский (олигоклазовые гнейсограниты, плагиограниты и диориты), средний – верхнесархейский (биотитовые и амфиболитовые гнейсы с железистыми кварцитами) и верхний – протерозойский (вулканогенно-осадочные породы имандро-варзугской серии). Широким распространением в районе пользуются нижнепротерозойские массивы основных-ультраосновных пород от крупных (Мончегорский, Мончестундровский плутоны) до небольших линз, количество которых, по данным Е.К.Козлова (1973), достигает 240.

В пределах Мончегорского рудного района, по геолого-геофизическим материалам Ю.Н.Седых с соавторами [64], выделяются два разделенных Мончестундровским разломом блока: Северный и Южный (рис. 15). Первый из них, к которому приурочено максимальное число известных сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений и рудопроявлений, выражается региональным минимумом Δg интенсивностью от -12 до -20 мГал шириной 15-20 км и протяженностью от Хибинских (юго-восток) до Волчьих (северо-запад) тундр. С севера блок ограничен Кашкозерской, а с юга – Мончестундровской зонами разломов. Около 80% Южного блока (плотность пород 2,72-2,87 г/см³) перекрывают габброиды Мончестундровского массива. Реконструкция кинематических особенностей Мончегорского рудного района позволила Ю.Н.Седых и др. [64] предположить наличие мощного стресса юго-западного напряжения, обусловившего формирование клавишной структуры в зоне Мончестундровского разлома с вероятными элементами поддвига. В этом случае образованная главными системами разломов объемная треугольная призма со вписанным в нее Мончеплутоном – *Мончегорский рудный узел площадью около 750-900 км² очень напоминает структуру Талнахского рудного узла* (см. рис. 1 и 15). Это скорее всего свидетельствует о существовании принципиально сходных структурно-тектонometаллогенических закономерностей контроля крупных сульфидных платиноидно-медно-никелевых объектов. Последнее в совокупности с детальным анализом внутреннего строения района дало основание авторам [64] сделать чрезвычайно важный вывод о перспективности поисков ультраосновных дериватов с сульфидными платиноидно-медно-никелевыми и хромовыми рудами в зоне Мончесахозерского разлома от массива Островского до Мончеплутона.

Петролого-геохимический облик Мончегорской РМС определяется относительно высокомагнезиальным ($10 < \text{MgO} < 23\%$, при повышенной роли кремнезема – 50-55%) составом главных дифференциатов никеленосного плутона (среднее содержание MgO – 15-20% при колебаниях от 2 до 45%), невысокой (0,2-3%) щелочностью ($\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$), низким против нормы содержанием диоксида титана (0,2-0,6%), повышенным – хрома (0,2-0,5%), преобладанием никеля над медью и кобальтом ($\text{Ni}/\text{Cu} > 2-10$, $\text{Ni}/\text{Co} > 7$). Ассоциированные с норитами, пироксенитами и перидотитами руды месторождений мончегорского типа являются платино-палладий-медно-никелевыми ($\text{Ni}/\text{Cu} = 1 : 1-3 : 1$) халькопирит-пентландит-пирротитовыми (могут присутствовать цинкосодержащие хромшпинелиды, магнетит, титаномагнетит); в них постоянно отмечаются минералы свинца, цинка, титана, висмута, молибдена.

Внемасштабные структурно-кинематические схемы Мончегорского (1) и Талнахского (2) рудных узлов

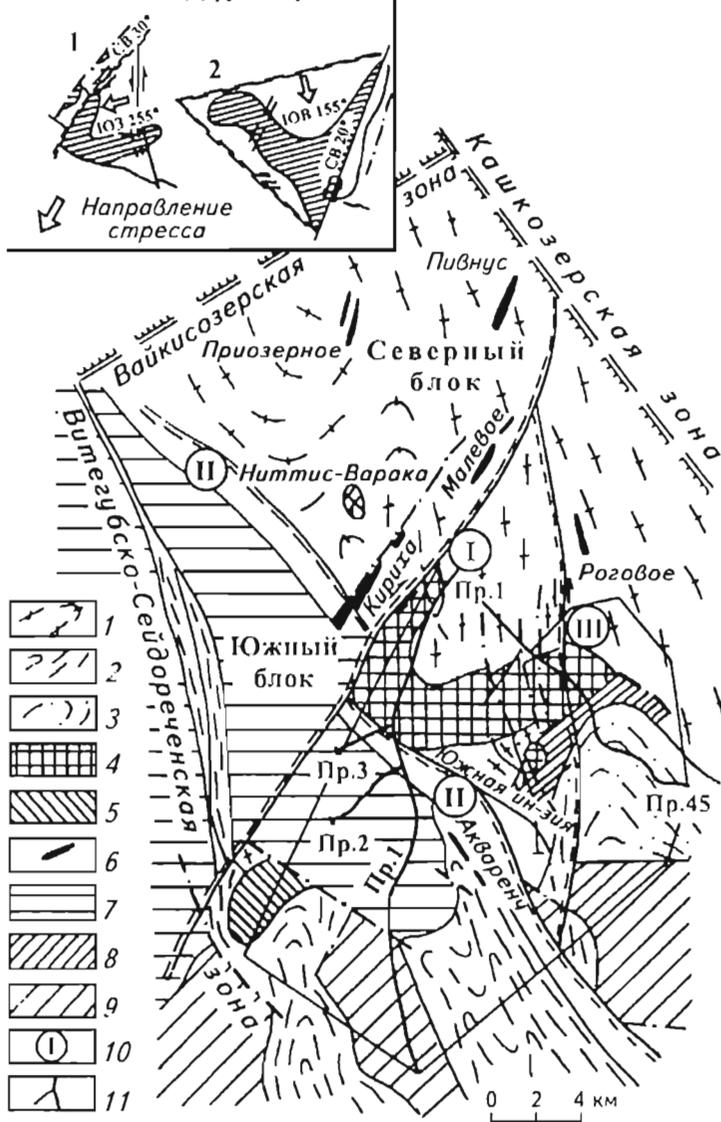


Рис. 15. Основные структурные элементы (по сейсмическим данным)

1-3 – образование главных структурных этажей: 1 – нижнего, 2 – среднего, 3 – верхнего; 4-9 – интрузивные образования: 4 – Мончеплутона, 5 – массива оз. Островское, 6 – мелких массивов основных-ультраосновных пород, 7 – Мончестундровского интрузива габброидов, 8 – габбро-норитов предгорий Вуручайвенч, 9 – мезогаббро-норитов Имандровского лополита; 10 – главные разломы Мончегорского рудного узла: I – Мончегорский, II – Мончестундровский, III – Восточно-Мончегорский; II – линии сейсмических профилей

Печенгский рудный район (Куплетский, 1932; Полканов, 1935, 1936; Ферман, 1941; Котульский, 1948; Полферов, 1966, 1967, 1979; Горбунов, 1968; Горбунов и др., 1981, 1985 и др.), располагающийся в северо-западной части Печенга-Имандро-Варзугской металлогенической зоны, включает в себя Печенгское и Аллареченское рудные поля. Несмотря на многолетние исследования, на глубинное строение, тектонику и историю развития района существуют очень противоречивые представления, а его геологические границы до сих пор точно не определены.

Печенгский район пространственно совпадает с Печенгским грабен-синклинорием. Его размеры составляют 60 × 30 км, ось ориентирована в северо-западном направлении, а приурочен он к северному крылу Беломорской кольцевой структуры центрального типа (контроль 1-го порядка), более поздние данные свидетельствуют о наличии структурного контроля 2-го порядка – локализации синклинория в красной части гранитогнейсового купола Инари, осложненного разломами кольцевого и радиального типов.

Слагается Печенгский синклинорий осадочно-вулканогенными образованиями карельского комплекса, расчленяемыми на четыре серии (ахмалахтинскую, кузьярвинскую, колос-йокскую и пильгуярвинскую), обладающими однотипным разрезом: низы серий сложены осадочными и туфогенными породами, верхи – диабазами, пересланяющимися с туфогенными образованиями. Пильгуярвинская серия разделена на две свиты – ждановскую (“продуктивную”) и свиту матер. В северной и центральной частях Печенгской структуры все горизонты имеют пологое центроклинальное падение в южных направлениях. Максимальная мощность (до 8 км) осадочно-вулканогенных пород устанавливается в центральной части Печенгской структуры близ Порьяташского разлома (“Кольская сверхглубокая”, 1988).

Все породы в различной степени метаморфизованы. Степень метаморфизма вверх по разрезу падает от амфиболитовой до зеленосланцевой фации. Всего в разрезе выделяется четыре горизонта метаосадочных пород, разделенных четырьмя покровами метадиабазов и диабазов. Метаосадочный горизонт между третьим и четвертым покровами диабазов сложен преимущественно филлитами, в которых залегают многочисленные мелкие (мощностью до 300 м) платиносодержащие никеленосные массивы мафит-ультрамафитов габбро-верлитовой формации, образующие Печенгское рудное поле, рассмотренное выше.

Породы Печенгского комплекса четко прослеживаются в виде характерных сейсмических горизонтов южнее скв. СГ-3 на расстояние до 30 км (к югу от Порьяташского разлома), где их нижняя граница фиксируется на глубинах 10-11 км (рис. 16). Этому участку профиля присуще, при общей конформности структур разного уровня глубинности, стабильное выполаживание с глубиной до 5-10° и постепенное утонение нижних толщ разреза. Дизъюнктивы в пределах комплекса представлены как субвертикальными разрывами, так и пологими межслоевыми смещениями. Южное крыло Печенгской структуры, ограниченное крутопадающими разломами, представляет собой сложный тектонизированный участок (Пороярвинская зона смятия), в пределах которого к югу от пикета 11,5 происходит резкое сниже-

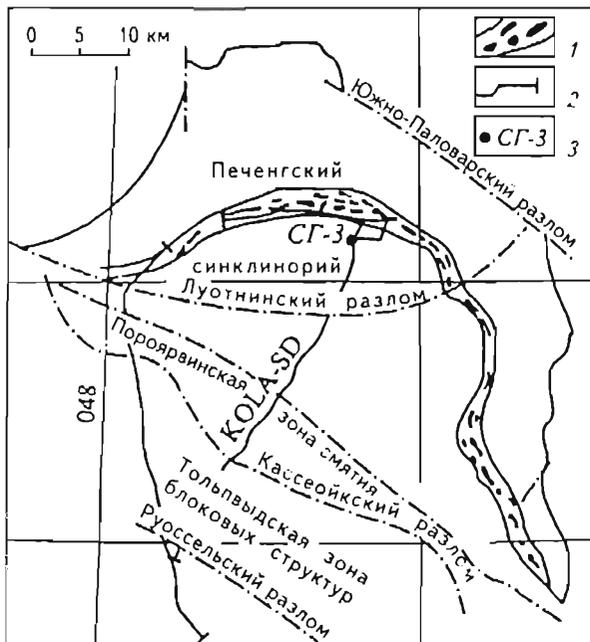


Рис. 16. Схема размещения сейсмических профилей

1 – никеленосные массивы в отложениях продуктивной свиты; 2 – профили невзрывной сейсморазведки методом многократных перекрытий (ММП); 3 – место расположения Кольской сверхглубокой скважины

ние средних скоростей продольных волн (V_p) и, таким образом, фиксируется граница между двумя крупными скоростными блоками, разделенными зоной Касеойкского разлома. Центральная часть Пороярвинской зоны на поверхности сложена амфиболлизированными метапорфиритами и сланцами по ним, что находит свое отражение на трансформированной (локальной) кривой Δg . По данным сейсморазведки для этой части разреза характерно крутое южное падение пород. С севера и юга к зоне примыкают два блока, представленные на поверхности филлитами, туффитами, сланцами с углистым веществом, в пределах которых на большую глубину зафиксированы повышенные поглощения энергии упругих колебаний, связанные, по-видимому, с высокой трещиноватостью пород в зонах регрессивного дислокационного метаморфизма (диафторез), сопровождаемого гидротермальной сульфидной минерализацией. Об этом свидетельствует наличие участков высокой проводимости по данным МТЗ (рис. 17).

Отложения архейского комплекса более дислоцированы, чем вышележащие. Для них характерно проявление целого ряда discordantных отражающих границ, одна из которых подчеркивает крупное куполовидное поднятие под приповерхностными структурами центральной части Пороярвинской зоны смятия. Устанавливается, что Порьиташский и Луотнинский разломы принадлежат единой системе, соединяясь на глубине и образуя структуру типа грабена.

Анализ сейсмических данных, выполненный Ю.Н.Седых и В.М.Ступаком [64] по профилю KOLA-SD, приводит к выводу о наличии в верхней части блока с минимальным поглощением энергии упругих колебаний рудного объекта, скорее всего, серии массивов печенгского типа с сульфидным платиноидно-медно-никеле-

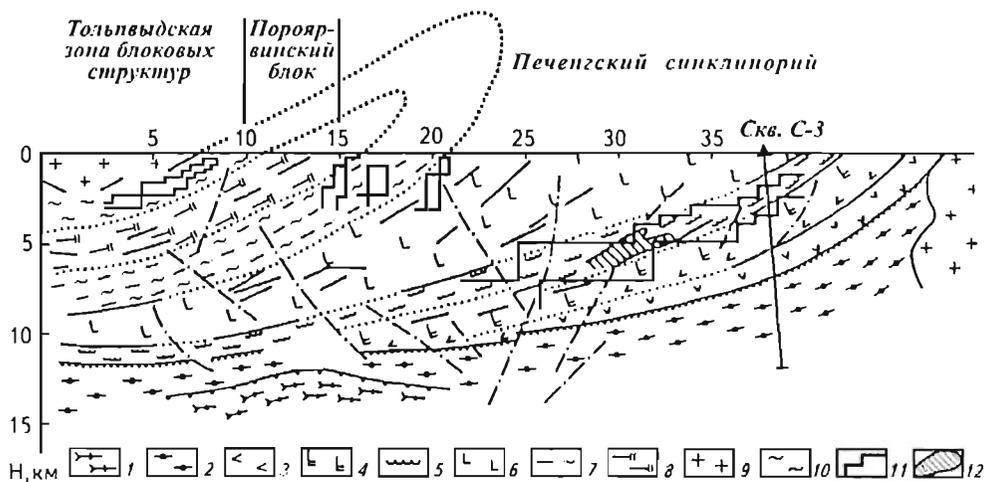


Рис. 17. Реконструированный геологический разрез вдоль профиля KOLA-SD

1 – мигматиты, мигматит-граниты реоморфизованные; *Кольская серия*: 2 – разнообразные гнейсы, сланцы; *Печенгский комплекс*: 3 – метадиабазы, метаандезиты; 4 – актинолитизированные диабазы; 5 – ритмично-слоистые филлиты, алевролиты, песчаники, туффиты; 6 – амфиболовые диабазы; 7 – углистые туффиты, филлиты; 8 – андезитобазальтовые метапорфириты; 9 – плагиограниты, гранодиориты; 10 – гнейсы и сланцы с углистым веществом; 11 – положение проводящих слоев и отметки их кровли по данным 2-d-моделирования МТЗ-АМТЗ; 12 – предполагаемое положение рудоносного интрузива

вым оруденением. Объект представлен субвертикальным столбом со слабым наклоном на юг, имеет прихотливую в разрезе форму с максимальной шириной 5 км на глубине 10 км и 1,5 км – на глубине 6 км. Наряду с высокой акустической жесткостью объект может быть охарактеризован существенной консолидацией узкого столба подстилающих пород, вероятно, представляющего собой законсервированную систему путей, обеспечивающих протекание (перколяцию) рудоносных растворов, очаги питания которых, как и всего рудоносного интрузивного магматизма Печорской структуры, развивались глубоко в ультраосновной мантии. Существование объекта подтверждается и при исследовании модельных данных МТЗ-АМТЗ (см. рис. 17), свидетельствующих о наличии крупной зоны повышенной электропроводности. Если при проведении рекомендуемых Ю.Н.Седых, В.М.Ступаком и А.П.Никитичевым геологоразведочных работ [52] намеченные перспективы открытия крупного объекта, близкого по объему рудной массы Печенгскому рудному району, будут подтверждены, то рассмотренная выше острая необходимость прироста богатых руд в регионе будет наконец-то реализована.

По мнению ряда исследователей (“Кольская сверхглубокая”, 1984, 1998), Печенгский район представляет собой часть протерозойского внутриконтинентального подвижного пояса, который развивался в четыре этапа. В первый этап происходило отложение на размытой поверхности кольской серии пород тундровой серии, ко второму этапу относится проявление андезит-базальтового вулканизма в субплатформенных условиях. В третий этап накапливались пикрит-базальтовые

вулканиты и мощные терригенно-вулканогенные отложения в подводной морской обстановке, а также происходило внедрение габбро-диабазовых и габбро-верлитовых интрузий. Четвертый этап охватывает складчато-разрывные дислокации и метаморфизм докембрийских пород.

В последнее время вулканическая серия Печенги наиболее детально изучена А.А.Предовским (1970), А.А.Маракушевым, Н.И.Безменом [65], В.Ф.Смолякиным (1997) и др. Указанными исследователями в составе вулканитов наряду с толентовыми базальтами и их производными – ферробазальтами, ферроандезитами – исландитами, устанавливаются также субщелочные базальты, трахибазальты (более 5% щелочей) и трахиисландиты (более 7% щелочей). Ферропикриты на Балтийском щите присутствуют только в пределах Печенга-Имандро-Варзугской зоны (Смолякин, 1997). Они генетически родственны рудоносным габбро-верлитовым интрузивам Печенгского рудного поля.

Интрузивы в туфогенной толще располагаются рядами-этажами, причем наибольшее количество никельносных массивов приурочено к центральной части Печенгского рудного района. Они представляют собой линзо- и пластообразные тела, залегающие большей частью в локальных синклиналях, в общем согласно с ориентировкой слонистости пород ждановской свиты; протяженность массивов по простиранию – сотни метров – несколько километров, мощности варьируют в пределах от нескольких десятков до нескольких сотен метров (до 700 м – массив Пильгуярви); по падению наиболее крупные массивы прослежены без выклинивания на несколько километров. Вертикальный разрез большей части массивов однотипен, при движении от кровли к подошве наблюдается следующая смена пород: амфиболизированное и эпидотизированное габбро; клинопироксениты (иногда с титаномagnetитовым вкрапленным оруденением – Главный массив); измененные (серпентинизированные, хлоритизированные, оталькованные, карбонатизированные) верлиты и оливиниты; рассланцованные и амфиболизированные клинопироксениты эндоконтактной зоны (“термодиффузионная кайма”). Особенностью массива Пильгуярви является сочетание сульфидных платиносодержащих медно-никелевых руд в виде сульфидоносных оливинитов и сплошных сульфидов, залегающих в подошве массива Пильгуярви, с обогащенными титаномagnetитом пироксенитами в его кровле.

Наряду с этим дифференцированным подтипом имеются и монопородные массивы, сложенные габбро, пироксенитами и метаверлитами (так называемые “расщепленные” интрузии синклинория). Более ранними интрузивными образованиями района являются нерудоносные габбро-диабазы, образующие пласто- и линзообразные тела в пачке пород ждановской свиты; завершается интрузивная деятельность в районе внедрением гранодиоритов, образующих два крупных изометрических массива на южном крыле синклинория.

Пробладающие в разрезах перидотиты, как правило, претерпели интенсивную двухстадийную метасоматическую переработку. Большинство тел фреатически серпентинизированы, а в эндоконтактах вторично переработаны в период регрессивного регионального метаморфизма зеленосланцевой фации. По составу пе-

ридититы представлены в основном верлитами, реже плагиоклазсодержащими оливинитами и клинопироксенитами.

В пределах Печенгского рудного поля известно более 20 сульфидоносных рудных тел различных мощностей и содержания сульфидов. Они преимущественно приурочены к нижним горизонтам интрузивов – перидотитам (серпентинитам), и только в редких случаях встречаются мелкие рудные тела во вмещающих породах. Межпластовые тектонические зоны характерны для локализации сплошных сульфидных руд.

К Печенгскому району относится также *интрузия г.Генеральской* (массив Луостари), приуроченная к северо-восточному замыканию Печенгской вулканотектонической структуры, в зоне сочленения Питкярявского и Южно-Паловарского региональных разломов. Она прорывает гнейсы кольской серии архея и перекрывается базальными конгломератами печенгской осадочно-вулканогенной серии; ее абсолютный возраст по Sm-Nd методу – 2453 ± 42 млн лет (Balashov et al., 1993) и по U-Pb – $2493 \pm 6,5$ млн лет [108]. Массив имеет клиновидную в плане форму, вытянут в субмеридиональном направлении, его протяженность 3,8 км при ширине 0,5 км в северной части и 1,5 км – в южной. Глубина залегания подошвы увеличивается в юго-западном направлении от 450 до 600 м. В разрезе массива преобладают породы основного состава: по [92] выделяются верхняя габбро-норитовая расслоенная (мощность 400 м), средняя ритмично-расслоенная (габбро-нориты, в том числе меланократовые, пироксениты, габбро, анортозиты; мощность 350-400 м), нижняя габбро-норитовая (200-250 м) и краевая серии (~100 м). Общая мощность интрузии достигает 1700 м. До 70-80% массив сложен метагаббро-норитами с редкими участками неизмененных габбро-норитов и оливиновых габбро-норитов и содержит выдержанные горизонты вкрапленного и гнездово-вкрапленного медно-никелевого оруденения. Повышенные количества (0,5-4,6 г/т) МПГ в массиве тяготеют к горизонтам вкрапленного и прожилково-вкрапленного медно-никелевого оруденения; содержание никеля и меди в этих горизонтах составляет 0,3-0,7% [19].

В Карельской платиноносной провинции выделяются две металлогенические зоны: Северо- и Южно-Карельские. Составной частью **Северо-Карельской зоны** является Олацкая группа расслоенных интрузий перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации: Луккулайсваара, Кивакка, Ципринга, Ньюдомолакша, Кометтоваара. Названные интрузивы приурочены к зоне контакта гранитогнейсов архея и протерозойских супракрустальных пород и ассоциируют с сумийско-сарнипийскими мафит-риолитовыми метавулканитами известково-щелочной и субщелочной серий (Турченко и др., 1991); их возраст 2436 ± 24 млн лет. Вся эта группа, в свою очередь, является восточным окончанием зоны развития подобных интрузивов Кеми-Суханко-Койллисмаа, протягивающейся в субширотном направлении через всю территорию Финляндии (от Ботнического залива до границы с Россией).

Интрузия Луккулайсваара прорывает породы архея и с размывом перекрывается вулканогенно-терригенными отложениями. В ее разрезе С.Ф.Клюниным и др. [9]

выделяются ультраосновная, норитовая, габбро-норитовая и габбровая зоны. Оригинальной чертой Луккулайсваарской интрузии является также присутствие в ней свособразных силлов и даек микрогаббро-норитов. А.Ю.Барковым [3] в разрезе массива Луккулайсваара на основе распределения кумулятивных оливина и хромшпиннелидов установлено (снизу вверх) шесть зон:

тонкозернистых норитов и габбро-норитов (мощность 200 м);

хромшпиннелидсодержащих ультрамафитов (мощность 300 м): перцолитов и гарцбургитов, в том числе плагиоклазовых, оливиновых вебстеритов, плагиоклазовых и оливиновых ортопироксенитов;

ильменитсодержащих ультрамафитов (мощность 200 м): плагиоклазовых разновидностей перцолитов, гарцбургитов, верлитов и оливинитов, перцолитов и гарцбургитов;

габбро-норитовая и норитовая (мощность ~900 м);

чередование габбро-норитов, норитов, оливиновых габбро-норитов, плагио-пироксенитов и анортозитов (мощность ~1000 м).

Возраст массива, по данным U-Pb метода, определен в 2437 ± 11 млн лет.

Платиноносность в массиве Луккулайсваара приурочена [9] к дайкообразным телам микрогаббро-норитов как к их экзоконтактам (мощность горизонта ~1 м), так и к самим телам, к шилам и маломощным (первые десятки сантиметров) жилам пегматоидных обогащенных сульфидами плагиопироксенитов, устанавливается также в самих микрогаббро-норитах, бессульфидных.

Важной составляющей **Южно-Карельской платинометаллогенической зоны**, занимающей территорию Центральной и Южной Карелии, является Бураковский перидотит-пироксенит-габбро-анортозит-норитовый массив, расположенный в юго-восточной части Балтийского щита [62-65]. Здесь также широко распространены габбро-долеритовые интрузии толсит-базальтовой формации с окисным ванадийсодержащим титаномагнетитовым оруденением раннепротерозойского возраста. Среди них наиболее известными и хорошо изученными являются Пудожгорская и Койкаро-Святнаволоцкая, формирование которых связано с развитием в раннепротерозойское время Онежско-Белозерской рифтовой зоны.

Бураковский массив, сложенный породами ультраосновного, основного и среднего составов, входит в Бураковско-Аганозерскую зону гравитационных и магнитных аномалий в Восточном Заонежье. Форма Бураковского массива – лополитообразная. Он прорывает сланцы лопня и гранитоиды архея и приурочен к зоне глубинного разлома северо-восточного простирания. Его протяженность 50 км, площадь 600-650 км², возраст 2341 ± 31 млн лет при $\epsilon_{Ni} = -2,3 \pm 0,3$ [63]. Интрузив разломами разбит на три блока – Аганозерский, Шалозерский и Бураковский. В нем многими исследователями вслед за В.А.Ганиным, Н.Г.Григевич и Н.Ф.Пчеллищевым [90] выделяются Расслосная серия, Нижняя и Боковая красные группы. Первая состоит из пяти зон: Ультраосновной (с Дунитовой и Перидотитовой подзонами), Клинопироксенитовой, Габбро-норитовой (с Нижней и Полосчатой подзонами), Пижонитовых габбро-норитов и Феррогаббро-норит-диоритовой.

Мощности зон составляют соответственно ~3500, 200, 1100, 1200, ~760 м, всего массива ~6600 м. Для каждой зоны характерен свой набор кумулятивных и интеркумулятивных минералов [63].

Пудожгорская и Койкаро-Святнаволоцкая интрузии залегают в бортах Онежской впадины; их возраст составляет 2050 ± 50 млн лет. Мощность интрузивных тел 120-150 м, протяженность 13-20 км. Они расчленены на нижнюю – габбровую (мощность 40-50 м) и верхнюю – диоритовую (60-100 м) зоны [64, 95].

Слагающие габбровую зоны породы – типичные траппы с несколько повышенной глиноземистостью и резко повышенной железистостью и титанистостью, что позволяет относить их к феррогаббро-долеритам. В составе зоны выделяются два горизонта – подрудный (мощность ~30-35 м) и рудный (~15-20 м). Первичные минералы – плагиоклаз, клинопироксен диопсид-геденбергитового ряда, титаномагнетит; эпигенетические: амфибол (в подрудном горизонте – ферроактинолит, в рудном – железистая роговая обманка), эпидот, биотит, хлорит, ильменит, сульфиды (халькопирит, пирит, борнит, сфалерит, в сумме менее 1%). Рудный горизонт представлен окисными титаномагнетитовыми рудами, в его пределах оконтурен слой богатых руд с промышленными содержаниями титаномагнетита (~60%), мощность его 5-10 м; содержание валового железа (в пересчете на Fe_2O_3) – 47,65%, TiO_2 – 9,25%, V_2O_5 – 0,3%. Текстура руд – идиоморфнозернистая. Титаномагнетит имеет следующий состав, %: TiO_2 – 9,93-12,62, FeO – 79,57-84,20, V_2O_5 – 0,97-1,39.

Диоритовая зона Пудожгорской интрузии мощностью 65 м расчленена на четыре горизонта (снизу вверх): меланократовый существенно амфиболового состава (мощность 3,1 м); мезократовый нижний (11 м); лейкократовый (40 м) и мезократовый верхний (11,9 м). Средневзвешенный состав интрузий отличается низкими глиноземистостью и магниальностью, высокой железистостью и повышенной щелочностью. Исходный расплав характеризовался высокими содержаниями воды (до 0,23%) и фтора (до 0,25%).

В составе Южно-Карельской платинометаллогенической зоны на северо-востоке Онежского прогиба, сложенного докембрийскими комплексами вулканогенно-осадочных пород, выделен **Онежский платиноносный район** (рис. 18) с месторождениями в углеродсодержащих толщах раннего протерозоя. Район входит в состав Карельской зеленокаменной области архея, включающей эпикратонный Онежский прогиб. Основными элементами зеленокаменной области являются позднеархейские (лопийские) структуры рифтогенного типа с небольшими телами базитов.

Онежская впадина выполнена в основном породами углеродистой карбонатно-сланцево-толент-базальтовой и сланцево-алсвролит-пикрит-базальтовой формаций людиковия (соответственно заонжская и суйсарская свиты), а также подстилающими их толент-базальт-сланцево-доломитовой (ятулий, туломозерская свита) и перекрывающими толщами: углеродистой туфопесчаник-алсвролитовой (падосская и другие свиты) и базальт-алсвролит-песчаниковой (вашозерская и другие свиты) калевия и вепся. Общая мощность нижнепротерозойских образований

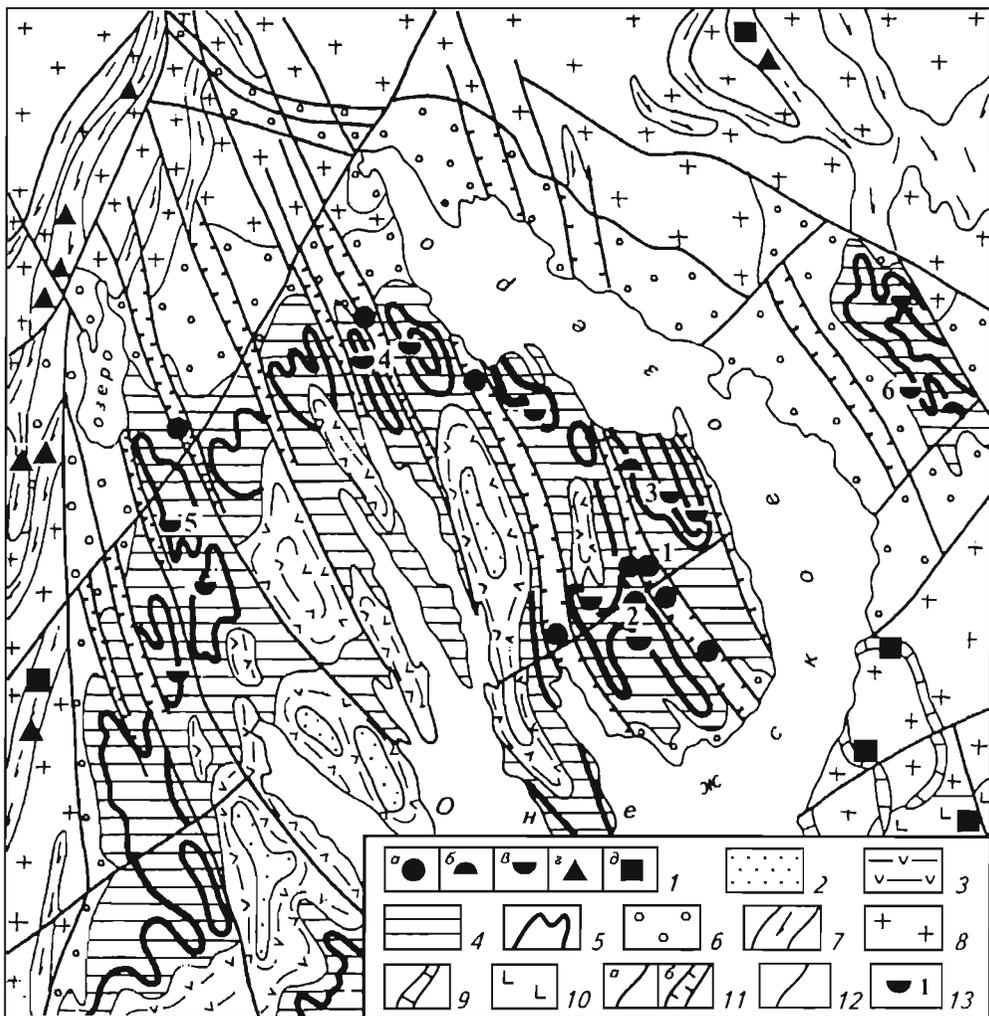


Рис. 18. Схематическая геологическая карта Онежского платиноносного района [62]

1 – месторождения и проявления руд: а – комплексных платиноидно-полиметалльных в альбит-карбонатно-сланцевых метасоматитах (онежский тип, собственно онежский подтип), б – золото-платиноидных в кварц-сульфидно-карбонатных метасоматитах (пургинский подтип), в – платиноидно-полиметалльных в черных сланцах заонежской свиты (толвуйский подтип), г – золото-платиноидных в углеродсодержащих сланцах бергаульской толщи, д – золото-платиносодержащих железотитановых в габбро-долеритах (пудожгорский тип); 2-6 – слабометаморфизованные углеродсодержащие породы нижнего протерозоя вашозерской (2), кондопожской (3), заонежской (4, 5), туломозерской (6) свит; 7 – глубокометаморфизованные углеродсодержащие породы верхнего протерозоя, бергаульская толща; 8-10 – интрузивные образования: 8 – биотитовые граниты, 9 – габбро-долериты, 10 – перидотиты, нориты, габбро-нориты, дуниты; 11 – зоны разрывных (а) и складчато-разрывных (б) дислокаций; 12 – геологические границы установленные; 13 – основные месторождения и проявления платиносодержащих руд в черных сланцах (Pr₁) и углеродистых метасоматитах: 1 – Падминское, 2 – Пургинское, 3 – Толвуйское, 4 – Унипское, 5 – Мундозерское, 6 – Пажское

в Онежской впадине составляет 4,5-5 км. Силлы и покровы пород отмеченных магматических формаций образуют до 35% мощности людиковия.

Важнейшими особенностями Онежской рифтогенной впадины являются: полнота и гетерогенность разреза карельского комплекса; широко развитые в нем пунгитоносных пород с содержанием $C_{СВ}$ свыше 3-5%; интенсивное и неоднократное проявление базальтоидного и щелочно-базальтоидного магматизма; наличие своеобразных тектонических структур, сформировавшихся в эпоху свекотенской (1900-1700 млн лет) тектонотермальной активизации – клиновидных зон складчато-разрывных деформаций (зон СРД) северо-западного простирания; широко развитые в них процессы многостадийного средне-, низкотемпературного магнезиально-щелочно-карбонатного метасоматоза [36].

В целом платинометальное оруденение Карело-Кольского региона представлено образующими характерный металлогенический ряд месторождениями следующих формаций: сульфидной платиноидно-медно-никелевой мончегорского и печенгского, малосульфидной платинометальной федорово-панского (стиллиуотерского), платиносодержащими хромитовой бураковского (бушвельдского), ванадийсодержащей титаномагнетитовой пудожгорского и апатит-магнетитовой ковордорского (палаборского), а также платиносодержащей полиметальной черных сланцев и их метасоматитов онежского типов. Таким образом в этом регионе развиты почти все выделенные минералого-геохимические типы руд.

Руды сульфидной платиноидно-медно-никелевой формации (сульфидного медно-никелевого минералого-геохимического типа), развитые главным образом на территории Кольского п-ова, включают две геохимические разновидности: платино-палладиевую (мончегорский тип) и палладий-платиновую (печенгский тип). Характерным примером первого типа сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд являются месторождения Мончегорского плутона, входящего в одноименный рудный район; для второго – типовыми являются месторождения Печенгского рудного поля (11 месторождений и более 20 рудопроявлений).

К малосульфидным платинометальным (малосульфидный минералого-геохимический тип) объектам федорово-панского типа в Карело-Кольском регионе относятся Федорово-Панское месторождение, горизонт 330 Мончегорского месторождения, проявления г. Генеральской, Луккулайсваара и ряд горизонтов в Бураковском массиве. Наиболее интересен и перспективен для освоения крупный Федорово-Панский массив, который по количеству платиноносных горизонтов (рифов), качеству оруденения и суммарным ресурсам не уступает массиву Стиллиуотер в США.

Платиноидно-хромитовое оруденение (платиносодержащий хромитовый минералого-геохимический тип) бураковского типа связано с Бураковским массивом, интрузивом Сопча, входящим в состав Мончеплутона, с норитовой зоной Имадровского лополита, габброиды верхней части которого несут платино-ванадий-титаномагнетитовое оруденение.

Типичными месторождениями платиносодержащей ванадий-титаномагнетитовой формации являются Пудожгорское и Койкарско-Святоволоцкое. Платино-

ность нефелиновой формации еще плохо изучена, но уже есть данные о значимых проявлениях МПГ в щелочных комплексах. В качестве примера ниже мы кратко рассмотрим Ковдорский массив щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов.

Уникальными геологическими образованиями являются месторождения комплексных полиметалльно-платиносодержащих руд в углеродсодержащих формациях (платиносодержащий углеродсодержащий минералого-геохимический тип) Онежского района Карелии (онежский и уницкий подтипы онежского типа).

Кратко рассмотрим важнейшие для региона объекты: Мончегорское сульфидное платиноидно-медно-никелевое, малосульфидное Федорово-Панское, платиносодержащие хромитовые Имандровское и Бураковское, ванадий-титаномагнетитовое Пудожгорское, апатит-магнетитовое Ковдорское месторождения, а также платиносодержащие полиметалльные руды в черносланцевых породах Онежского рудного района.

Мончегорский плутон включает субмеридиональную ветвь, образованную массивом Ниттис-Кумужья-Травяная (НКТ) и субширотную – массивы Сопча и Нюд-Поаз. Первые два массива сложены в основном ультраосновными породами мощностью около 1500 м с линзами и шширами габбро- и днорит-пегматитов в верхней части. Массив Нюд-Поаз образован преимущественно плагиоклазсодержащими пироксенитами и плагиоклазовыми норитами мощностью 350-650 м. Контактные зоны всех массивов сложены габбро-норитами, кварцевыми и кварцбиотитовыми норитами.

В рудной толще плутона устанавливаются [64] достаточно закономерно распределенные по его разрезу вкрапленные, гнездово-вкрапленные, прожилково-вкрапленные, жильные руды. Месторождения руд первых двух типов включают придонные залежи всех массивов, рудные тела “критического горизонта” массива Нюд (“Нюд-II” и “Терраса”) и “рудные пласты” массива Сопча. Придонные залежи приурочены к верхним участкам зон эндоконтактных габбро-норитов и низам зон чередования плагиогарцбургитов, норитов и габбро-норитов (НКТ, Сопча) или меланократовых норитов с прослоями оливниновых норитов и плагиогарцбургитов (Нюд-Поаз). Здесь широко развиты различные пегматонды основного состава и ксенолиты вмещающих гнейсов. В поперечных разрезах НКТ и Сопча форма залежей серповидная, согласная напластованию вмещающих пород. Мощность залежей достигает 40-50 м. Прожилково-вкрапленные руды тяготеют к зонам тектонических нарушений в краевой части массива Нюд, наиболее изучено месторождение Моршкового озера. Рудное тело – линза мощностью 25-30 м и протяженностью 280 м. Жильные руды представлены глубинными прожилковыми медными рудами массива НКТ и типичными жилами интрузий НКТ и Сопча. Мощность жил в раздувах достигает 2-3 м, протяженность – 100-1400 м, по падению они прослеживаются на 30-450 м. Жильное поле НКТ также связано с типичными пегматитами дноритов и габбро-норитов.

По данным [91], минимальные количества МПГ (0,001-0,01 г/т) выявлены в дунитах ($Pd/Pt < 1$), в оливниносодержащих пироксенитах содержится 0,01-0,05 г/т ($Pd/Pt > 1$), нориты и габбро-нориты с сульфидной вкрапленностью включают

0,01-0,4 г/т МПГ, во вкрапленных рудах количество МПГ достигает 2,5 г/т (среднее – 0,51 г/т), в гнездовых – более 4 г/т (с различным соотношением Pt и Pd), в НКТ в главном жильном поле содержание МПГ превышает 5 г/т, в глубинных медных рудах НКТ достигает 30 г/т ($Pd/Pt > 2,5$), а в жильных рудах Сопчи – 6 г/т ($Pd/Pt \sim 10$; табл. 18, 19).

Разрез ультрабазитов “пласта 330” отличается достаточно устойчивым содержанием (1,77 г/т) МПГ [91]. Те же авторы отмечают, что горизонты малосульфидного платинометалльного оруденения Мончестуидровского массива содержат до 2 г/т МПГ ($Pd/Pt \leq 1$). Наименее изученными в отношении промышленной платиноносности являются вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды расслоенных горизонтов массивов Сопча и Нюд, сходные по ряду признаков с малосульфидным типом платинометалльного оруденения.

Ю.Н.Яковлевым, В.С.Докучасвой и Ф.И.Свяжениновым [64] в комплексных рудах Мончегорского плутона по своим и опубликованным данным описаны котульскит, меренскит, майченерит, мончсит, сопсит, брэггит, высоцкит, сперриллит, придосмин, станопалладинит, нигглиит, фрудит и незазванные фазы $PdBiTe_2$,

Минеральный состав комплексных руд

Группа минералов	Донные залежи (НКТ)	Руды “критического горизонта”	Рудные пласты Сопчи (гарибургиты северного склона)
Вкрапленные, гнездово-вкрапленные и прожилково-			
Главные	Пирротин (50-70)*, пентландит (10-30), халькопирит (7-12), пирит (2-10)	Пирротин (70-90), пентландит (5-10), халькопирит (3-10), магнетит (5-20)	Пентландит (40-60), пирротин (20-30), халькопирит (3-10), хромит (1-5), магнетит (1-3)
Второстепенные	Хромит, титаномагнетит, ильменит, кубанит, сфалерит, борнит, ковеллин, валлеринит, полидимит (?), виоларит	Хромит, титаномагнетит, шпинель, ильменит, рутил, сфалерит, кубанит, браунит, виоларит	Ильменит, пирит, борнит, халькозин, ковеллин, виоларит, хизлевуидит, годлевскит, миллерит, кубанит, валлеринит, макишавит, мельничковит, талнахит, путоранит, молибденит, самородное олово
Минералы благородных металлов	Не установлены	Котульскит	Меренскит, майченерит, мончсит, котульскит, сопсит, самородные золото и серебро, акантит

*В скобках – содержание в %.

(Pt,Pd)₂(Fe,Bi)₅, т. е. среди платиновых минералов преобладают висмута-теллуриды палладия и платины. Авторы [64] подчеркивают, что максимальным накоплением МПГ по отношению к цветным металлам характеризуются придонные гипсовыя руды НКТ и вкрапленные “пласта 330” Сопчи.

Федорово-Панское месторождение малосульфидных платино-стальных руд – крупное, аналогичное Стиллуотерскому, приурочено к одноименному расслоенному массиву, расположенному в центре Кольского п-ова вблизи крупных промышленных предприятий городов Мончегорск, Апатиты, Кировск.

К настоящему времени комплексная минерализация платино-палладиевой специализации выявлена во всех массивах Федорово-Панского интрузива и на многих уровнях разреза [9, 10, 19, 42, 43, 47, 62-65, 70, 96 и др.].

В Федоровотундровском блоке она установлена в красной и поритовой зонах, прослеживается на расстояние до 10 км при общей ширине до 1 км. Отличительная особенность состава рудопоявлений этого массива – наличие уровней с равными содержаниями платины и палладия (до 3,53 и 3,91 г/т соответственно), иногда с преобладанием платины (до 5,0 и 8,0 г/т).

Таблица 18

Мончегорского плутона [64]

Морошковое озеро	Глубинные медные руды	Жилы НКТ	Жилы Сопчи
вкрапленные руды	Жильные руды		
Пирротин (20-70), пирит (20-70), пентландит (3-15), халькопирит (1-10), магнетит (5-50) Хромит, ильменит, сфалерит, полидимит (?), виоларит, марказит, миллерит, борнит, халькозин, ковеллин, лимонит	Халькопирит (20-90), пирит (5-50), кубанит (1-40), пирротин (1-20), пентландит (1-5) Магнетит, хромит, ильменит, рутил, алтанг, сфалерит, мелонит, вейссит, валлерит, виоларит, мельниковит, лимонит	Пирротин (60-80), пентландит (5-15), халькопирит (3-10), пирит (1-10), магнетит (3-20) Хромит, титаномагнетит, ильменит, кубанит, сфалерит, галенит, борнит, валлерит, миллерит, виоларит, макниавит, халькозин	Пирротин (10-60), пентландит (5-30), халькопирит (1-50), пирит (5-40), магнетит (3-70) Ильменит, хромит, кубанит, сфалерит, молибденит, макниавит, валлерит, лимонит
Брэггит, высокоцит	Аргентопентландит, гессит, штюцит, фрудит, майченерит, безымянный (Pd,Pt) ₂ (Fe,Bi) ₅ , сперрилит, самородные золото и серебро	Иридоосмин, станнопалладинит, ниглаинит, котульскит, меренскит, майченерит, мончегит, сперрилит, безымянный PdBiTe ₂	Меренскит, майченерит, сопчегит, котульскит, мончегит

Среднее содержание благородных (в г/т) и цветных (в % мас.) металлов в медно-никелевых рудах Мончегорского плутона [64]

Месторождения, руды	Количество анализов	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	Au	Ag	Ni	Cu	Co	S
<i>Жильные:</i>													
НКТ, главное жильное поле	59	0,60	4,77	0,34	0,03	0,03	0,01	0,21	5,56	4,80	2,15	0,18	29,3
НКТ, глубинные медные	30	8,54	20,45	0,03	0,01	0,01	0,01	1,56	98,00	1,07	9,37	0,04	13,9
Сопча, жильное поле	25	0,66	5,21	0,14	0,02	0,06	0,02	0,07	2,02	8,38	0,67	0,38	22,4
<i>Вкрапленные, гнездово- и прожилково-вкрапленные:</i>													
Сопча, "пласт 330"	55	0,13	0,77	0,05	0,01	0,02	0,01	0,06	0,82	0,50	0,17	0,02	0,43
Нюд-II, вкрапленные	21	0,08	0,25	0,05	0,003	0,003	0,00	0,05	0,84	0,80	0,32	0,03	8,12
Нюд-II, гнездовые	6	0,06	1,46	0,05	0,01	0,01	0,005	0,06	0,55	2,18	0,28	0,10	20,0
НКТ, придонные вкрапленные	22	0,11	0,36	0,02	0,01	0,01	0,005	0,05	0,80	0,37	0,25	0,02	3,10
НКТ, придонные гнездовые	24	3,70	0,50	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03	5,91	2,19	0,23	0,08	12,80
Морошковое, прожилково-вкрапленные	5	0,03	0,18	0,05	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	0,02	Нет свед.	0,25	0,13	0,03	2,68

В составе Западно-Панского блока установлены главные расслоенные горизонты (рифовые пачки): нижний и верхний. Первый из них образован норитами, габбро-норитами и анортозитами; верхний горизонт сложен аналогичными породами с появлением в кровле оливинсодержащих габбро-норитов и троктолитов. С этими горизонтами связаны ведущие платиноносные уровни. В связи с этим рассмотрим более детально особенности строения этих горизонтов – рифовых пачек.

Нижняя рифовая пачка (нижний расслоенный горизонт) находится в нижней части разреза габбро-норитов на расстоянии 0,6-1,0 км от контакта массива с щелочными гранитами и представляет собой тонкос ритмическое переслаивание мезократовых габбро-норитов, габбро-норитов, апортозитов, анортозит-норитов с линейными телами пятнистых лейкократовых метагабброндов (“леопардовое” лейкогаббро). Оруденение приурочено, как правило, к средней части расслоенной серии. Прослеженная на расстоянии 10-13 км рудоносная зона – рифовая пачка шириной от 1 до 50 м – представляет собой серию пласто- и линзообразных платиноносных залежей – рифов, удаленных друг от друга на 0,1-30 м. Они вытянуты параллельно простиранию пород на 100-300 м, имеют мощность от 0,1 до 4 м. Слои, обогащенные МПГ, фиксируются четкими и различно направленными колебаниями содержания магния, алюминия, калия, натрия, хрома (четырёхкратное уменьшение в породах, подстилающих обогащенные МПГ слои), титана, никеля, меди. В ряде рудных пересечений мощностью 2-11,3 м максимальные (до 50 г/т) концентрации МПГ выявлены в маломощных прослоях лейкогаббро-норитов, апортозитов и норитов среди безрудных габбро-норитов и обычно в связи с небольшим количеством сульфидной вкрапленности.

По простиранию нижней рифовой пачки состав рудоносных пород и количества МПГ меняются. В нижнем расслоенном горизонте присутствует несколько рудных линз. Рифы расположены параллельно “слоистости” преимущественно габбро-норитов с переменным соотношением орто- и клинопироксена и плагиоклаза, лейкогаббро и норитов; некоторые слои падают на юго-запад под углом 30-40°. Рудная минерализация приурочена к частям нижней рифовой пачки с четкой расслоенностью, причем состав слоев меняется от анортозитов до плагиопироксенитов. Рудные тела имеют сложную пластообразную форму и смещены по разломам северо-восточного направления. Сульфиды, как обычно, образуют вкрапленность, скопления и мелкие гнезда. Весьма характерна смена слоев, содержащих до 1; 3-10% сульфидов и практически безрудных. Сульфидоносные слои меняют мощность от первых десятков сантиметров до первых метров. Повышение содержания сульфидов (в среднем 2%), как правило, приводит к увеличению количества МПГ. Рост содержания цветных металлов и серы обычно сопровождается увеличением количества платиноидов и серебра, однако в ряде случаев при низких содержаниях сульфидов никеля и меди устанавливаются высокие значения платиновых металлов, бывает и обратная картина. Рост концентраций меди до 0,5%, никеля до 0,3-0,4% и серебра до 3 г/т нередко характеризуется пропорциональным увеличением содержания МПГ. Последние (5-15 г/т) отмечаются и при более низких количествах меди (0,15-0,30%), никеля (0,10-0,30%) и серебра (1-2 г/т). Наибо-

лес высокие содержания никеля в нижней рифовой пачке – 0,62%, меди – 1,11%, серебра – 4,3 г/т.

В тех частях рудных зон, где сульфидов очень мало (никеля менее 0,1%, меди менее 0,1%), содержание платиновых металлов и серебра обычно составляет десятые и сотые доли грамма на тонну. В породах, вмещающих рудные зоны нижней рифовой пачки, содержания цветных металлов не превышают тысячных-сотых долей процента, а сульфиды встречаются в виде единичных зерен.

В рудной зоне, по данным Н.Н.Веселовского [9], наблюдается порой многократное увеличение концентраций меди (в 60 раз), никеля (в 10 раз), серебра, кобальта. Наряду с этим в зоне оруденения содержание хрома уменьшается почти в полтора раза, причем по составу рудная зона почти не отличается от вмещающих пород. Рудными могут быть породы разного состава: лейкогаббро-нориты (до 29% Al_2O_3) на Восточном Кивесе, участке Камешник, габбро-нориты и нориты (до 15,6% MgO , 0,027% Cr_2O_3) на Западном Кивесе. От западной части блока к восточной происходит увеличение содержаний таких рудных компонентов, как никель и медь, а количество МПГ растет (с уменьшением отношения Pd/Pt от 10,9 до 5,9).

Платинометальное оруденение вблизи (первые сотни метров в плане и разрезе) верхнего расслоенного горизонта – верхней рифовой пачки, развито также на южном склоне г. Камешник в 2 км к юго-западу от ее вершины в комплексе мезократовых габбро-норитов с прослоями габбро, а также на ряде других участков. Бедная вкрапленная кубанит-пирротин-халькопиритовая минерализация прослеживается по простиранию в субширотном направлении на 100-300 м. Количество платиновых и цветных металлов в рассматриваемом и нижнем расслоенном горизонтах близко, а содержание палладия (до 43 г/т) и серебра (до 5 г/т) иногда даже выше, как и отношение палладия к платине. Предполагается согласное с внутренней структурой интрузива залегание и значительная (до 17,5 км) протяженность рудных слоев верхнего расслоенного горизонта.

Оруденение носит характер вкрапленного (достаточно бедного), реже гнездового. Рудная минерализация представлена сульфидной вкрапленностью пентландит-халькопирит-пирротинового состава, оксидные минералы – ильменитом и титаномагнетитом. Минералы МПГ образуют отдельные выделения размером до 150 мкм на контакте сульфидов и силикатов (69% зерен платиновых минералов), а также в последних (31%) внутри сульфидов [43]. Концентрация сульфидов достигает 10%, размер вкрапленников, как правило, составляет десятые доли миллиметров, иногда достигая 3 мм. Количество сульфидов и оксидов доходит до 90% (от рудных в целом) в габбро-норитах. В анортозитах верхнего расслоенного горизонта они иногда вообще отсутствуют.

Состав сульфидных вкрапленников преимущественно (до 95%) халькопиритовый. Иногда отмечается существенно беспирротинная халькопирит-пентландитовая минерализация. Достаточно обычны вторичные рудные минералы: виоларит по пентландиту нередко до полных псевдоморфоз, борнит в каемках по халькопириту. Отмечаются также кубанит в халькопирите из габбро-норитов и миллерит из анортозитов верхней рифовой пачки. В целом верхняя рифовая пачка харак-

теризуется невысокими (1-2%) количествами рудных минералов при весьма небольшой (до полного отсутствия) доле оксидной составляющей. Состав минерализации существенно халькопиритовый с пентландитом и пирротинном и акцессорным миллеритом. Отмечается приуроченность платиновых минералов к породам, где сульфидная вкрапленность имеет существенно пентландит-халькопиритовый состав при подчиненной роли пирротина и пирита.

В целом в Западно-Панском массиве платинометалльное оруденение в пределах обнаженной площади шириной 4 км обнаружено на семи уровнях (рис. 19) протяженностью до 15 км, три из них выделены как продуктивные горизонты (сверху вниз): первый – среднестатистическая сумма содержащий платиноидов и золота составляет 18,97 г/т, второй – 9,24 и пятый – 6,84 г/т [83]. Эти горизонты приурочены к выше описанным зонам неоднородного строения и состава (в основном образованы норитами, габбро-норитами и анортозитами, иногда с появлением в кровле оливинсодержащих габбро-норитов и троктолитов) и связаны, как и во всех расслоенных массивах мира, с лейкократовыми высокоглиноземистыми породами (лейкогаббро и анортозитами), содержащими 70-80% всего объема платиновой минерализации, т.е. это типичные платиноносные рифы. Чрезвычайно характерно то, что наивысшие содержания платиноидов, как и в массиве Стиллвуотер, тяготеют к пологим депрессиям и их склонам. Насколько известно авторам, первым обратил на это внимание Ф.П.Митрофанов [57].

Платиновая минерализация Восточно-Панского блока проявлена, по крайней мере, на трех уровнях с преобладанием палладия над платиной. В последние годы платинометалльное оруденение было детально изучено в крайней восточной части массива на участках Пешемпахк и Сунгйок (рис. 20) сотрудниками Геологического института КНЦ РАН во главе с академиком Ф.П.Митрофановым [51]. На первом участке максимально интересна зона платиносодержащей сульфидной (0,5-10%) вкрапленности в метагаббро, габбро-норитах, анортозитах в низах разреза. Количество МПГ и золота в среднем по зоне составляет 12,55 г/т (Pd/Pt = 6,7), колеблясь от 2 до 24 г/т. Средняя концентрация золота – 1,82 г/т, никеля – 0,26 г/т и меди – 0,34%. На втором участке установлены два уровня платинометалльного оруденения в габбро-норитовой зоне. В первом уровне содержания МПГ составляют 1-3 г/т при Pd/Pt = 1,3 и количестве никеля и кобальта по 0,06%. В платиноносных габбро-норитах второго уровня содержится от 2,5 до 23,4 г/т МПГ, 0,12% Ni, 0,39% Cu, Pd/Pt = 1,2-2,0; иногда в выветрелых глыбах платина преобладает над палладием. Состав платинометалльного оруденения (преобладают котульскит, меренскит, мончент, сперрилит, куперит) в пентландит-халькопирит-пирротинных сульфидизированных породах отражает табл. 20 (превалирующие минералы выделены), а в пирит-пирротинных и ильменит-магнетитовых проявлениях платиновые минералы отсутствуют. Необходимо особо отметить, что в низах рудной зоны довольно широко (с учетом акцессорности) распространены платиносодержащие кобальтины (0,09-1,30% Rh, 0-0,11% Ir, 0,11-0,65% Pt, 0,54-1,21%Pd) и герсдорфиты (1,3% Rh, 9,52% Pd, 0,25% Os и 0,39% Pt). В пентландите содержится 0,09% Pd и 0,09% Rh (скорее всего оба металла входят изоморфно), в пирротине – 0,06-0,08% Rh.

М	Разрез интрузии	Мощность пачек пород, м	Среднее содержание							
			Pt	Pd	Rh	Au	Ag	Ni	Cu	S
3000	ГН- ГН- ГН-	300-350	2,24	15,02	0,13	1,58	1,41	0,14	0,24	0,70
	— —	ВРГ 150								
	ГН ГН	150								
	•• ЛГ-В •••	I ЛГ-В 220								
	•• ГН •••									
2000	МГ МГ	120	0,76	1,68	—	0,33	—	0,10	0,55	—
	••••• ГН	III 1200	0,04	0,37	0,01	0,06	0,61	0,12	0,15	0,31
	ГН									
	ГН МГ									
	ГН									
1000	••••• ГН	IV	1,11	5,37	0,13	0,23	1,03	0,22	0,29	0,76
	МГ МГ	100								
	ГН ГН	200								
	•• ЛГ-Н •••••	V ЛГ-Н(НРГ) 200								
	•••••									
0	ГН	1000	0,06	0,53	0,02	0,05	0,20	0,07	0,04	0,20
	ГН									
	ГН									
	•Н•••••Н•	VI 120	0,06	0,38	0,02	0,03	0,49	0,06	0,09	0,18
	•••••	VII 80								
	+ + +									

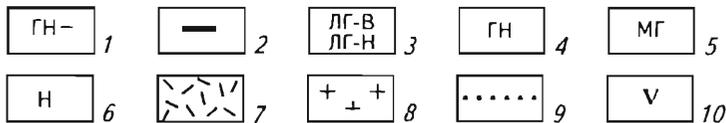


Рис. 19. Платинометалльные горизонты Федорово-Папского месторождения

1 – трахитоидные габбро-нориты; 2 – чередование оливковых габбро-норитов, габбро-норитов, анортозитов; 3 – лейкогаббро-анортозиты верхнего (В) и нижнего (Н) платиноносных горизонтов; 4 – перасчлещенные габбро-нориты центральной части массива; 5 – магнетитосодержащие габбро; 6 – нориты и плагиоипроксениты; 7 – такситовые нориты и габбро-нориты краевой зоны; 8 – щелочные граниты; 9 – малосульфидные платинометалльные рудопоявления в разрезе; 10 – номера рудных горизонтов. Содержание благородных металлов в г/т, цветных – в %

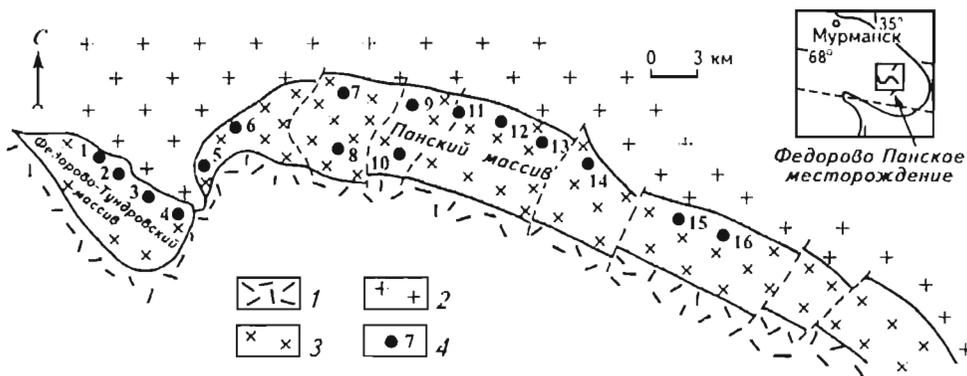


Рис. 20. Схема расположения рудопоявлений Федорово-Панского месторождения [47]

1 – осадочно-вулканогенные породы зоны Имандра-Варзуга; 2 – гранитоидеисы и граниты архейского основания; 3 – базиты Федорово-Панского массива; 4 – рудопоявления: 1 – Малый Ихтегипахк, 2 – Средний Ихтегипахк, 3 – Большой Ихтегипахк, 4 – Пахварака, 5 – Массив-1, 6 – Ластьявр, 7 – Северный Каменик, 8 – Южный Каменик, 9 – Северный Сулейпахк, 10 – Южный Сулейпахк, 11 – Марыйок (Западный Киевей), 12 – Центральный Киевей, 13 – Восточный Киевей, 14 – Пенемпахк, 15 – Сунгйок, 16 – Чуарвы

Таблица 20

Минеральный состав комплексного платинометалльного оруденения восточной части массива Панских тундр [47]

Минералы цветных и черных металлов	
Главные и второстепенные	Акцессорные
Пирротин $Fe_{1-x}S$	Кобальтин $(Co,Ni,Fe)AsS$
Халькопирит $CuFeS_2$	Герсдорфит $(Ni,Co,Fe)AsS$
Пентландит $(Fe,Ni)_9S_8$	Сфалерит ZnS
Пирит FeS_2	Миллерит NiS
Виоларит $FeNi_2S_4$	Марказит FeS_2
Ковеллин CuS	Магнетит Fe_3O_4
Fe-гидроксиды	Ильменит $FeTiO_3$
	Рутил TiO_2
Минералы благородных металлов	
Относительно распространенные	Редкие
Мончент $(Pt,Pd)(Te,Bi)_2$	Электрум (Au,Ag)
Сперрилит $PtAs_2$	Изоферроплатина $(Pt,Pd)_3Fe$
Куперит $(Pt,Pd,Ni)S$	Палладоарсенид Pd_2As
Котульскит $Pd(Te,Bi)$	Изомертнит $Pd_{11}Sb_2As_2$
Меренскит $(Pd,Pt)(Te,Bi)_2$	Соболевскит $(Pd,Pt)(Bi,Te)$
	Майчнерит $(Pd,Pt)BiTe$
	Сопчент $Ag_3Pd_3Te_4$
	Атокит (?) $(Pd,Pt)_3Sn$

Гранулометрическая характеристика и частота встречаемости минералов благородных металлов из горизонта малосульфидной платинOMETальной минерализации участков Пешемпахк и Сунгйок [47]

Минерал	Класс крупности, мкм							Количество зерен
	+100	-100+50	-50+30	-30+20	-20+10	-10+5	-5	
<i>Участок Пешемпахк</i>								
Электрум	–	–	2	1	2	4	3	12
Сперрилит	–	–	–	1	6	7	5	19
Палладоарсенид	–	–	–	–	1	–	3	4
Изомертнит	–	–	–	–	–	–	7	7
Котульскит	1	–	2	1	4	7	10	25
Меренскит	–	–	4	3	6	14	11	38
Соболевскит	1	–	–	–	1	1	2	5
Майченерит	–	–	–	–	1	2	5	8
Сопчит	–	–	–	–	1	4	2	7
Доля зерен данного размера, %	1,6	–	6,4	4,8	17,6	31,2	38,4	
<i>Участок Сунгйок</i>								
Электрум	–	–	–	–	1	6	42	49
Изоферроплатина	–	–	–	–	3	4	8	15
Куперит	1	–	–	–	–	2	2	5
Мончит	–	3	1	1	10	19	67	101
Котульскит	–	–	1	–	1	6	29	37
Меренскит	–	–	–	–	–	7	134	141
Атокит (?)	–	–	–	–	–	–	4	4
Доля зерен данного размера, %	0,3	0,8	0,6	0,3	4,3	12,5	81,2	

Как правило, платиновая минерализация ассоциирует с сульфидной медно-никелевой, однако известны породы с повышенными концентрациями платиноидов, практически не содержащие сульфидов.

Всего авторами [47] обнаружено около 500 зерен платиноидов и золота. Закономерности распределения их по классам крупности и частоте встречаемости для участков Пешемпахк (121 зерно) и Сунгйок (354 зерна) наглядно иллюстрирует табл. 21. На обоих участках большая часть зерен встречается в классе 5 мкм (до 81,2%) и рассеяна в силикатах в виде кластеров до 10 зерен. *Можно с полной очевидностью утверждать, что это не что иное, как наноминералы, и для их извлечения нужна специальная нанотехнология.*

Минералогией малосульфидного платинометалльного оруденения занималось большое число исследователей (Кривенко и др., 1989, 1991; Yakovlev et al., 1991; Абзалов и др., 1993; Додин и др., 1994; Balabonin et al., 1994; Толстых, Кривенко, 1995; Балабонин и др., 1998, 2000; Изоитко, 1998; Седых и др., 2000). Наиболее серьезные результаты в изучении платиновых минералов были достигнуты Н.Л.Балабониным. Список платиновых минералов и неспазванных фаз Федорово-Панского месторождения, составленный им незадолго до своей кончины, насчитывает 95 названий.

Pd-золото	(Au,Pd,Ag)		$Pd_{15}As_4O_7$
Изоферроплатина	(Pt,Pd) ₃ Fe	Атоцит	(Pd,Pt) ₃ Sn
Неизвестные фазы:		Неизвестные фазы:	
	(Pt,Pd) ₁₃ S ₁₄		(Pt,Pd) ₂ Te ₅
	(Fe,Ni,Pd)S		(Pt,Pd) ₃ Te ₇
Куперит	PtS		(Pt,Pd) ₆ Te ₁₃
Брэггит	(Pt,Pd,Ni)S		Pt ₈ Te ₁₃
Высоцит	(Pd,Ni)S		Pt ₈ Te ₁₅
Неизвестные фазы:			Pd ₅ Te ₉
	Pd ₁₅ S ₁₄		Pt ₅ Te ₉
	(Pt,Pd,Ni) ₁₄ S ₁₃		Pt ₃ Te ₅
	Pd ₁₂ Pt ₂ Ni ₅ S ₁₇		(Pd,Ag)Te
	(Pt,Pd) ₉ S ₈		(Pd,Fe) ₁₄ Te ₁₃
Сперрилит	PtAs ₂		Pd ₁₃ Hg ₄ Te ₁₄
Палладоарсенид	(Pd,Ni) ₂ As		Pd ₇ Hg ₂ Te ₇
Стиллуотерит	Pd ₈ As ₃	Темагамит	Pd ₃ HgTe ₃
Неизвестные фазы:		Неизвестные фазы:	
	Pt ₅ As ₉		(Pd,Ag) ₈ Te ₅
	(Pd,Au,Hg) ₅ As ₂		(Pd,Ag) ₅ Te ₃
	(Pd,Pt) ₁₁ As ₆ O ₉		(Ag,Pd) ₅ Te ₃

Сопчит	$Pd_1Ag_4Te_4$	Неназванные фазы:	
Неназванная фаза:	Pd_2Te		$Pd_{12}(Fe,Cu)(Te,Bi)_{24}$
Кейтконнит	$Pd_{20}Te_7$		$(Pd,Pt)_4(Te,Bi)_7$
Теларгпалит	$(Pd,Ag)_3Te$		$(Pt,Cu)_3BiTe_4$
Звягинцевит	$(Pd,Pt)_3(Pb,Sn)$		$(Pt,Pd)_2(Te,Bi)_3$
Холлингвортит	$(Rh,Pt,Pd)AsS$		$Pd_7(Te,Bi)_{10}$
Rh-кобальтин	$(Co,Ni,Fe,Rh)AsS$		$Pd_{11}AgNi(Bi,Te)_{16}$
Pd-герсдорфит	$(Ni,Co,Fe,Pd)AsS$		$Pd_6(Te,Bi)_7$
Неназванные фазы:			$Pd_{13}(Te,Bi)_{15}$
	$(Pt,Fe,Ni)(As,S)_2$		$Pd_{17}(Te,Bi)_{19}$
	$(Rh,Ni,Ir)_3As_4S_5$		$Pd_8(Te,Bi)_9$
Арсенопалладинит	$Pd_8(As,Sb)_3$		$(Pd,Ni,Ag)_{10}(Bi,Te)_{11}$
Изомертнит	$Pd_{13}Sb_2As_2$		$Pd_{11}(Te,Bi)_{12}$
Неназванные фазы:			$Pd_{12}(Te,Bi)_{13}$
	$Pd_8(As,Te)_3$		$Pd_{11}(Te,Bi)_{10}$
	$Pd_3(As,Te)$		Pd_7BiTe_5
	$(Pd,Ag)_{17}SnTe_7$	Bi-теларгпалит	$(Pd,Ag)_3(Te,Bi)$
	$Pt(Te,Bi)_3$	Неназванные фазы:	
	$Pt_2(Te,Bi)_5$		$Pd_{13}(Pb,Ag)_6(Te,Se)_3$
	$(Pt,Pd)_2(Te,Bi)_5$		$(Pd,Pt)_{11}(Cu,Pb)_4(Te,As)_2S_5$
	$(Pd,Pt)_3(Te,Bi)_7$		$(Pd,Ni)_{13}As_3TeS$
	$(Pt,Pd)_3(Te,Bi)_7$		$Pd_3(As,Te,Sb)$
	Pd_4BiTe_8		$Pd_8(Te,Sn)_6(Te,S)$
	$Pt_4(Te,Bi)_9$		$Pt(Te,Bi)(Te,S)$
	$Pt_7(Te,Bi)_{15}$		$(Pd,Fe)_{16}(Te,Bi)_{16}S$
Меренскит	$(Pd,Pt)(Te,Bi)_2$		$(Pd,Ag)_4(Te,Pb)(Te,Se)$
Мончит	$(Pt,Pd)(Te,Bi)_2$	As-меренскит	$(Pd,Pt)(Te,Bi,As)_2$
Майченерит	$PdBiTe$	Неназванные фазы:	
Котульскит	$Pd(Te,Bi)$		$(Pt,Pd)_7(Sn,As,Te)_3$
Соболевскит	$Pd(Bi,Te)$		$Pd_3(As,Te,Sn)$
Неназванная фаза:	$Pd_{16}(Te,Bi)_{15}$		$Pd_8Bi_6SbTe_8$
Pd-мелонит	$(Ni,Pd)(Te,Bi)_2$		$(Pd,Ag)_3(Te,Bi,Pb)_2$
			$Pd(As,Te,Sb,Sn)_4$

Количественно преобладающими минералами являются меренскит, котульскит, мончит, палладистое золото, сперрилит, брэггит–высоцкит, куперит, майченерит, изоферроплатина, сопчит (табл. 22). Размеры зерен колеблются от 0,1 до

Относительная частота встречаемости МПМ (в %) на разных участках Федорово-Панской интрузии [48]

Минерал	Участок						
	М.-Ср. Интсгипахк (42)*	Б. Ихтегипахк (202)	Пахкварака, Ластьявр, Массив-1 (35)	В. Кисвай (82)	Ю. Каменник (133)	Пшешпахк (121)	Сунгйок (354)
Au-Ag-Pd	2,4	3,5	2,9	2,4	10,5	9,9	13,8
Изоферроплатина	2,4	–	–	–	–	–	4,2
Брэггит, куперит	2,4	10,9	5,9	7,3	4,5	–	1,7
Высоцкит	–	14,8	–	3,6	6,8	–	–
Сперрилит	23,3	4,2	11,7	1,1	17,3	16,5	–
Палладоарсенид	4,8	–	–	–	3,0	3,3	–
Холлингвортит	–	1,0	2,9	–	5,9	–	–
Мончсит	16,7	25,7	5,9	39,0	8,3	–	28,8
Котульскит	19,0	39,1	11,8	23,4	28,6	19,8	10,5
Меренскит	7,1	–	26,5	20,7	9,0	28,1	39,8
Майченерит	7,1	–	23,5	–	–	6,6	–
Соболевскит	–	–	5,9	1,2	–	4,1	–
Сопчеит	4,8	–	2,9	1,2	5,3	5,8	–
Pd-мелонит	4,8	–	–	–	–	–	–
Винцентит	2,4	–	–	1,2	–	–	–
Атенеит	2,4	–	–	–	–	–	–
Звягинцевит	–	–	–	–	0,8	–	–
Изомертнит (?)	–	–	–	–	–	5,8	–
Атокит (?)	–	–	–	–	–	–	1,1

*В скобках – количество зерен.

170 мкм (брэггит). Подавляющая часть зерен платиновых минералов относится к наноминералам [43]. МПП содержат и другие минералы: пирротин (до 140 г/т Rh), пентландит (до 2925 г/т Pd), халькопирит (до 40 г/т Pt и 74 г/т Pd).

По нашему мнению, заключительная часть минералогической статьи Н.Л. Балаболина с соавторами настолько важна, что мы приводим ее целиком:

“В составе комплексных малосульфидных платинометаллических никель-медных руд Федорово-Панского расслоенного массива установлено свыше ста рудных минералов разных классов. Но минералогический облик руд в целом отражают немногие из них: платинометаллических – меренскит $Pd(Te,Bi)_2$; монченит $Pt(Te,Bi)_2$; брэггит, куперит $(Pt,Pd,Ni)S$; высокоцит $(Pd,Ni)S$; сперрилит $PtAs$; никель-медных – две ассоциации: количественно преобладающая – пирротин, халькопирит, пентландит (\pm пирит, магнетит, ильменит) и локально развитая – халькопирит, борнит, миллерит. Многочисленны (95) и разнообразны по составу минералы и неопознанные фазы платиновых металлов (МПП).

Изменчивость морфологии, парагенетических взаимоотношений минералов и фаз платиновых металлов с сульфидами и силикатами руд, в сочетании с известными данными модельных экспериментов, свидетельствует о неодинаковых механизмах их кристаллизации (из расплавов, твердофазовые превращения, гидротермально-метасоматическим путем) в сильно разлагающихся физико-химических условиях (по температуре от $\sim 1000^\circ C$; по Eh – от ассоциаций с графитом до ассоциаций борнит-халькопирит-пирит, соответствующих устойчивости гематита) и в чрезвычайно длительном рудном процессе. Все это согласуется с установленной ранее Т.Б. Баяновой, Ф.П. Митрофановым весьма большой продолжительностью становления самой Панской интрузии по результатам изотопной геохронологии (U-Pb метод в цирконах и бадделситах).

Главные МПП руд – висмута-теллуриды и сульфиды Pd, Pt – характеризуются широкой изменчивостью состава, и по этому признаку в ряде случаев фиксируют отчетливую минералого-геохимическую гетерогенность и зональность в вариации вещественного состава руд. На этом основании можно предположить, что массивы Панских и Федоровых гундр – это не единая интрузия, а разные фазы или разные интрузии.

Ряд минералогических признаков (повышенная никельность пирротинов, наличие в них “экзотических” примесных элементов, повышенное количество промежуточных составов и др.) указывает на режим быстрого “закалочного” остывания массива и руд. А это может происходить в гипабиссальных или даже близповерхностных условиях формирования массива. Косвенным подтверждением этому выводу служит низкое содержание флюидов в породах и минералах массива (Докучаева, Припачкин, 1993; Рундквист, 1999), объяснимое дегазацией не вполне закристаллизовавшихся пород. Согласно Н.В. Пестровской (1982), характерными чертами малоглубинных месторождений являются следы развития в рудах метастабильных минеральных ассоциаций. Описанные выше висмута-теллуриды и сульфиды Pd и Pt демонстрируют это достаточно убедительно.

Наиболее близким аналогом в минералогическом плане платинометаллических руд Федорово-Панского массива в Кольской провинции являются руды г. Генеральской, а в мире – Великой Дайки в Зимбабве.

МПП эффективно экстрагируют в своем составе многие и разные микроэлементы, находящиеся в породах и рудах на субкларковом уровне, они являются, в отличие от главных сульфидов, чуткими индикаторами геохимической среды минералообразования и условий рудогенеза.

Незначительная роль сплавов МПП в составе платинометаллических руд Федорово-Панского массива и Кольской провинции в целом, вероятно, объясняется регионально повышенной концентрацией в рудах летучих р-элементов As, Sb, Se, Te, Bi, которые, имея высокое химическое родство к ЭПП (Ананьев, 1981), образуют с ними прочные химические соединения, препятствуя кристаллизации сплавов.

Многие специфические особенности МПП, возможно, объясняются их принадлежностью к микро- (0,100-0,001 мм) и наноминералам (менее 0,001 мм) (Балабоин, 1999). К этим особенностям относятся: пространственная кластеризация (группирование) тонкозернистых индивидов МПП; многокомпонентность состава МПП; резкая изменчивость состава МПП, проявленная на микро- и макроуровнях.

Установлено, как минимум, три формы нахождения МПП в рудах: в виде собственных минералов, рассеянная в рудообразующих сульфидах и оксидах, концентрированная (десятичные доли – целые проценты) в аксессуарных минералах благородных металлов (кобальтины) [43, с. 200].

Выполненные Н.Л.Балабоиным [43] и В.М.Изонто (1998) поминеральные балансы показывают, что:

весь родий руд связан с пирротинном, содержание в котором составляет 140 г/т; до 55% платины и 70% палладия входят в пирит-пентландит-халькопиритовую фракцию;

доля свободных зерен платиновых минералов, высвобожденных из силикатных фракций, достигает для платины 22%, а для палладия – 10%.

В.М.Изонто разработана первая в России гравитационно-флотационная схема получения из малосульфидных платинометаллических руд высококачественного черного концентрата (табл. 23). Технологические показатели получаемого на действующей обогатительной фабрике комбината “Печенганикель” концентрата (3% Ni, 1,2% Cu и низкие содержания МПП) значительно уступают федорово-панскому. При флотации последней получен кондиционный медный концентрат, содержащий примесь никеля (до 5-8%) и благородных металлов (до 1 кг/т), а также черновой медно-никелевый продукт для металлургической переработки. *Таким образом, доказана высокая технологичность и возможность комплексного освоения нового нетрадиционного для нашей промышленности типа платиноидного сырья – малосульфидного платинометаллического.*

Передел полученного платиноидного концентрата до готовой продукции может быть организован на условиях переработки давальческого сырья по схеме: обжиг на комбинате “Печенганикель”, плавка и рафинирование на комбинате “Североникель”, аффинаж электролитного шлама на заводе “Красцветмет” [96].

Характеристика черного концентрата,
полученного при гравитационно-флотационном обогащении платинометалльных руд
Федорово-Панского месторождения (выход концентрата 4,16-10,91%)

Элемент	Содержание*	Коэффициент концентрации	Извлечение, %
Pt	4,4-25	9,1-61,5	76,9-94,1
Pd	18,7-410**	10,8-72,7	53,2-81,3
Rh	0,52-15,3	9,2-12,6	52,7-75,0
Au	2,54-14,4	12,4-58,3	77,9-88,0
Ni	0,88-2,03	8,2-60,6	56,5-89,6
Cu	1,79-6,53	15,4-104,2	84,6-94,0
S	4,3-12,7	10,0-46,4	Нет свед.

*Pt, Pd, Rh, Au – в г/т, Ni, Cu, S – в %.

**Учтены данные Кольского горного института.

С геолого-поисковых позиций малосульфидное платинометалльное оруденение массива может быть дифференцировано в следующей иерархической последовательности: оруденелый уровень – *рифовая* зона мощностью сотни метров и с содержаниями платиноидов более 0,1 г/т → рудоносный горизонт – *рифовая пачка* мощностью десятки метров и с содержанием более 1 г/т → рудное тело – *риф* мощностью десятые доли метра–первые метры. Для общей характеристики оруденения существенны следующие показатели: из более 2000 проанализированных проб, показавших повсеместное присутствие МПГ, в 500 [96] установлены повышенные (более 1,882 г/т в сумме) и высокие содержания (платины до 9,7 г/т, палладия до 36,4 г/т) при низких количествах цветных металлов (никеля 0,02-0,49%, меди 0,03-0,53%) и серы (1-4%). В пробах также обнаружены родий (0,02-0,84 г/т), рутений (0,01-0,05 г/т), иридий (0,06-0,12 г/т), золото (0,3-2,6 г/т) и серебро (до 6,12 г/т).

Геохимические поля и потоки Федорово-Панского месторождения проявлены весьма четко. Установлено, что сам массив уверенно выделяется аномальным гипергенным геохимическим полем низкого концентрирования и рассеяния меди (0,004%), никеля (0,005%), цинка (0,013%), хрома (0,011%). Рифовые пачки отражаются в геохимических полях среднего и интенсивного концентрирования палладия (до 300 м длиной) и платины (около 100 м). Совместное изучение геохимических и геофизических полей привело к созданию комплексной физико-геохимической модели уникального малосульфидного Федорово-Панского месторождения (рис. 21, 22), имеющей фундаментально-поисковое значение.

Имандровское месторождение – это несколько крупных и мелких сконцентрированных проявлений платиносодержащих хромитовых руд, приуроченных к входящим в Имандровский лополит интрузиям.

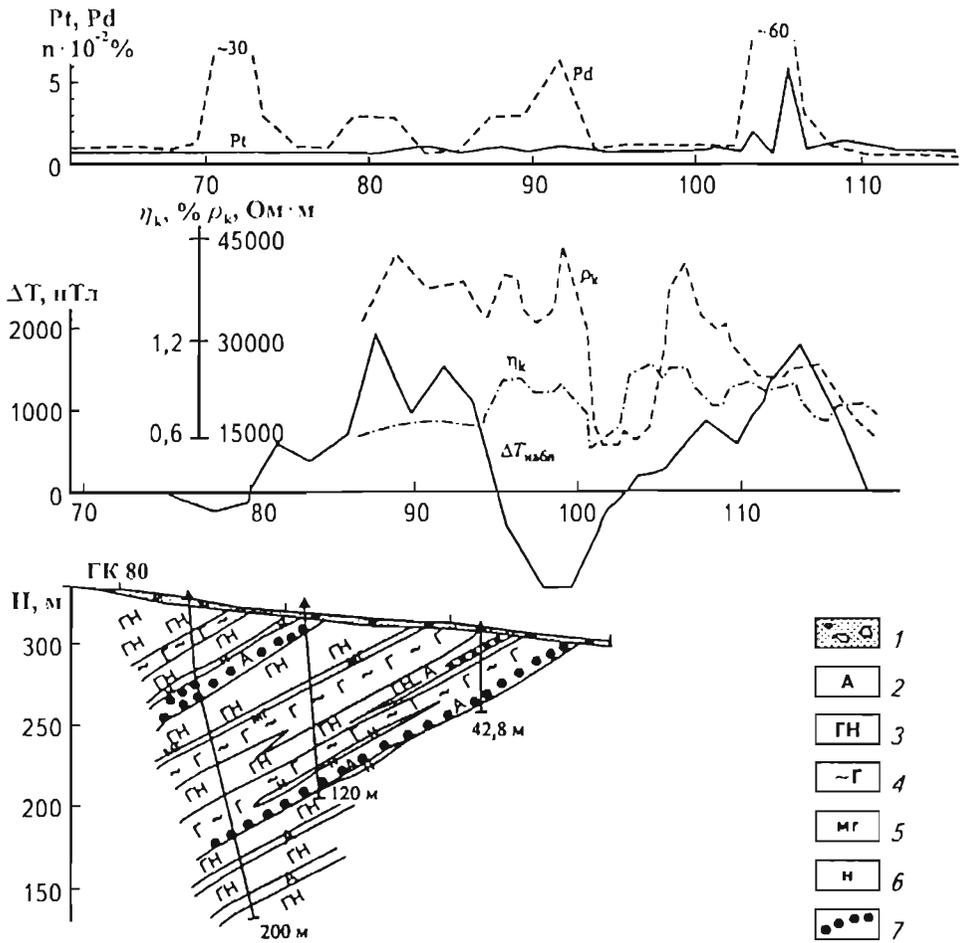


Рис. 22. Соотношение аномальных платиногеохимических и геофизических полей ушкального малосульфидного платино-палладиевого месторождения фелорово-панского типа [91]

1 – четвертичные отложения; 2 – анортозиты; 3 – габбро-нориты; 4 – амфиболизированные габбро и габбро-нориты; 5 – магнетитовые габбро; 6 – нориты и пироксениты; 7 – платиноносные рифы

Достаточно детально Ф.П. Митрофановым с соавторами изучен разрез хромитоносной толщи гор Девичьей и Майявр [57]. На этом участке выявлены шпильры хромитовых руд в Нижней красной зоне и четыре пласта в меланократовых норитах мощностью 0,1-1,7 м. Содержание Cr_2O_3 колеблется от 17,5% в первом до 23,64% в верхнем пластах Fe_2O_3 – 3,5-5,42%, а FeO – 13,05-16,09%. Несколько выше (до 29,3%) содержание Cr_2O_3 в жильных хромититах Чернореченской интрузии.

В Имандровском массиве отмечены густо-, средне-, редко- и убоговкрапленные хромитовые руды с уменьшением количества хромшпинелидов от 90 до 10%.

В хромовых рудах г. Девичьей содержится, г/т: платина – 0,014-1,0; палладий – 0,032-1,32; родий – 0,001-0,19; рутений – 0,011-0,14; золото – 0,01-0,98 [60]. В хро-

мигматах Прихибинской интрузии сконцентрировано 0,053 г/т Pt, 0,215 Pd, 0,04 Rh, 0,16 г/т Ru.

В хромититах интрузии г. Большая Варака установлены лаурит-эрлихманит, платарсит, холлингвортит, маланит, куперит, изоферроплатина; размер зерен составляет 1-20 мкм. В большинстве случаев платиновые минералы находятся в межзерновом пространстве между силикатами и хромитом, причем в последнем чаще всего отмечаются лаурит-эрлихманит и реже изоферроплатина [57].

Одно из хромитовых месторождений лополита – Большая Варака – планируется для обработки норвежской компанией Elkem с обогащением на комбинате ПО “Апатит”. Ожидаемая годовая мощность – 300 тыс. т сырой и 122 тыс. т товарной руды [45].

С Имандровским лополитом связаны также бедные платиносодержащие ванадий-титаномангнетитовые руды, образующие в феррогаббро прикровлевой зоны горизонт мощностью около 12 м. В рудах содержится до 6,27% TiO_2 ; 0,75% V_2O_5 ; 32,83% валового железа; 0,022 г/т Pt; 0,13 г/т Pd и 0,1 г/т Au. В апортозитах установлено 0,008-0,12 г/т Pt, 0,009-0,41 г/т Pd и 0,002-0,29 г/т Au, но практического интереса такие содержания не представляют.

Бураковское месторождение связано с одноименным перидотит-пироксенит-габбро-апортозит-норитовым массивом. С позиции нахождения платинометалльного оруденения в массиве интерес представляют Ультраосновная, Клинопироксенитовая и Габбро-норитовая зоны. В первой установлено пять хромитовых горизонтов мощностью 0,05-5,4 м, из которых наиболее мощный получил название Главного хромитового горизонта (среднее содержание Cr_2O_3 составляет 22,6%). В строснии Главного хромитового горизонта выделяются две зоны: нижняя с тремя и верхняя с двумя подзонами [90]. Намеченные зоны и подзоны состоят из хромитита особого типа или обогащенных Cr_2O_3 ультрамафитов. В целом платиноидный ряд горизонта имеет вид $Ru \rightarrow Pd \Rightarrow Os \rightarrow Pt \rightarrow Ir \rightarrow Os$ (хромитовый осмиево-пиридисво-платиновый минералого-геохимический тип). Среднее содержание МПГ в хромититах Главного хромитового горизонта составляет 0,613 г/т. В.Г.Лазаренковым с соавторами (1991) отмечается также сохранение отношений $(Ru + Os + Ir + Rh)/(Pt + Pd)$, Pt/Pd и $(Ru + Os)/(Ir + Ru)$ для отдельных зон Главного хромитового горизонта при преобладании редких платиноидов – рутения и осмия (тугоплавких платиноидов). В менее мощных пластах хромититов количество платины достигает 1,2, а палладия – 3,2 г/т [63].

В хромититах платиновые минералы представлены в основном сульфидами (86%) серии лаурит-эрлихманит и интерметаллидами Pt с Fe, Cu, Ni ряда изоферроплатина-аварунит с зернами до 35 мкм [90]. В сульфидах содержится 39,72-44,6% Ru, 12,97-22,42 Os и 2,15-5,09 Ir, иногда до 1,79 Pt и 2,19% Rh. Состав изоферроплатины, %: Pt – 83,87-89,47; Fe – 7,0; Rh – 1,9; Ir – 0-3,2; Ni – 0,8; Cu – 0,9-1,3. В аваруните присутствует 0,54% МПГ, в том числе 0,31% Ir.

Сотрудниками Карельской экспедиции [10, 63, 91] в пределах массива выявлены также малосульфидное платинометалльное оруденение и эпигенетический тип

платиновой минерализации. Первый тип – сульфидсодержащие (1-5%) породы в верхней части Клинопироксенитовой зоны и Полосчатой подзоны Габбро-порфировой зоны. Важная характеристика платиноносных горизонтов Шалозерского и Аганозерского блоков – присутствие прослоев ортопироксенитов и вебстеритов, в них содержится 1-3 г/т МПГ (Pt:Pd = 1 : 5) и 3-17,2 г/т Au [63]. Горизонты имеют форму линз протяженностью 100-400 м, мощностью 1-3,2 м. В Полосчатой подзоне подобная минерализация тяготеет к двум горизонтам дунит-гарцбургитов. Количество МПГ при отношении Pt:Pd, равном 1 : 3, достигает 6,5 г/т. В этом типе минерализации установлены теллуриды и теллурувисмутиды платины и палладия рядов: мончсит–меренскит, котульскит–соболевскит, а также фрудит–сонцент [91]. Авторы полностью согласны с заключением В.А.Ганина и др. [63] о высокой (~1500 т) оценке металлогенического потенциала малосульфидных платинометалльных руд. В [63] также охарактеризовано эпигенетическое палладиевое (до 10 и более г/т) оруденение в зонах субмеридиональных разломов. Известны, но плохо изучены, платиносодержащие коры выветривания, связанные с рассматриваемым массивом.

Уже начинается освоение Аганозерского месторождения хромитов с общими ресурсами ~100 млн т руды, а для открытой обработки – 20-40 млн т [46]. Обогащенная (до 46% Cr₂O₃) руда будет поступать на завод в Тихвин Ленинградской области с получением 140 тыс. т феррохрома ежегодно. В связи с этим определяющее значение приобретает создание технологии попутного извлечения платиниодов. В.М.Изоитко (1998) при использовании гравитационно-магнитной схемы с электронимпульсной дезинтеграцией из хромитовой (Cr₂O₃/Fe_{общ} = 1,6) руды, содержащей (в г/т): Pt – 0,02; Pd – 0,05; Rh – 0,005; Ru – 0,15; Ir – 0,06; Os – 0,12; Au – 0,06 и Ag – 3, были получены магнитный и немагнитный концентраты, обогащенные платиной, палладием и золотом (табл. 24).

Таблица 24

Содержание и извлечение МПГ при обогащении хромитовых руд Бураковского месторождения (по В.М.Изоитко)

Продукт	Выход, %	Содержание, г/т				
		Извлечение, %				
		Pt	Pd	Ru	Os	Au
Магнитная фракция	0,072	<u>12,1</u>	<u>15,6</u>	<u>7,9</u>	<u>7,1</u>	<u>6,3</u>
		44,0	22,4	3,8	4,2	7,5
Немагнитная фракция	0,811	<u>0,49</u>	<u>3,2</u>	<u>1,6</u>	<u>1,0</u>	<u>4,3</u>
		20,0	52,3	8,7	6,6	58,5
Гравитационный концентрат	0,883	<u>1,43</u>	<u>4,22</u>	<u>2,1</u>	<u>1,5</u>	<u>4,5</u>
		64,0	74,7	12,5	10,8	66,0
Хвосты стола	99,117	<u>0,007</u>	<u>0,012</u>	<u>0,13</u>	<u>0,11</u>	<u>0,02</u>
		36,0	25,3	87,5	89,2	34,0
Исходная проба	100,00	0,02	0,05	0,15	0,12	0,06

Приняв общее извлечение МПГ за 40% при общих ресурсах порядка 100-120 т, можно будет получить 30-40 т платиноидов. А ведь их стоимость намного перекроет расходы на реконструкцию Тихвинского завода и сам добычной проект.

Пудожгорское и Койкаро-Святнаволоцкое золоторудно-платиносодержащие ванадий-титаномагнетитовые месторождения (ванадий-титаномагнетитового (золото)-платино-палладиевого минералого-геохимического типа) связаны с одноименными раннепротерозойскими (2050 ± 50 млн лет) габбро-долеритовыми (трапповыми) интрузиями, расположенными в бортах Онежской впадины. Эти интрузии мощностью 120-150 м и протяженностью около 20 км относятся к ряду феррогаббро-долерит-феррогаббро-диорит и расчленены на габбровую и диоритовую зоны (табл. 25).

Рудный горизонт в составе габбровой зоны Пудожгорской интрузии сложен титаномагнетитовыми рудами со слесом богатых (~60% титаномагнетита) руд мощностью 5-10 м с содержанием TiO_2 – 9,25%, V_2O_5 – 0,3% и валового железа – 47,65%. Количество V_2O_5 в титаномагнетите составляет 0,97-1,39%, TiO_2 – 9,93-12,62%. В составе диоритовой зоны выделены горизонты (снизу вверх): мелнократовый амфиболовый (мощность 3,1 м); мезократовый нижний (11 м); лейкократовый (40 м); мезократовый верхний (11,9 м). Предполагается, что рудный горизонт концентрирует в процессе ликвации платину (0,112-0,505 г/т), палладий (0,447-1,11 г/т), золото (0,117-0,304 г/т), а также никель и медь (табл. 26).

В составе Пудожгорской интрузии выделены Пудожгорский и Тубозерский участки [64]. На первом участке закартировано пластообразное тело протяженностью 7,1 км по простиранию и 1500 м по падению; мощность 7,4-23,9 м. В его центральной части оконтурены богатовкрапленные (до 40% титаномагнетита) руды мощностью 5-10 м.

Параметры рудных тел и содержания в них МПГ и золота дают веские основания относить рассмотренные месторождения к категории крупных. В рудах установлены теллуриды палладия (котульскит, меренскит) с небольшой примесью висмута и электрум. Разработана технология извлечения платины, палладия и золота из комплексных ванадий-титаномагнетитовых руд. Она включает двухстадийное магнитное обогащение с выводом из потока отвальных хвостов. При флотации получен сульфидный концентрат, содержащий 23,9% Си при извлечении 70,5%. В медном концентрате с выходом 11,6% установлено содержание МПГ в количестве 38,7 г/т (в исходной руде – 0,8 г/т), золота – 19,3 (0,17) г/т и серебра 77 (0,4) г/т. Исследованиями ПГО “Севзапгеология” из хвостов магнитной сепарации (сульфидного концентрата) извлечение платины составило 74,7%, палладия – 77,8%, а золота – 72,3% [67]. Таким образом, открытая в 90-е годы на участке “Пудожгора” В.И.Кочневским-Первуховым и Е.В.Заскиндом благороднометаллическая минерализация вылилась с годами в крупное месторождение.

Благоприятные физико-географическое положение и горно-технические условия отработки описанных объектов, крупные ресурсы благородных металлов, комплексность руд (Pt, Pd, Au, Fe, Ti, V), положительные данные технологии извлечения благородных металлов дают полное основание рекомендовать отработку

Химический состав Пудожгорской интрузии

Оксиды	Горизонты габбровой зоны			Горизонты диоритовой зоны				Контактовые долериты (8)	Средневзвешенное на мощность	
	Подрудный (7)*	Рудный (11)	В целом по зоне (18)	Мелано- кратовый (2)	Мезо- кратовый** (4/4(8))	Лейко- кратовый (28)	В целом по зоне (38)		по интрузии (54)	участвующую в ликвации (39)
SiO ₂	45,0	26,30	35,60	44,60	55,8/53,7 (54,8)	63,40	59,90	48,30	50,30	52,30
TiO ₂	2,21	9,25	5,73	4,34	1,49/1,72 (1,61)	0,84	1,27	1,74	2,85	3,07
Al ₂ O ₃	14,50	9,37	11,94	11,36	11,40/11,80 (11,62)	11,90	11,80	12,80	11,90	11,20
Fe ₂ O ₃	6,05	19,05	12,55	5,92	3,61/5,80 (4,69)	6,22	5,72	4,27	7,90	8,66
FeO	14,20	25,70	19,55	18,39	12,80/11,30 (12,06)	5,53	8,20	13,00	12,60	12,30
Fe ₂ O ₃ общ	21,86	47,65	34,75	26,32	17,81/18,40 (18,09)	12,37	14,83	18,80	21,90	22,50
MnO	0,17	0,36	0,26	0,37	0,29/0,24 (0,25)	0,09	0,15	0,22	0,20	0,20
MgO	3,54	3,29	3,41	2,34	1,66/1,88 (1,76)	0,94	1,26	4,94	2,32	1,74
CaO	7,62	4,70	6,31	6,30	4,85/4,98 (4,91)	2,61	3,45	7,77	4,88	3,83
Na ₂ O	2,22	1,27	1,75	2,75	3,61/4,68 (4,15)	6,02	5,27	2,59	3,81	4,31
K ₂ O	1,23	1,39	1,31	1,08	1,13/1,25 (1,19)	1,06	1,10	1,33	1,20	1,20
P ₂ O ₅	0,24	0,19	0,21	0,30	0,71/0,58 (0,65)	0,22	0,36	0,26	0,30	0,31

*В скобках – количество анализов.

**В числителе – нижний горизонт, в знаменателе – верхний, в скобках – в целом по горизонту.

Содержание МПГ и золота в породах и рудах Пудожгорской и Койкаро-Святнаволоцкой интрузий

Интрузия	Зона	Горизонт	Количество анализов	Содержание, мг/т			
				Pt	Pd	Rh	Au
Пудожгорская	Габбровая	Подрудный	11	28,7	87,0	3,0	31,0
		Рудный	11	112,0	447,0	2,0	117,0
	Диоритовая		18	3,0	12,0	Нет свед.	10,0
	Закалки		7	25,0	77,0	"-	24,0
	В целом по интрузии		47	27,9	88,4	"-	34,0
Койкаро-Святнаволоцкая	Габбровая	Подрудный	10	13,0	45,0	2,0	20,0
		Рудный	32	186,0	457,0	4,0	232,0
	Диоритовая		11	3,0	9,0	Нет свед.	11,0
	Закалки		2	19,0	84,0	"-	24,0
В целом по интрузии		55	29,0	75,0	3,0	41,0	

указанных объектов и поиски новых, связанных с подобными, широко развитыми здесь интрузиями. Не исключено, что детальное изучение последних приведет к открытию и новых типов руд: верхнесталнахского и норильско-талнахского.

Ковдорское платиносодержащее карбонатит-фоскоритовое (апатит-магнетитовое) месторождение связано с ийолит-карбонатитовым массивом, сложным оливинит-мелилитовыми породами, мельтейгитами, ийолит-фоскоритами и карбонатитами [19, 29, 54], и расположено в его западной части. Ковдорский массив позднедевонского возраста находится в юго-западной части Кольского п-ова и локализован в Кандалакшской зоне глубинных разломов, контролирующей целый ряд полихронных проявлений щелочного магматизма. Платиноидно-сульфидно-вкрапленные руды в карбонатитах и связанных с ними фоскоритах Ковдорского массива (платиноидный апатит-магнетитовый минералого-геохимический тип) являются аналогами месторождения Палабора в ЮАР.

На месторождении установлены форстеритовые, апатит-форстерит-магнетитовые, кальцит-форстерит-магнетитовые с зеленым флогопитом, кальцит-магнетитовые, апатит-кальцит-магнетитовые, карбонатитовые, кальцит-форстерит-магнетитовые с тетраферрифлогопитом (редкометалльные), доломит-форстерит-магнетитовые, доломит-тремолит-магнетитовые руды, содержащие незначительную (0,5-2%) примесь сульфидов [29]. В редкометалльных рудах в карбонатитах восточной части в центре месторождения количество сульфидов достигает 5%; выявлены кубанит, борнит, халькопирит, пирротин, пирит, джерфшерит, молибденит, галенит.

В.В.Иванниковым, Н.И.Красновой и др. [29, 63] в сульфидсодержащих кальцит-тетраферрифлогопит-магнетитовых (редкометалльных) и доломит-магнетитовых фоскоритах определено до 1,775 г/т палладия, 0,44 г/т платины, 0,045 г/т золота и 16 г/т серебра (атомно-абсорбционный анализ ЦНИГРИ).

Разработка технологии получения платиновых металлов, золота и серебра из сульфидного продукта не может вызвать проблем. Тем более, что вполне возможно использование существующих технологий на комбинатах Норильском и "Печенганикель". В последнем случае это значительно увеличит объемы получения платиновых металлов на Кольском п-ове.

Магнитная сепарация комплексных руд Ковдорского месторождения приводит к получению магнетитового, а флотация – апатитового концентратов, в дальнейшем гравитационная сепарация приводит к получению черного бадделецитового концентрата. Складируемый сульфидный продукт выделяется при доводке последнего (Богданович, Поганкина, 1987). Получаемый продукт, по Н.С.Рудашевскому с соавторами (1995), содержит, г/т: Pt – 0,22; Pd – 0,22; Rh – 0,04; Ir – менее 0,012; Ru – 0,005 (анализы АО "Механобр-Аналит"). Эти результаты анализов представляются нам заниженными. Н.С.Рудашевским и др. (1995) в концентрате из сульфидного продукта идентифицированы изоферроплатина, платина самородная, куперит, бреггит, сперриллит, мончит, рустенбургит, мертинит-I, мертинит-II, атокит, изомертинит, собольевскит, арсенопалладинит, звяглицевит, плюмбопалладинит и неазванная фаза $(Pd_{1,86}Ag_{0,18})_{2,04}(Te_{0,56}Pb_{0,16}Sb_{0,13}Sn_{0,11})_{0,96}$, а также самородное золото, электрум, гессит и аргентопентландит с размером зерен до 175 мкм.

Учитывая широкую распространенность в регионе подобных интрузий и первые положительные результаты по некоторым из них (массив Себляввр – до 5-7 г/т МПГ в халькопиритовом концентрате из кальцит-доломитовых карбонатитов и др.), необходимо провести специальные работы по оценке платиноносности пйолит-карбонатитовых массивов.

В последние годы в углеродистых комплексах Карелии выявлена серия потенциальных платиноносных полиметалльных (платиноидный углеродистый минералого-геохимический тип) и золоторудных месторождений (Падминское, Царевское, Шульгиновское, Нижне-Уницкое и др.), относимых к онежскому типу с собственно онежским и уницким подтипами. Платиноидно-полиметалльные месторождения (Средняя Падма, Шульгиновское и др.) *онежского подтипа* контролируют зоны СРД и узлы их пересечения с субмеридиональными и северо-восточными разломами. Ширина рудоносных интервалов Тамбицкой, Святухинско-Космозерской и Уницкой зон составляет до 600 м, а их протяженность – до 2,5 км. В каждом из этих интервалов зафиксировано несколько рудных залежей, имеющих сигаро-, шнуровидную форму, выделяются также штокверкообразные тела, прослеживающиеся до глубин 500-600 м и более.

Рудные залежи расположены обычно в центральных ("осевых") частях зон СРД – в крутопадающих антиклинальных складках, как правило, на их крыльях, осложненных продольными взбросами. Обычно оруденение размещается на контакте карбонатных пород туломозерской свиты и углеродсодержащих алевролитов

заонежской свиты. Максимально платиноносные рудные тела приурочены к контакту алевролитов и высокоуглеродистых глинисто-карбонатных сланцев заонежской свиты. Обязательное присутствие оруденения в алюмосиликатных породах – своеобразный поисковый признак.

Оруденение располагается зонально. Во внешних частях метасоматических зон, выходящих за границы зон СРД, развиты медно-молибденовые руды, локализованные в альбититах с доломитом, флогопитом, рибекитом и иногда акмитом. Карбонатно-роскоэлит-хромфенгитовые (карбонатно-слюдистые) метасоматиты занимают промежуточную зону, а внутреннюю – хромфенгит-роскоэлитовые метасоматиты (слюдиты) – комплексные ванадиевые руды. Они и представляют комплексную ванадиевую руду. В слюдитах внутренней зоны и, намного реже, в промежуточной зоне широко развиты кварц-карбонатные жилы и прожилки, несущие платиноиды, золото, серебро, а также уран. В них заключено свыше 70%, а в слюдитах и карбонатно-слюдистых метасоматитах – лишь 30% платиноидов [62].

Преобладают массивные, прожилково- и гнездово-вкрапленные руды полиминерального состава. Основную роль играют ванадиевые (роскоэлит) и хромовые (хромфенгит) слюды совместно с ванадиевым (акмит) и хромовым (хромэгирином) эгиринами и с хромдравитом. Минеральные формы урана – настуран, коффинит, брашнерит, карнотит, тюямунит и болтвудит. Селениды свинца, меди и висмута (клаусталит, платинит, парагуанахуатит), сульфиды и оксиды железа, меди, свинца, цинка, молибдена, ванадия (карелианит, кызылкумит, ванадиевый гематит и др.), хрома (эсколант), а также самородные медь, железо, золото и другие рудные минералы установлены в кварц-карбонатных прожилках, в слюдинитах и карбонатно-слюдистых метасоматитах. Можно условно выделить три типа соединений палладия и висмута: интерметаллический, сульфоселенидный и селеносульфидный [10, 62; Полеховский и др., 1989; Савицкий и др., 1991]. В первом преобладают полирит и фрудит, во втором – сульфоселениды и селеносульфиды сложного состава, тяготеющие обычно к красным частям зерен селенида свинца (клаусталита). В рудах этих типов содержатся также свинец, медь, серебро, железо (до 4%) и платина (до 0,3%). В гнездах и прожилках битумоидов пиронафтоидного ряда отмечаются платина и родий.

Возраст образования настуранов, селенидов свинца и висмута составляет 1770-1730 млн лет, а время преобразования и перераспределения соответственно 1100-900 и 280-270 млн лет. Возраст галенитов из платиноносных кварц-сульфидно-карбонатных пород по Pb-Pb методу составляет 260 ± 50 млн лет. Уран-свинцовая изохрона, полученная в ВИМСс для гидротермальных метасоматитов с палладием, платиной и золотом, подтверждает их палеозойский возраст – 270 ± 30 млн лет [97]. Таким образом, существуют безусловные доказательства проявления процессов палеозойской активизации в формировании платиносодержащих полиметалльных месторождений Онежской впадины.

В качестве источников ванадия, благородных металлов, урана и ряда других полезных компонентов рассматриваются вулканогенно-осадочные породы ниж-

него протерозоя и верхнего архея, а также глубинные очаги корового и мантийного происхождения, проявившиеся в свеклофенскую и палеозойскую эпохи активизации [62].

Количество V_2O_5 варьирует от 1,5 до 10%, составляя в среднем 2,7%, а палладия – от 0,5 до 400 г/т (на мощность 0,5-0,7 м), платины – 0,05-30 г/т (на мощность 0,3-0,5 м); $Pt/Pd = 5$. Выявлены также иридий (от 0,005 до 1 г/т) и родий (до 0,6 г/т), а в отдельных пробах – осмий (до 0,2 г/т). Концентрация золота составляет от 0,01 до 2, достигая в отдельных случаях 250 г/т (на мощность 0,3-0,5 м), а серебра – от 5 г/т до 1500 г/т (на мощность 0,6 м). Уран присутствует в концентрациях от 0,008 до 0,5%. Медно-молибденовые руды (на мощность 10-12 м) в среднем содержат, %: медь – 0,9, молибден – 0,05, цинк – 1,6, свинец – 2.

Итак, платиноидно-полиметалльные руды онежского подтипа являются полиминеральными (до 90 минералов) и многокомпонентными (~60, в том числе 20 в содержаниях, близких к промышленным). Для месторождений онежского подтипа, конкретно для месторождения Падма, разработана комплексная гидрометаллургическая технология извлечения урана, ванадия и благородных металлов. Ванадий извлекается из исходной руды на уровне 68%, получается сульфидный продукт, из него извлекается до 90% всех платиновых металлов, золота и серебра.

В *уницкий подтип* платиноносных углеродсодержащих толщ включены [63, 64] рудопроявления МПГ, залегающие в шунгитопосных отложениях средней подсвиты заонежской свиты, локализованных в периферических частях Онежской проторифтогенной впадины (рис. 23).

Рудопроявления приурочены к пологим синклинальным складкам северо-западного простирания с размахом крыльев 20-30 км, разделенным крутопадающими зонами складчато-разрывных дислокаций (СРД), а также к пакетам надвигов. Стратиформные рудные залежи заключены в пластах сульфидоносных углеродистых гидрослюдистых пелитов и алевролитов углеродисто-карбонатно-сланцево-толеит-базальтовой формации и полностью отвечают нормальным черным сланцам. Мощность пластов иногда достигает 35 м (в среднем 8-10 м). Они составляют до 50% общего объема платиноносной толщи средней подсвиты заонежской свиты. Содержание углерода в черных сланцах 8-25% (при $C_{орг}/C_{карб} > 15$), платиноидов – 0,3-0,5 г/т (при $Pd/Pt = 4,6$ и $Ir = 0,035$ г/т), золота – 0,01-1,01 г/т и меди, цинка, никеля, ванадия, молибдена, урана – десятки-тысячи грамм на тонну. Средневзвешенное количество палладия в породах средней подсвиты заонежской свиты составляет 0,063 г/т, платины – 0,012, золота – 0,025 и серебра – 0,15 г/т. Углеродистое вещество – антракосолит и сложные по составу оксикериты. Количество сульфидов (в основном – пирит) в платиноносных черных сланцах составляет 0,2-9,5% (в среднем 2-3%).

А.В.Савицкий [65] в составе уницкого подтипа выделил три минеральных типа руд: интерметаллический-глобулярный (Нижне-Уницкое рудопроявление; см. рис. 23), пирит-антракосолитовый и пирит-оксикеритовый с МПГ и Au – “конкрещивидный” (Толвуйское) и кальцит-сульфидно-битумондный с МПГ и Au – “прожилковый” (Пургинское рудопроявление).

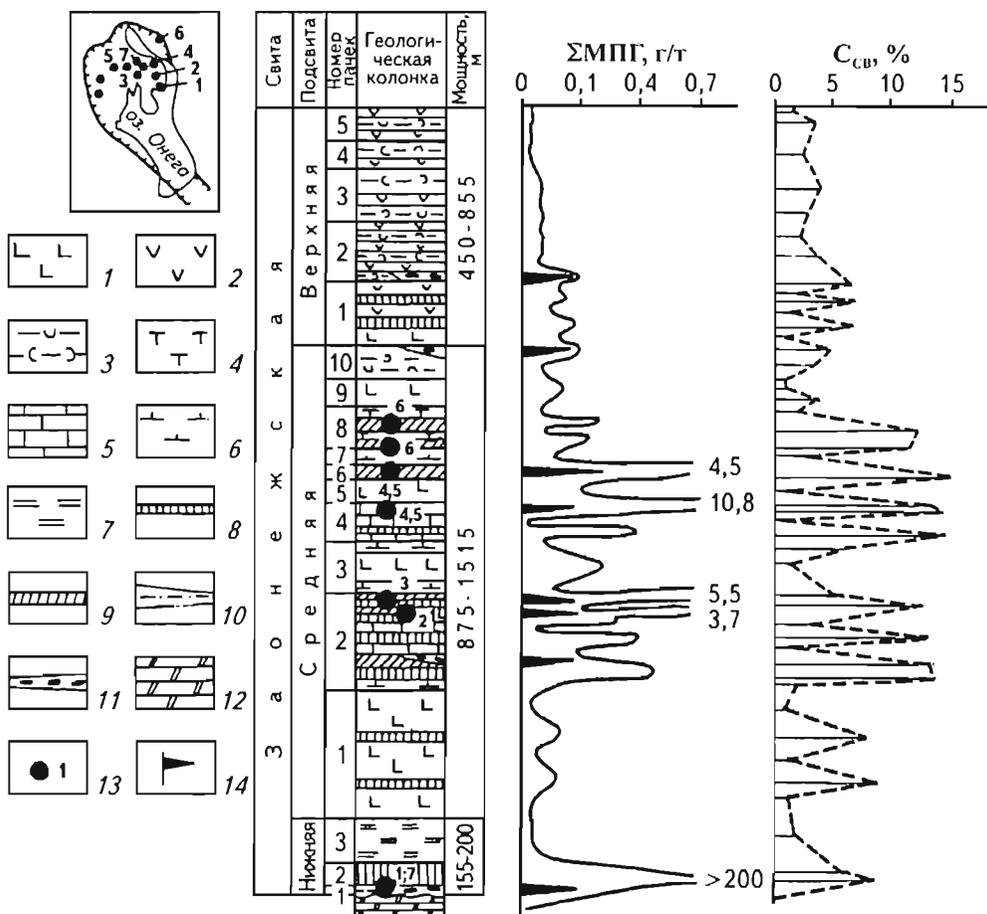


Рис. 23. Сводный стратиграфический разрез заонежской свиты с кривыми распределения МПГ и $C_{св}$ (по Ю.С.Полеховскому и А.И.Голубеву (1989), с дополнениями и изменениями А.В.Савицкого и др. [80])

1 – долериты, габбро-долериты, габбро (силлы); заонежская свита: 2 – базальты, подчиненно пикритобазальты (покровы); 3 – ритмично-слоистые шунгитсодержащие туфоалевролиты, туффиты, туфы; 4 – туфоалевролиты, туффиты, туфы; 5 – шунгитсодержащие карбонатные породы с прослоями лидитов и туфоалевролитных доломитов; 6 – шунгитсодержащие лидиты, силициты; 7 – пестроцветные сланцы (“кривозериты”); 8 – ритмично-слоистые шунгититы и шунгитовые пелиты, алевропелиты, алевролиты, нередко сульфидсодержащие с прослоями шунгитистых доломитов; 9 – шунгитсодержащие алевропелиты, алевролиты; 10 – полвошпатовые песчаники, алевропесчаники, алевролиты; 11 – конгломераты, гравелиты, песчаники; туюмозерская свита: 12 – доломиты с прослоями строматолитовых доломитов, пелитов и алевролитов; 13 – рудопроявления и месторождения комплексных платиностабильных руд (на колонке и врезке): 1 – Ср. Падма, 2 – Пургинское, 3 – Нижне-Уницкое, 4 – Толвуйское, 5 – Кяпсесельское, 6 – Пажское, 7 – Шульгиновское; 14 – положение (в разрезе) залежей комплексного платиноидного оруденения с содержанием золота 0,2-1,2 (до 2,5) г/т. На врезке – размещение основных платинометалльных объектов в границах Онежской впадины

Рудные залежи представляют собой шунгитовые и шунгитистые сланцы, характеризующиеся средними содержаниями платиновых металлов, равными 1,8-2,8 г/т (Pd/Pt = 3-7; Ir – 0,02-0,04 г/т), и золота – до 1 г/т. Каждое рудопоявление состоит из двух-трех пластов общей мощностью от 3,5 до 18 м. В них содержатся слои мощностью 2-25 см (до 35 см), обогащенные Pd до 9,5 г/т, Pt – до 2, Ir – до 0,26, Au – до 5,5, Ag – до 50 г/т, а также Cu (0,08%), Ni (0,3), Zn (0,2), V (0,1), U (0,03%), Bi и Mo. Протяженность рудных тел – 3-5 км, а по общегеологическим данным – до 30 км. Они зафиксированы в буровых скважинах в интервале глубин 20-150 м, иногда выходят на поверхность. Линзы конкреционных (до 20%) черных сланцев, фиксируемые на выклинивании крупных залежей шунгитов, содержат до 24,5 г/т палладия и 3,8 г/т платины. Протяженность таких линз от 100 до 700 м, мощность – 10-15 см (до 5 м), они прослеживаются до глубины 100 м.

В рудных телах выявлены самородные минералы, твердые растворы и интерметаллиды Au, Ag, Pd и Cu с размером зерен от 20 × 30 мкм до 110 × 160 мкм [65]. Размеры мономинеральных обособлений самородного палладия не превышают 2 мкм. Платина (до 3,6 г/т) и палладий (до 1,8 г/т) содержатся в пирите и халькопирите. В конкрециевидных пирит-антраксолитовых выделениях в битумах, непосредственно окаймляющих пирит, установлены самородное палладистое золото и палладий, а также клаусталит, в красных частях зерен которого обнаружен висмутид палладия. В платиноносных кальцит-битумных прожилках (содержание МПГ > 1,5 г/т) в самом углеродистом веществе отмечены интерметаллические соединения Au, Ag, Pd и Bi, состав которых еще предстоит изучить. Битумоиды концентрируют иридий (1,2-2,0 г/т), родий (0,6-1,0 г/т), осмий, платину (3-7 г/т), палладий (0,02-0,03 г/т). Аналогичные содержания платиноидов определены в битумоидах из битумоидно-сульфидно-карбонатных прожилков среди пегматитов Волыни и Корсунь-Новомиргородского плутона. Связь с шунгитом и антраксолитом в платиноносных прожилках преимущественно палладия, а со сложными битумоидами – родия, иридия и платины, скорее всего, по мнению А.В.Савицкого, свидетельствует о существовании нескольких источников МПГ стратиформного золото-платиносодержащего оруденения в углеродсодержащих породах Прионезского района. *Для него характерна тесная связь платиноидов, золота и серебра с битумами, прежде всего “нефтяного ряда”, прямая корреляция между содержаниями этих металлов и $C_{св}$ не устанавливается.*

Широкое развитие в пределах Карело-Кольского региона близкоодновременных платиноносных расслоенных массивов: Мончегорского (2490 ± 10 млн лет), Имандровского (2397 ± 5 млн лет), г.Генеральской, Федорово-Панского (2487 ± ± 5 млн лет), Торнио-Нюранкаваара, Бураковского и других – составных частей, сформированных в едином рифтогенном геодинамическом режиме разноранговых рудно-магматических систем с платинометалльными малосульфидными, платиносодержащими медно-никельскими, хромитовыми и ванадиево-титаномагнетитовыми рудами, дает основание говорить о возможном наличии в пределах Балтийского щита крупного ритмично-расслоенного (аналогичного Бушвельдскому) мафит-ультрамафитового массива – Балтийского с тремя ветвями: Печенга-Иман-

дро-Варзугской, Северо-Карельской и Южно-Карельской (см. рис. 13). Установленное тесное петрогенетическое родство породных рядов отдельных массивов Печенга-Имандро-Варзугской ветви отражает их формирование из единого магматического очага. Мотивированное предположение о существовании Балтийского расслоенного плутона значительно повышает перспективы платиноносности Кольской и Карельской провинций.

Федорово-Панский массив – это наиболее значимый перспективный, к тому же экологически безопасный, объект в стране. В пользу этого свидетельствуют:

благоприятное физико-географическое положение, близость к горно-металлургическим комбинатам “Печенганикель” и “Североникель”;

значительные (до 1600 т) прогнозные ресурсы P_3 МПГ в комплексных (Pt, Pd, Rh, Au, Ag, Ni, Cu, Co) низкосернистых рудах, обуславливающие высокую (до 10 млрд дол.) стоимость полезных компонентов в недрах [83];

неглубокое (первые единицы–сотни метров) залегание наиболее обогащенных МПГ рудоносных горизонтов (всего прослежено семь) при их значительной (десятки километров) протяженности;

высокие содержания МПГ (Pt – до 5,3 г/т, Pd – до 40 г/т, Rh – до 0,84 г/т; средние содержания МПГ достигают 17,39 г/т) при низком количестве серы (до 3-4%);

хорошие результаты по обогатимости руд;

возможность отработки руд карьерами и штольнями;

рассчитанная быстрая (2-3 года) окупаемость вкладываемых инвестиций.

В пределах массива Ю.Н.Седых, А.П.Никигичевым, Д.А.Додиним и другими оконтурено пять промышленно значимых месторождений с общими прогнозными ресурсами по категории P_3 более 500 т (рис. 24). К тому же вблизи Федорово-Панского массива располагаются Мончегорский перидотит-пироксенит-габбро-норитовый с сульфидно-платиноидно-медно-никелевым и малосульфидным платинометаллическим оруденением, Имандровский норит-габбро-диоритовый с платиноидно-хромитовым и платиноидно-ванадийсодержащим титаномагнетитовым оруденением.

Платинометаллическая минерализация Мончегорского плутона по условиям локализации, особенностям минерального и химического составов занимает промежуточное положение между комплексным малосульфидным оруденением Федорово-Панского массива и медно-никелевыми рудами, ассоциирующими с мафит-ультрамафитовыми массивами других формационных групп региона [64].

По мнению ряда исследователей [8, 64 и др.], вблизи г.Мончегорска могут быть открыты новые месторождения богатых руд. Так, по устному сообщению А.С.Галкина скважиной М-8к на глубинах 564,65-566,00 и 567,00-579,65 встречены сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды, содержащие 0,27-0,35% никеля, 3,06-5,47% меди, 0,013-0,015% кобальта, 1,31-1,59 г/т платины, 23,64-35,0 г/т палладия, 1,46-2,33 г/т золота и 31,18-43,72 г/т серебра.

Ресурсы P_3 Мончегорского платиноидно-медно-никелевого месторождения оценены в 1 млн т меди и никеля и 500 т МПГ [44]. Общие прогнозные ресурсы

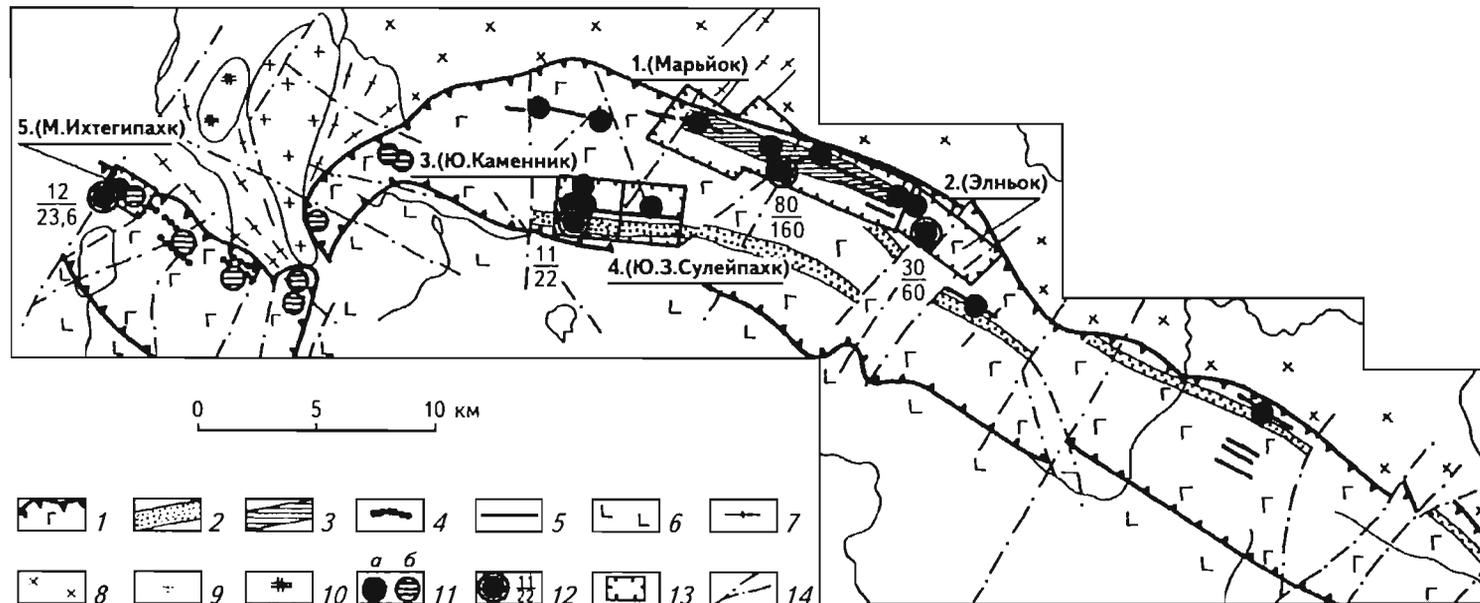


Рис. 24. Схема перспектив платиноносности Федорово-Панского массива
(составили Ю.Н.Седых, Д.А.Додин, А.П.Никитичев, В.М.Ступак)

1 – граница массива по геолого-геофизическим данным; 2-4 – платиноносные расслоенные горизонты (“рифовые пачки”): 2 – верхний, 3 – магнетитосодержащие габбро и габбро-нориты, 4 – нижний; 5 – платиноносные “рифы” анортозитового состава; 6 – вмещающие массив метавулканыты и метаосадочные породы; 7 – амфиболиты, гнейсы; 8, 9 – граниты щелочные (8), плагиомикроклиновые (9); 10 – субщелочные и оливиновые габбро и метагабро Олекчявирского массива; 11 – месторождения и рудопроявления: а – малосульфидные платинометальные, б – сульфидные медно-никелевые с МПГ; 12 – месторождения малосульфидных платинометальных руд с оцененными ресурсами до глубины 150 м (в числителе) и 300 м (в знаменателе); 13 – участки поисковых работ; 14 – тектонические нарушения

хромитовых руд Имандровского массива по категории P_3 до глубины 500 м могут быть оценены в 400 млн т, а МПГ по категории P_3 – около 500 т.

Приведенные данные позволяют считать, что на Кольском п-ове может быть создана новая комплексная (с Cu, Ni, Co, Cr, Ti и V) сравнительно экологически чистая минерально-сырьевая база платинодобычи. Это может существенно изменить негативную ситуацию с обеспечением сырьем действующих горно-металлургических предприятий северо-западного региона Российской Федерации и экологической безопасностью России, Швеции, Норвегии, Финляндии и других приполярных государств.

МСБ платинодобычи Карело-Кольского региона может быть расширена за счет платиносодержащих руд г. Генеральской в Печенгском районе (прогнозные ресурсы P_3 МПГ около 300 т при содержаниях до 5 г/т), Бураковского (~1500 т МПГ при содержаниях до 5 г/т Pt и Pd в платиноидно-хромитовых, 6,5 г/т МПГ и 17,2 г/г Au в малосульфидных платинометалльных и до 50 г/т Pd в палладиевых гидротермальных рудах), Луккулайсваарского (~60 т МПГ при содержаниях до 30 г/г в малосульфидных платинометалльных рудах) массивов и черных сланцев Онежского района в Карелии. Сюда могут быть включены и платиносодержащие титаномагнетитовые руды.

В последние годы на малосульфидном месторождении Луккулайсваара охарактеризованы четыре объекта: “Надежда”, “Восточное-КЗ”, № 2 и № 15. В первом, связанном с пластовым телом габбро-норитов, содержание платины достигает 10 г/т, а палладия – 30 г/т при среднем отношении первого металла ко второму, равному 1:4. Мощность рифов составляет 4-10 см, протяженность – десятки-первые сотни метров, среднее содержание МПГ – 1-8 г/т. В остальных рудопроявлениях количество МПГ не превышает 8 г/т. Прогнозные ресурсы (включая золото) указанных объектов составляют 26,5 т (Массив Луккулайсваара, 1997).

Суммарные прогнозные ресурсы (P_3) благородных металлов Пудожгорского и Койкар-Святнаволоцкого месторождений платиносодержащей ванадий-титаномагнетитовой формации до глубин отработки ~300 м оцениваются в 500 т, в том числе МПГ около 400 т при балансовых запасах титаномагнетитовых руд в 630 млн т при содержаниях: валового железа 23-32,6%; TiO_2 – 6,0-10,2% и V_2O_5 – 0,32-0,58%.

Суммарные запасы и ресурсы ванадия в месторождениях платиноидно-полиметалльных руд Онежского района оцениваются в 600 тыс. т, урана – в 31 тыс. т (среднее содержание 0,15%), золота и платиноидов – в сотни тонн (P_3) со средним содержанием [36], по предварительным данным, МПГ – 0,25 г/т, золота – 0,5 г/т.

Исходя из совокупности всех имеющихся данных по Онежскому рудному району, а также по Южно-Куолярвинскому и Южно-Ветренопоясному потенциально рудным районам [36, 62, 97], можно считать, что месторождения платиноидно-полиметалльных руд могут внести весомый вклад в создание минерально-сырьевой базы платиноидов и ряда других металлов на Северо-Западе России.

Для Карело-Кольского региона с его широким развитием щелочных магматитов после обнаружения платиноносности Ковдорского массива высока перспек-

тивность обнаружения значимых концентраций благородных металлов палаборского типа в коренных породах щелочно-ультраосновных карбонатитовых массивов. Для дальнейших поисков наибольший интерес могут представлять массивы Вуориярви, Себляярв и некоторые другие, близкие по строению к Ковдорскому массиву [54].

* * *

Карело-Кольская (Северо-Западная) база платинодобычи с хромом, титаном, ванадием, золотом, серебром и ураном может быть создана на основе малосульфидных платинометаллических, платиноидно-хромитовых, платиноидно-титаномagnetитовых руд Балтийского плутона, уран-благороднометаллическо-ванадиевых, платиноидно-золоторудных и стратиформных платиноидно-полиметаллических руд в черносланцевых толщах Онежского района и благороднометаллическо-содержащих ванадий-титаномagnetитовых руд в габбро-долеритовых массивах (Пудожгорский и др.) с очень значительным металлогеническим потенциалом платиновых металлов, хрома, титана, ванадия и урана, попутным золотом и серебром. Потенциал МПГ данного региона может несколько возрасти при установлении платиноносности апатит-нефелиновых и апатит-magnetитовых руд ийолит-карбонатитовых массивов Балтийского щита.

В целом для создания на Северо-Западе России минерально-сырьевой базы платинодобычи в ближайшие 5-7 лет необходимо выполнить:

разведку с попутной добычей и переделом на комбинатах "Печенганикель", "Североникель" и заводе "Красцветмет" малосульфидных платинометаллических руд верхнего и нижнего расчлененных горизонтов Федорово-Панского массива;

геолого-геохимико-минералогическое доизучение с поисками и общей оценкой ресурсов по категориям P_1 и P_2 малосульфидных платинометаллических руд всего Федорово-Панского массива с частичным переводом ресурсов в активные запасы и оконтуриванием конкретных промышленных объектов, а также выделение участков с минимальными отношениями палладия к платине;

аналогичные работы по оценке и переоценке ресурсов платиносодержащих хромитовых и платиносодержащих ванадиево-титаномagnetитовых руд Имандровского, сульфидных платиноидно-медно-никелевых, малосульфидных платинометаллических и платиносодержащих хромитовых руд Мончегорского плутона с проведением специализированных научно-исследовательских работ и разноплановых технологических испытаний;

разведку с переоценкой ресурсов и запасов благородных металлов платиносодержащих полиметаллических и золоторудных месторождений в углеродистых комплексах Онежского района;

разномасштабное геолого-геофизическое и геохимическое доизучение Бураковского, Пудожгорского, Койкаро-Святоволоцкого и ряда других объектов Карело-Кольского региона с поисками и частичной разведкой платиносодержащих руд;

перепробование пород всех ийолит-карбонатитовых массивов и имеющихся промпродуктов на платиновые металлы;

создание геолого-экономических и металлогенических моделей расслоенных и концентрически-зональных массивов и обоснование на долгосрочную перспективу направления геологоразведочных и научно-исследовательских работ;

разработку комплексных технолого-эколого-экономических обоснований по освоению платинометалльных руд Федорово-Панского и комплексных руд Пудожгорского, Койкаро-Святнаволоцкого, Мончегорского, Бураковского и других массивов, а также платиносодержащих месторождений в углеродистых сланцах Онежского района.

Ориентировочно для достаточно надежной оценки ресурсов МПГ и других металлов в массивах Печенга-Имадро-Варзугской и Южно-Карельской ветвей Балтийского плутона можно наметить следующие виды и объемы работ:

геолого-геохимико-минералогическое доизучение в масштабе 1:100 000 (~ 6000 км²) с детализацией в масштабе 1:25 000 (~ 1800 км²) для отдельных интрузий и их частей;

высокоточную аэромагнитную съемку масштаба 1:10 000-1800 км²;

профильные комплексные геолого-геофизические и геохимические работы, геологическое обследование аномалий – 1200 км;

специализированные электроразведочные (100 км²) и магниторазведочные (300 км²) работы и платиногеохимические поиски (300 км²) масштабов 1:5000-1:1000;

профильную сейсморазведку МОГТ (24^х – 48^х);

электроразведку МТЗ-АМТЗ в комплексе с магниторазведкой, гравиразведкой и специализированной геохимией – 750 км;

горные работы – 2000 м³;

бурение структурно-поисковых, поисково-картировочных и разведочных скважин – 20-30 тыс. м;

тематические и научные исследования по изучению закономерностей размещения, вещественного состава и технологических свойств платиноидных руд вышеуказанных массивов с завершением разработки технологии оконтуривания платиноносных горизонтов.

Намеченный комплекс работ может привести к приросту запасов и обоснованию ресурсов категорий P₁ и P₂ в количестве 10-20% от норильских.

Курско-Воронежский регион

В Центральной России нами выделяется Курско-Воронежский регион, сопряженный с Воронежским кристаллическим массивом, занимающим крупный (540 × 1000 км) сегмент Восточно-Европейской платформы. Рассматриваемый регион входит в субмеридиональный металлогенический Восточно-Европейский пояс в ранге Воро-

нежской платиноносной провинции (рис. 25), в пределах которой выявлена серия платиносодержащих месторождений и рудопроявлений, связанных с ультрамафит-мафитовыми комплексами, сульфидными медно-никелевыми рудами, высокоуглеродистыми вулканогенно-осадочными толщами и их метасоматитами, а также железистыми кварцитами (табл. 27).

Воронежский кристаллический массив (ВКМ) – это, в целом, неглубоко погребенный (0-500 м) выступ докембрийского фундамента, который включает три латерально неоднородных и в разной мере эродированных геоблока – Брянский, Курский (Курская гранит-зеленокаменная область), Воронежский и несколько линейных зон и подвижных поясов, эпикратонных впадин и структур тектономагматической активизации.

Ранне- и позднеархейские образования Воронежского геоблока, в пределах которого сосредоточены все известные в регионе сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения, практически повсеместно перекрыты мощными (более 10 км) терригенно-осадочными и вулканогенно-осадочными отложениями раннего протерозоя, принадлежащими двум структурно-вещественным комплексам: раннему (песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии), образующему Воронцовский эпикратонный прогиб и позднему – Воронежско-Щукавской наложенной грабенсинклинали (вулканогенно-осадочные породы и базальт-андезит-риодацитовые вулканы воронезской свиты).

Для протяженного (~700 км) и достаточно широкого (80-300 км) Воронцовского эпикратонного прогиба характерны [62, 63, 100, 102]:

сравнительно “тяжелая” (по сравнению с мегаблоком Курской магнитной аномалии) литосфера, повышенный положительный уровень гравитационного и отрицательный (-300 ± 350 мТл) магнитного поля;

автономное развитие при пространственно-временной сопряженности с раннепротерозойскими шовными и интракратонными складчато-глыбовыми зонами и однотипности единого структурного плана;

резко преобладающий тип терригенного (с элементами флишного) осадконакопления, незначительные проявления вулканизма, низкотемпературные метаморфические преобразования пород воронцовской серии и интенсивное развитие в ее составе углеродистых толщ;

многократность развития систем региональных разломов и важнейшая роль различных по глубине заложения продольных (северо-западных) субпараллельных зон, обусловивших становление линейных магмоконтролирующих структур и вкуче с поперечными разрывными нарушениями распространение неодинакового возраста, состава и формационной принадлежности (дунит-перидотит-габбро-норитовая, ортопироксенит-норитовая, трапповая (габбро-долеритовая), щелочные граниты и комплексы щелочных пород) и металлогенической специализации магматических образований.

Дунит-перидотит-габбро-норитовая формация (мамонский тип) включает несколько подтипов интрузивных тел, сформировавшихся, вероятно, в условиях неодинаковых уровней магмогенерации или очаговых зон, в том числе:

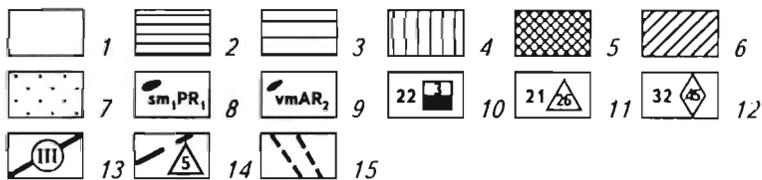
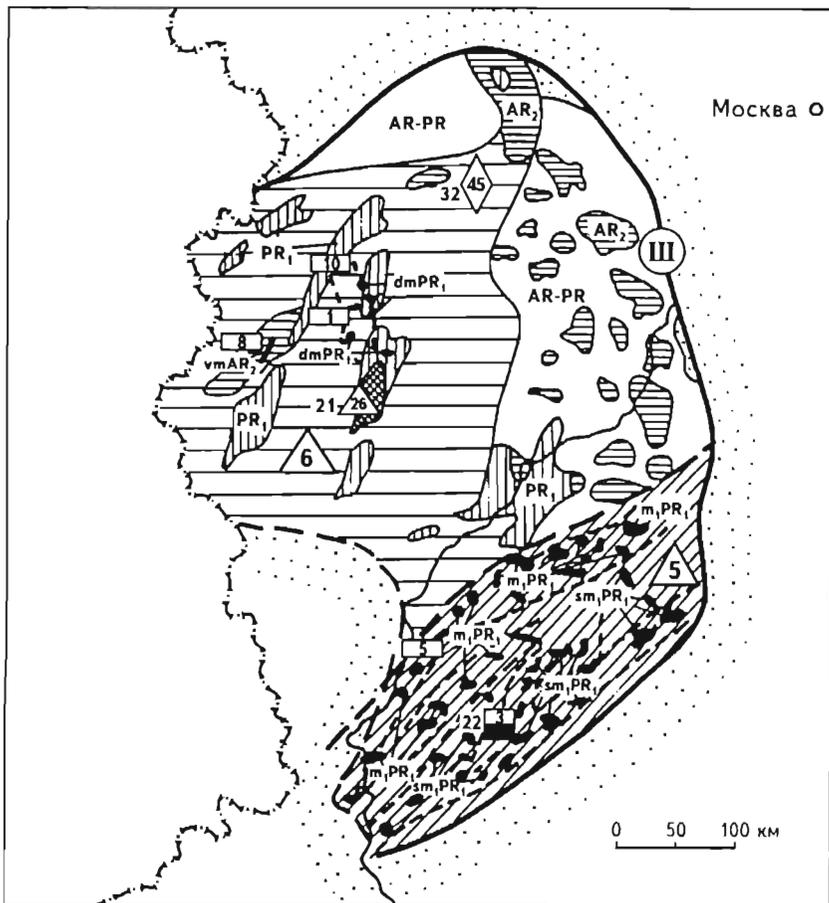


Рис. 25. Платинометаллогеническая карта Курско-Воронежского региона (фрагмент "Карты платиноносности России")

1-7 – типы структурно-формационных комплексов: 1 – нерасчлененных метаморфитов, 2, 3 – зеленокаменных и гранит-зеленокаменных поясов: 2 – реликтов, 3 – широкого развития, 4, 5 – интрузивно-вулканогенных прогибов, в т.ч. 5 – с широким распространением черных сланцев (тимской тип). 6 – метасадочных прогибов, 7 – чехла Русской платформы; 8, 9 – платиноносные интрузивные формации: 8 – ортопироксенит-норит-диоритовая (сланский тип), 9 – коматитовая (австралийский тип); 10-12 – месторождения платиноносных рудных формаций: 10 – МПГ-Cu-Ni, 11 – платиноносной полиметаллической, 12 – платиноносной железорудной техногенной (номера в знаках соответствуют пронумерованным типам месторождений и рудопоявлений табл. 15; около знаков – платиноидные месторождения: 21 – Тимское, 22 – Еланское); 13 – платиноносная Воронежская провинция; 14 – платиноносные области (цифры в треугольнике): 5 – Воронцовская, 6 – Курско-Воронежская; 15 – платиноносные зоны, контролирующие размещение интрузий

Тектонические обстановки нахождения платинометалльных месторождений и проявлений различных генетических типов раннего докембрия Центрально-Европейской части России

Тип структур и состав породных ассоциаций	Генетический тип месторождений и рудопроявлений	Примеры месторождений и проявлений
<p>Зоны тектономагматической активизации (внутриконтинентальные рифты и реактивизированные разломы) раннеплатформенного этапа. Щелочно-сиснитовые, щелочно-ультрамафитовые, троктолит-габбро-долеритовые (трапповые) вулканотрузивные ассоциации</p>	<p>Платиносодержащие ванадий-титаномагнетитовые; малосульфидные платинометалльные в тахситовых горизонтах (рифтах) и сульфидные платиноидно-медно-никелевые в дифференцированных троктолит-габбро-долеритовых плутонах</p>	<p>Смординское, Новогольское</p>
<p>Разноглубинные (реактивизированные) разломы, наложенные грабен-синклинали в зонах сочленения разнотипных структур этапа тафрогенеза. Осадочные и вулканические (базальт-андезит-дацитовые) образования. Кольцевые габбро-норит-кварц-монцит-гранитные плутоны, асрлит-габбровые интрузии</p>	<p>Малосульфидные платинометалльные в мафитах кольцевых плутонов, сульфидные платиносодержащие медно-никелевые в асрлит-габбровых интрузивах</p>	<p>Ольховское, Шукавское</p>
<p>Внутриконтинентальные рифты, пространственно сопряженные с позднесархейскими зеленокаменными поясами. Высокоуглеродистые терригенные и вулканотерригенные отложения, вулканиты (пикриты, щелочные и толситовые базальты) и железные руды</p>	<p>Полигенные золото-платиносодержащие в высокоуглеродистых сланцах и их метасоматитах (тимской тип); металлоносные (уран-золото-платиносодержащие) конгломераты; золото-палладийсодержащие руды</p>	<p>Тимское, Кипенское, Яковлевское, Михайловское и др.</p>
<p>Зоны рассеянного спрединга, сопряженные с процессами субдукции. Дунит-пирidotит-габбро-норитовые и ортопироксенит-норит-диоритовые интрузии</p>	<p>Малосульфидные платинометалльные, сульфидные платиноидно-медно-никелевые и платиносодержащие хромитовые в ритмично-расслоенных ультрамафит-мафитовых плутонах; платиносодержащие сульфидные медисто-никелевые в норит-диоритовых телах</p>	<p>Нижнемамонское, Юбилейное, Еланское и др.</p>
<p>Позднесархейские рифты. Коматит-базальтовые и базальт-риодацитовые вулканиты, дунит-пирidotитовые интрузии; вулканогенно-осадочные породы зеленокаменных поясов</p>	<p>Платиносодержащие сульфидные медисто-никелевые и хромитовые в ультрамафитах</p>	<p>Олимпийское, Косиновское</p>
<p>Раннесархейские нуклеократоны. Континиум высокожелезистых коматит-базальтовых вулканитов, пирidotит-пироксенит-габбро-норит-анортозитовых интрузий и терригенно-осадочных пород</p>	<p>Платиносодержащие сульфидные медно-никелевые и хромитовые в ультрамафитах; платиносодержащие графитизированные гнейсы</p>	<p>Бесединское, Курское</p>

ранние ультрамафитовые высоко- ($MgO > 30\%$) и умеренно-магнезиальные ($20 < MgO < 30\%$) в разной мере дифференцированные, бесполошпатовые (мамонский подтип);

ультрамафит-мафитовые умеренно-магнезиальные ($8 < MgO < 30\%$) камерно-дифференцированные (расслоенные) с амфибол (титанистая роговая обманка)-плагноклазсодержащими ультрамафитами (ширяевский подтип);

ультрамафит-мафитовые (фазные) камерно-дифференцированные (слань-вязовский подтип);

слабодифференцированные и недифференцированные безрудные габбро-поритовые, габбровые и габбро-диоритовые ($MgO < 8\%$) интрузивы (камский подтип), завершающие становление всей рудоносной формации (Чернышов, Дмитриенко, 1983; Чернышов, 1993).

В западной части Воронцовского эпикратонного прогиба исключительно широко развиты интрузии мамонского (существенно ультрамафитовые) и ширяевского (дифференцированные ультрамафит-мафитовые) подтипов, определяющие облик Мамонско-Ширяевской металлогенической зоны и концентрирующиеся в виде своеобразных поясов – Лосевско-Мамонского и Озерковско-Ширяевского. В пределах восточной зоны установлены слань-вязовский подтип ультрамафит-мафитовых сложнодифференцированных (фазных) массивов.

Ультрамафитовую группу интрузивов образуют:

отчетливо дифференцированные (от дунитов до оливиновых габбро-поритов) умеренно-магнезиальные, сопровождающиеся рядом сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений (Нижнемамонское, Подколотовское, Юбилейное) и рудопроявлений (Астаховское, Артюховское, Аннинское, Садовое и др.);

дифференцированные умеренно-магнезиальные с неполным набором ряда ультрамафитов (перидотиты – оливиновые пироксениты \pm дуниты), с которыми связаны многочисленные проявления сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд (Бычковское, Петровское, Песковатское, Шиншовское и др.);

недифференцированные (преимущественно роговообманковые разновидно-сти перидотитов и оливиновых пироксенитов), безрудные.

Для массивов мамонского подтипа характерны широкий ряд, как правило, бесполошпатовых ультрамафитов и незначительное (менее 1%) распространение мафитов (оливиновые габбро-пориты) с постепенным ростом железистости оливина ($Fa - 14-32\%$), орто- ($Fs - 15-33\%$) и отчасти клинопироксенов ($Fs - 3-15\%$); широкое развитие серпентина лизардитового ряда, а также аксессуарных пирротина, халькопирита, пирита, пентландита; умеренная магнезиальность при повышенной железистости ($\Sigma FeO - 11-13\%$); незначительное количество хрома (0,2-0,3%), титана (0,3-0,5%), глинозема (1,5-4,5%), щелочей (0,2-1%, $Na_2O > K_2O$); повышенное содержание серы ($SO_3 - 0,5-0,8\%$), никеля и меди и четкое обособление рудообразующей ($Fe-Ni-Cu-Co-Pt-Pd-S$) и силикатной ($Si-Mg-Ca-Al$) ассоциаций в ультрамафитах рудоносных тел. Последнее является типовым, только им присущим параметром, отличающим от безрудных интрузивов, для которых свойственна тесная связь никеля, меди и кобальта с магнием.

В ширяевский подтип входят:

расслоенные ультрамафит-мафитовые массивы с преимущественным амфибол- (титанистая роговая обманка) плагиоклазсодержащим парагенезисом ультрамафитов (роговообманковые и плагиоклаз-роговообманковые перидотиты и оливиновые пироксениты, иногда дуниты) и мафитов (оливинсодержащие и безоливиновые роговообманковые габбро-нориты, нориты, габбро-диориты) с неупорядоченным чередованием в расслоенных сериях ультрамафитов и количественно преобладающих мафитов (соотношение 1 : 3-1 : 5), сопровождающиеся сульфидными платиноидно-медно-никелевыми рудами преимущественно в ультраосновных породах и реже в оливиновых габбро-норитах (Пионерское, Ширяевское и другие рудопроявления);

слабодифференцированные существенно мафитовые, безрудные, характеризующиеся неупорядоченным чередованием ритмов роговообманковых мафитов с редкими прослоями ультрамафитов (титанисто-роговообманково-плагиоклазовые оливинсодержащие вебстериты, иногда перидотиты).

Наиболее характерные петролого-геохимические признаки камерно-дифференцированных ультрамафит-мафитовых интрузивов ширяевского подтипа рассмотрены в [19]. Чрезвычайно характерным для этих тел является сходство соотношений рудообразующих элементов сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд, связанных в основном с ультрамафитами: плагиоперидотитами и плагиопироксенитами ($Ni/Cu = 1-3$, $Ni/Co = 7-20$), реже с меланократовыми оливиновыми габбро-норитами ($Ni/Cu = 0,5-1$, $Ni/Co = 7-10$), и самих пород.

В строении ультрамафитовых плутонов (40-120 км²) слань-вязовского подтипа, сосредоточенных в восточной части Воронцовского прогиба, намечаются ранняя фаза, представленная оливинсодержащими слагающими обычно красные (нижние) части интрузивов – плагиоклазовые перидотиты, и поздняя, дериватами которой являются роговообманковые пироксениты (вебстериты), пироксеновые горнblendиты, роговообманковые и биотитовые габбро-нориты, нориты, беспироксеновые роговообманковые габбро. Продукты второй фазы характерны для центральной части тел. Для этих плутонов чрезвычайно характерным является своеобразный набор аксессуаров – высокохромистых хромшпинелидов, магнетита, титаномагнетита, апатита, циркона, бадделсита, муассанита, пирротина, халькопирита, пентландита, молибденита, арсенидов и сульфоарсенидов никеля, кобальта, платиновых минералов и др. С плагиоклазсодержащими ультрамафитами рассмотренных плутонов связаны медно-никелевые, платино-палладиевые обедненные тяжелым изотопом серы ($\delta^{34}S = +11 \dots -1,9\%$) халькопирит-пентландит-пирротиновые руды, содержащие в незначительных количествах арсениды и сульфоарсениды Ni и Co, а также молибденит, самородное золото и ряд неуставленных фаз.

Интрузивы каменистого подтипа, наиболее широко развитые, распространены в западной и, даже еще более, восточной зонах и образуют самостоятельные изолированные тела или пространственно совмещены с ультрамафитовыми (мамонский подтип), ультрамафит-мафитовыми (ширяевский и елань-вязовский подтипы) массивами.

В центральной части Воронцовского эпикратонного прогиба, в узкой (до 30-40 км) протяженной (около 700 км) Тамбовско-Волгоградской зоне расположена серия небольших (0,3-10, реже до 15 км²), как правило, крутопадающих (75-85°) субвулканических норит-диоритовых тел, с которыми ассоциируют Еланское и Елкинское сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения и несколько рудопроявлений (Новопокровское, Листопадовское, Новотроицкое и др.). Тамбовско-Волгоградская структура в геофизических полях отражается узкой полосовидной положительной магнитной аномалией незначительной (до 250 нТл) интенсивности при невысоких (до 10 гамм/км) градиентах и пониженных значениях гравитационного поля. Норит-диоритовые тела в гравитационном поле выражены слабоинтенсивными аномалиями (до 0,5 мГал), для диоритовой породной группы характерен гравитационный минимум, а для некоторых участков – магнитные аномалии в 25-80 гамм.

По морфологии, внутреннему строению и характеру породных ассоциаций выделяются: однородные норитовые, обычно безрудные тела (Романовский, Некрыловский и др.); норит-диоритовые, обычно рудоносные, более сложные по внутреннему строению и морфологии (кольцевые, дугообразные, подковообразные с размещением в их центральных частях диоритов) автономные тела или пространственно совмещенные с более ранними и более крупными (до 120 км²) ультрамафит-мафитовыми дифференцированными массивами мамонского комплекса (Еланский рудный район). В западной части Тамбовско-Волгоградской зоны развиты щелочные сисниты и сиснит-порфиры артюшкинского комплекса, в восточной – крупные (до 140 км²) кольцевые троктолит-габбро-долеритовые плутоны новогольского комплекса.

Интрузии сланского комплекса образуют около 40% всех ультрамафит-мафитовых образований рудного района, имеют кольцевую, дугообразную, подковообразную форму с размещением в их центральных частях комагматичных диоритов; реже они тяготеют к более ранним ультрамафит-мафитовым интрузивам мамонского комплекса. Возрастные взаимоотношения, помимо геологических данных (секундные контакты, наличие ксенолитов и др.), обосновываются изотопными датировками U-Pb метода (по циркону), которые показали временной разрыв между формированием норитов еланского (2020 ± 10 млн лет), ультрамафит-мафитовых пород мамонского (2100-2075 ± 15 млн лет) и габбро-долеритов новогольско-смородинского (1950 ± 15 млн лет) комплексов.

В сланском комплексе устанавливаются ортопироксенитовая и норит-ортопироксенитовая, норитовая и норит-диоритовая группы. Первая из них пространственно совмещена с Еланским и Вязовским плутонами и образована существенно ортопироксенитовыми крутопадающими (60-75°) субмеридиональными залежами, объединяемыми в единое тело с Центральным рудопроявлением, а также норит-ортопироксенитовыми небольшими по мощности телами (до 70 м) и дайкообразными залежами (3-10 м) двухчленного (мелкозернистые нориты – мелко- и среднезернистые ортопироксениты) строения. Ортопироксенитовые и норит-ортопироксенитовые тела скрывают ультрамафит-мафитовые дифференциаты Еланского

и Вязовского плутонов, содержа их ксенолиты, ортопироксениты пересечены мало мощными (0,2-1,2 м) дайками тонкозернистых норитов.

Присущественно норитовые, обычно безрудные (Романовский и др.), и более сложные норит-диоритовые промышленно-рудноносные (Еланский, Елкинский), а также рудоносные (Новопокровский, Троицкий и др.) субвулканические и дайковые тела преобладают в сланском комплексе.

Весьма характерной петрогеохимической особенностью пород сланского комплекса, отражающей гомодромный характер их формирования в процессе глубинной дифференциации, является последовательный рост содержания кремниевой кислоты, глинозема и щелочности (при возрастающей роли калия).

Нориты сланского комплекса, включающие большую часть сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд, характеризуются:

низким содержанием в плагиоклазах анортитового компонента (40-60%);

высокомагнезиальным цинк- и хромсодержащим ортопироксеном (Fs – 10-25%) с субпараллельными вростками клинопироксена (структуры распада “бушвельдского типа”);

наличием кварца, калиевого полевого шпата (микроклина), биотита (Г – 22-25%), роговой обманки (F – 15-27%), реже оливина, более высокой относительно ортопироксена железистости (Fa – 22-30%), бедного железом (FeO – 9-10%) и богатого кальцием (16%) и магнием (16-17%) клинопироксена;

характерным набором аксессуаров (высокохромистые цинк-, ванадий- и марганецсодержащие хромшпинелиды, ильменит, рутил, апатит, циркон, бадделлит, муассонит, периклаз, турмалин, пирротин, пентландит, молибденит, сфалерит, галенит, арсениды и сульфоарсениды никеля и кобальта);

повышенными содержаниями магнезии (8,3-17,7%), кремнезема (51-58%), щелочей (2,5-4,9%, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$), никеля при преобладании его над медью ($\text{Ni}/\text{Cu} = 3-8$), облегченной серы ($\delta^{34}\text{S}$ от -0,2 до -3,5%);

устойчивыми значимыми корреляционными связями железа, никеля, кобальта и серы;

обязательным присутствием цинка ($70 < \text{Zn} < 100$ г/т);

высокой хромистостью (до 0,5% Cr_2O_3 при среднем 0,18%);

субкларковыми концентрациями ванадия, стронция, рубидия, цинка, ниобия, бария, лития, скандия;

обогащенностью легкими РЗЭ ($\text{La}/\text{Ce} \sim 6$, $\text{Ce}/\text{Lu} \sim 1,3$) при более низком содержании тяжелых редких земель.

Породы сланского комплекса отличаются невысокими содержаниями МПГ и устойчивым преобладанием палладия над платиной. Мелано- и мезократовые нориты промышленно-рудноносных (Еланский интрузив) и рудоносных (Троицкий) массивов обнаруживают близкие концентрации платины (0,004-0,015 и 0,003-0,012 г/т соответственно) и палладия (0,010-0,040 и 0,003-0,040 г/т соответственно) и пониженное отношение Pd/Ir (~8), обычно свойственное ультраосновным, а не основным породам. Ортопироксениты содержат соответственно 0,012 г/т Pt и

0,080 г/т Pd. Лейкократовые нориты и более поздние жильные образования практически не содержат МПГ. Такие количества платиноидов в рудовмещающих норитах отражают степень насыщения исходного сульфидно-силикатного расплава этими металлами и преимущественную экстракцию их в сульфидную фракцию, что подтверждается рассмотренным ниже распределением МПГ в рудах Еланского месторождения и ряда рудопроявлений.

Высокоуглеродистые стратифицированные образования и их метасоматиты с комплексным золото-платинометальным оруденением присущи [19] ряду структурно-вещественных комплексов ВКМ, сформировавшихся в различных геодинамических условиях (табл. 28).

Потенциально промышленно значимые золото-платинометальные проявления связаны с высокоуглеродистыми образованиями оскольской серии (тимской тип) Тим-Ястребовского, Зиновьевско-Мантуровского, Малоархангельского, Рыльского, Белгородского, Михайловского и других подвижных поясов, сопряженных с позднеархейскими зеленокаменными поясами. Это – сложные дискорданные интракратонные складчато-глыбовые структуры (грабенсинклинали, цепочки надразломных впадин, мелкие изолированные синклинали), развивающиеся в красных частях линейных зон первого порядка позднеархейских зеленокаменных поясов, с которыми они образуют, по существу, единые, зеленокаменные структуры или так называемые зеленокаменные серии [79]. Важнейшими особенностями этих поясов являются:

превалирование терригенно-осадочных (в том числе мощных железорудных) отложений (курская серия) на ранних стадиях при увеличивающейся роли вулканогенных и высокоуглеродистых вулканогенно-осадочных образований (оскольская серия) на поздних стадиях формирования структур, возникших в результате кратковременного спрединга, сопровождающего субдукцию Курского и Воронежского геоблоков;

широкое распространение дифференцированных вулканоплутонических ассоциаций с пикрит-толеит-базальтовыми и базальт-андезит-дацитовыми вулканитами (оскольская серия) и магматитами ультрамафит-мафитового (золотухинский и вологовский комплексы) и габбро-диорит-гранодиоритового (стойло-николаевский интрузивно-дайковый комплекс) составов с отчетливой металлогенической специализацией на Cu, Pb, Zn, Au, Ag, (\pm МПГ), P и др.;

низкоградный метаморфизм эпидот-амфиболитовой и в большей мере зеленосланцевой фации, обусловивший перераспределение и накопление рудного вещества и развитие разнообразных по составу метасоматитов с комплексным золото-платинометальным оруденением.

Наиболее изученная в отношении платиноносности Тим-Ястребовская грабенсинклиналь (рис. 26) – протяженная (110 км) интракратонная структура шириной 10-30 км. Ее разрез характеризуется сменой терригенно-осадочных (курская железорудная серия) терригенно-карбонатными и терригенно-вулканогенными (роговская и тимская свиты оскольской серии) образованиями при постепенно возрастающей роли углеродистого вещества и вулканического материала. Курская

Таблица 28

**Типы золото-платинометалльного оруденения в углеродистых формациях
и их место среди раннедокембрийских структурно-вещественных комплексов различных геодинамических режимов ВКМ**

Тип структуры	Рудовмещающая формация	Генетический тип оруденения	Проявления и потенциальные объекты			
			Установленные		Прогнозируемые	
			Крупные	Средние и мелкие	Крупные	Средние и мелкие
Разломы активного режима раннеплатформенного внутриплитного развития (PR ₁)	Трапповая (троктолит-габбро-долеритовые дифференцированные интрузии смородинского комплекса)	Платиносодержащий титаномагнетитовый	-	+	-	+
		Малосульфидный платинометалльный	-	+	-	+
		Сульфидный платиноидно-медно-никелевый	-	+	-	+
Реактивизированные рифтогенные структуры (PR ₁) древнего (позднеархейского) заложения (Курский мегаблок)	Высокоуглеродистые вулканогенно-осадочные сланцы и их метасоматиты (оскольская серия)	<i>Платиноидно-золоторудный (кшвенский)</i>	-	+	-	+
		<i>Золото-платинометалльный (тимской)</i>	+	-	+	-
		<i>Золото-палладийсодержащий</i>	-	+	-	+
	Железистые кварциты, горизонты межрудных углеродистых сланцев, зоны прожилково-вкрапленной и рассеянной кварцево-сульфидной минерализации (курская серия)					
	Конгломераты зон несогласий	<i>Золото-уран-платиносодержащий</i>	-	+	-	+

Зоны рассеянного спрединга (Воронжский мегаблок)	Высокоуглеродистые сланцы и эруптивные брекчии, графитизированные гнейсы (воронцовская серия)	<i>Палладиево-золото-ртутно-серебряный (троицкий)</i> <i>Платиноидно-золоторудный</i>		+		+
	Ортопироксенит-норит-диоритовая	Сульфидный платиноидно-медисто-никелевый		+		+
	Дунит-перидотит-пироксенит-норит-габбровая	Малосульфидный платинометалльный Сульфидный платиноидно-медно-никелевый Платиноидно-хромитовый		+	+	+
Позднеархейские (AR ₂) зеленокаменные пояса, связанные с энциалическим рифтогенезом	Осадочные и вулканогенно-осадочные с колчеданным оруденением (александровская свита)	<i>Колчеданный золото-палладийсодержащий (ивильский)</i>	-	+	-	+
	Коматитит-базальтовая и дунит-перидотитовая (михайловская серия и железногорский комплекс)	Сульфидный медисто-никелевый платиносодержащий	-	+	-	+
Раннеархейские нуклеократоны (AR ₁)	Углеродистая (графитизированная) вулканогенно-осадочная (обоянская серия)	<i>Золото-платиносодержащий</i>	-	+	-	+
	Перидотит-пироксенит-габбронорит-анортозитовая (беседнинский комплекс)	Сульфидный платиносодержащий медно-никелевый	-	+	-	+

Примечание. Курсивом выделены типы благороднометалльного оруденения, ассоциирующего со стратифицированными комплексами и метасоматитами различных геодинамических режимов.

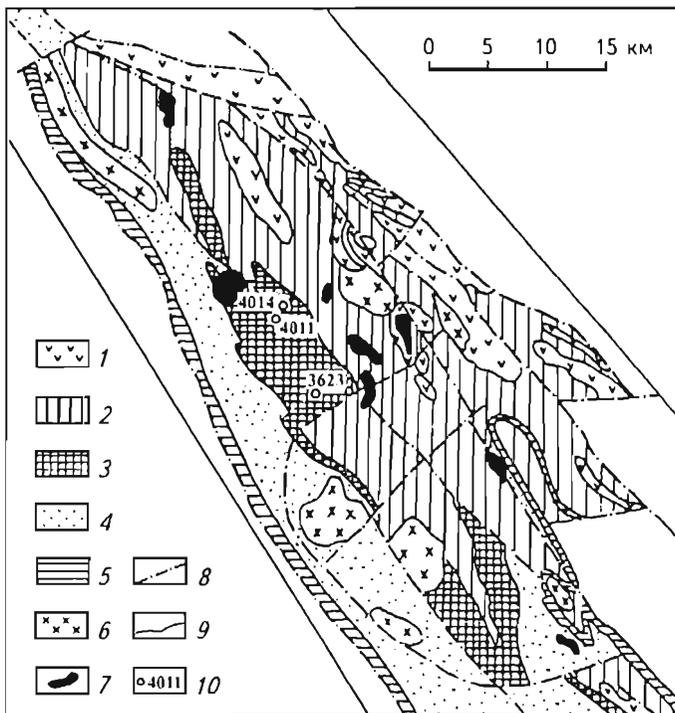


Рис. 26. Схематическая геологическая карта-схема Тим-Ястребовской структуры

1-4 – стратифицированные образования: 1 – метаэффузивы основного и ультраосновного состава скатернинской свиты, 2-3 – породы тимской свиты: 2 – метаэффузивы кислого и среднего состава в переслаивании с метаосадочными породами, 3 – сланцы углеродисто-кварцевые, сульфидизированные, 4 – доломиты, мрамора, амфибол-карбонатные породы, биотит-полевошпатовые сланцы роговской свиты; 5 – железистые кварциты, биотит-кварцевые сланцы курской железорудной серии; 6-7 – раннепротерозойские интрузивные образования стойло-никалаевского комплекса: 6 – гранодиориты, кварцевые диориты, 7 – габбро, габбро-диориты, субвулканические диабазовые порфириты; 8 – разрывные нарушения; 9 – геологические границы; 10 – скважины и их номера

серия (с возрастным рубежом формирования $(2600-2300) \pm 100$ млн лет; К-Аг метод по биотиту и амфиболу) состоит из стойленской (конгломераты, кварциты, филлиты, *углеродосодержащие сланцы*) и коробковской (железистые кварциты с внутрирудными прослоями углеродистых *золото-платиносодержащих слюдяных и хлоритовых сланцев*) свит. В разной мере обогащенные сульфидами (при общей концентрации сульфидной серы не более 1,7-2%) углеродистые сланцы, слагающие горизонты различной мощности (от 2 до 40 м) и составляющие 10-15% разреза курской серии [84], характеризуются сравнительно низким содержанием свободного углерода (преимущественно в виде тонкочешуйчатого графита) и последовательным увеличением его концентраций от нижних (0,3-0,6% мас. $S_{ор}$) к верхним (0,6-1,3, иногда до 10% мас. $S_{ор}$) частям разреза. Оскольская серия (возраст формирования от 2300 ± 100 до 2100 ± 15 млн лет [79], трансгрессивно залегающая на курской, образована согласно залегающими свитами: нижней терриген-

но-карбонатной (роговской) и верхней терригенно-вулканогенной (тимской); в составе каждой выделяются две подсвиты.

Тимская свита отличается широким развитием углеродистых сульфидизированных сланцев с подчиненными прослоями метапесчаников, кварцитов, силикатно-карбонатных пород, тремолитсодержащих мраморов, а также вулканитов. Нижняя подсвита тимской свиты мощностью до 2000 м характеризуется четким ритмичным стратифицированием и исключительно широким наличием в ее составе (особенно в нижних частях разреза) углеродистых (табл. 29) и высокоуглеродистых ($C_{орг} > 10\%$) сланцев, обогащенных (от 5 до 40% и более) сульфидами (пирит, пирротин, сфалерит, галенит, арсенопирит, халькопирит). Количество сульфидов, как правило, взаимосвязано с количеством углеродистого вещества, которое образует тонкорассеянную вкрапленность, линзовидно-струйчатые выделения, мономинеральные графитовые скопления, углеродисто-фосфатные стяжения. В нижних частях разреза выявлены пачки (мощностью 2-50 м) биотит-гранат-углеродистых сланцев с повышенной концентрацией марганца (MnO до 8,86% мас.), образующего примесь в гранатах и даже слагающего собственные минеральные выделения – манганокальцит, родохрозит. Главной особенностью этой подсвиты, вмещающей известные золоторудные и золото-платинометалльные проявления, является очень широкое распространение (30-70%, в отдельных участках до 80%) углеродсодержащих пород.

В верхнетимской подсвите выделены нижняя часть – в основном терригенно-углеродистая ($C_{орг}$ от 1 до 10,5% мас.) мощностью около 300 м (углеродистые и безуглеродистые кварц-биотитовые, полевошпат-кварц-биотитовые и двуслюдяные сланцы) и верхняя – более мощная (до 1000 м), вулканогенная с вулканитами (диабазовые, андезитовые, дацитовые, риодацитовые порфириды, металипариты, их пирокластические аналоги и ортосланцы, иногда графитизированные) с единичными прослоями терригенных мало- и безуглеродистых пород различной (от 0,2 до 40 м) мощности.

Разрез рудопродуктивной оскольской серии завершается присущими устойчивым областям пикрит-толсит-базальт-трахибазальтовыми вулканитами, преобразованными в микроамфиболиты и зеленые сланцы скатериновской свиты с мало мощными (первые метры) прослоями углеродистых сланцев.

Типичными чертами химизма (см. табл. 29) углеродистых сланцев оскольской серии являются:

примерно равные количества MgO и CaO , преобладание FeO над Fe_2O_3 , высокое содержание K_2O и значительное преобладание его над Na_2O ;

повышенная концентрация P и особенно S (0,1-3,6% мас.), распределение которой в известной мере коррелируется с $C_{орг}$;

высокие количества Cu , Ni , Cr , Zr , V , Ga , Pb , Zn , Ba , B , редких земель.

Для углеродистых сланцев наиболее продуктивной нижнетимской углеродисто-терригенной породной ассоциации особенно характерны низкая карбонатность, повышенные содержания K_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , $S_{общ}$ при общей достаточно высокой концентрации Ni , Zn , Cu , Ba , B (табл. 30).

Средний химический состав углеродистых сланцев оскольской серии КМА

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C _{орг}	2,60	2,80	11,90	3,20	2,10	14,10	5,10	5,27	4,86	5,50	11,19	5,26
SiO ₂	45,96	58,92	53,12	56,04	60,16	56,14	56,67	57,50	57,81	55,30	55,70	57,04
TiO ₂	0,54	0,97	0,60	0,56	0,58	0,57	0,72	0,50	0,55	0,90	0,61	0,61
Al ₂ O ₃	9,20	12,59	10,36	12,78	17,00	12,33	11,37	15,68	16,14	10,80	11,96	15,79
Fe ₂ O ₃	1,44	2,26	5,96	2,30	1,24	2,70	2,18	1,81	1,00	—	—	—
FeO	4,06	4,78	5,12	5,03	6,30	3,88	5,23	6,16	6,03	7,31	7,13	8,55
MnO	0,37	0,22	0,14	0,14	0,08	0,06	0,50	0,16	0,17	0,12	0,15	0,11
MgO	8,89	4,18	2,79	6,15	3,30	1,26	4,76	3,85	4,08	4,97	2,64	4,47
CaO	9,36	3,07	2,06	5,84	3,46	1,75	2,23	2,25	3,11	4,34	2,39	1,82
Na ₂ O	0,56	1,02	0,44	0,83	0,43	0,53	0,45	1,23	1,15	0,92	0,57	0,99
K ₂ O	3,04	3,95	2,37	3,26	4,38	3,42	1,92	3,29	4,45	3,66	2,67	3,15
P ₂ O ₅	0,20	0,34	0,58	0,14	0,10	0,19	0,16	0,13	0,11	0,28	0,21	0,10
S _{общ}	0,45	1,16	3,58	0,12	0,09	2,24	2,14	1,39	0,77	3,14	2,58	0,65
CO ₂	13,24	3,60	0,43	3,41	0,37	0,41	0,14	0,79	0,57	2,24	1,16	0,21
V	152	226	231	—	—	230	—	106	107	250	188	124
Mo	10	2	19	—	—	17	—	4	3	5	9	4
Cr	78	170	124	—	—	103	—	71	92	158	128	74
Ni	96	130	240	—	—	242	—	47	91	115	183	109
Co	34	22	48	—	—	70	—	15	39	26	42	28
Zn	88	250	470	—	—	438	—	218	347	314	280	228
Pb	28	42	51	—	—	40	—	29	67	49	32	37
Cu	86	145	436	—	—	433	—	99	263	174	330	176
Ga	14	17	18	—	—	23	—	23	23	16	17	23
Sr	240	140	114	—	—	57	—	75	183	77	58	138
Ba	312	342	1057	—	—	954	—	875	3450	360	392	448
B	90	33	143	—	—	176	—	68	56	26	36	24
Zr	218	257	110	—	—	140	—	168	369	228	97	261

Примечание. 1 – углеродистые карбонатные сланцы; 2 – углеродистые сланцы (кварц-биотитовые, кварц-серицитовые, кварцевые, двуслюдяные) роговской свиты; 3-5 – углеродистые алевропелитовые сланцы нижнего (3), среднего (4) и верхнего (5) горизонтов нижней подсвиты тимской свиты; 6-7 – высокоуглеродистые (6) и углеродистые (7) пелитовые сланцы нижней подсвиты тимской свиты; 8-9 – углеродистые пелитовые (8) и алевропелитовые (9) сланцы верхнетимской подсвиты и скатериновской свиты; 10-12 – углеродистые сланцы углеродисто-карбонатной (10), углеродисто-терригенной (11) и углеродисто-вулканогенной (12) ассоциаций. Оксиды – в % мас., малые элементы – в г/т.

Содержания (в г/т) элементов-примесей в углеродистых золото-платиноносных породах тимской свиты Тим-Ястребовской структуры КМА

Элементы	Высокоуглеродистые сланцы		Углеродистые	Малоуглеродистые породы	
	кварц-серпичитовые (8)*	серпичит-кварцевые (4)	сланцы (8)	Сланцы (1)	Тремолит-карбонатная и карбонат-полсвошпат-амфиболовая (2)
Ag	0,7-13,0	0-4,9	0,5-2,7	1,9	0,9-1,8
Pb	25-150	25-50	12-60	60	20-40
Zn	300-8000	150-1500	120-3000	600	400-1000
Cu	120-2000	80-600	80-500	600	250-300
Ni	80-1000	100-300	80-600	200	80-200
Co	20-100	20-80	25-80	20	3-12
V	60-600	100-300	80-200	100	80-120
Mo	3-40	6-25	2,5-20,0	3	2-3
As	0-100	—	0-150	200	—
Cr	40-400	80-120	50-150	50	50-120
Zr	40-150	50-120	40-120	50	20-40
Nd	0-20	10-15	0-15	—	—
Sc	4-12	8-10	3-12	4	3-5
La	30-50	25-40	20-50	—	0-20
Y	5-40	12-30	8-25	20	4-20
Yb	0,8-5,0	1,5-3,0	1,0-2,5	2	0-2
Be	0,5-2,5	0,8-2,0	0,8-1,5	0,6	0,4-1,2
Li	10-30	20-30	15-40	12	10-20
W	0-50	0-10	0-20	—	0-10
Sn	2,5-10,0	2,5-5,0	0-5	6	0-3
Ge	2,5-4,0	2,5-3,0	0-5	—	0-10
Ga	5-15	8-15	3-20	10	2,5-3,0
Tl	2-5	0-2	0-3	—	—
Cd	10-12	0-5	0-5	—	—

*В скобках указано количество анализов.



Таким образом, для Курско-Воронжского региона характерны тимской (золото-платинометальное оруденение в черных сланцах тимского типа), мамонский, сланский (сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды), курско-белгородский (платиносодержащее золото-железородное оруденение железистых кварцитов) и курско-белгородский техногенный (платино-золотосодержащие хвостотвалы железородных месторождений) типы (см. табл. 15).

Комплексное золото-платинометальное оруденение тимского типа (платиноидный углеродистый минералого-геохимический тип) установлено, главным образом, в составе терригенно-углеродистой черносланцевой формации нижнестимской подсети оскольской серии. Максимальные количества МПГ и золота расположены в центральной части Тим-Ястребовской структуры (см. рис. 26) и приурочены к углеродистым сланцам Луневско-Мальцевской синклинали с мощным (25-30 м) золотопродуктивным (луневско-мальцевским) горизонтом. Для важнейшей рудопродуктивной сложной углеродистой толщи характерны:

зеленосланцевая фация метаморфизма;

интрузии (габбро, диориты), субвулканические и дайковые (диоритовые порфириты, фельзиты, порфиры, лампрофиры и др.) тела в катаклазированных, рассланцованных и милонитизированных вмещающих породах;

несколькократное переслаивание углеродистых сланцев, насыщенность которых благородными металлами обуславливается литолого-геохимическими особенностями, а в основном – минеральным составом и концентрацией сульфидно-углеродистого вещества.

Среди платиноносных пород устанавливаются высокоуглеродистые, углеродистые и малоуглеродистые группы, по разному (от 0,5 до 40%) насыщенные сульфидами (табл. 31).

Важнейшая составляющая рудовмещающих пород – углеродистое вещество (УВ) – представлено:

дисперсной тонкорассеянной фракцией с послойным (в сланцах) и неравномерным распределением;

линзовидными и линзовидно-струйчатыми обособлениями, наследующими тонкоритмичную слоистость пород, их сланцеватость и микроскладчатость;

кварц-сульфидно-графитовыми прожилками.

Отмеченная повторяемость по разрезу высокоуглеродистых сланцев обуславливает многоуровневый характер распределения золото-платинометального оруденения, концентрирующегося в серии (до семи) слоев и горизонтов (мощностью 0,2-20 м), вскрытых скважинами (скв. 4011, 4014, 3523, 3088 и др.) во всей зоне развития углеродистых пород подсети. В Луневско-Мальцевской грабенсинклинали центральной части Тим-Ястребовской структуры платиносодержащие горизонты оказались пространственно совмещенными с ранее выявленной мощной (20-30 м) золотоносной рудопродуктивной толщей, суммарная мощность которой при этом увеличилась почти вдвое.

Платиноносные слои и горизонты устанавливаются практически только по данным опробования на благородные металлы и сопутствующие им малые элементы. Выявление самих рудопродуктивных горизонтов и типовых параметров распределения МПГ и золота осложняется резкой разницей в аналитике, полученной в различных лабораториях и характеризующихся значительными вариациями величин концентраций платины, палладия, осмия и золота из-за отсутствия совершенных методик определения этих металлов в высокоуглеродистых породах;

Количественно-минеральный состав (в % отн.) главнейших типов пород
чёрносланцевой золото-платиноносной толщи Тим-Ястребовской структуры КМА

Порода	Минерал*									
	C	Q	Sr(Mu)	Bt	Crb	Pl	КПШ	Tr	Sulf	Аксессуары, рудные и др.**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>I. Высокоуглеродистые сланцы (УВ > 50%; C_{орг} – 7-20% мас.):</i>										
кварц-серицитовые	54-89	1-15	10-32	±1	+++	±1	+	-	0,2-5	chl, ap, di, tp, and(?)
серицит- кварцевые	55-80	12-28	8-17	-	-	-	+	-	0-2	rut, tr, chl, sfn
кварц-слюдистые, слюди- кварцевые	55	9-22,5	23,5	3,5	-	-	-	-	1	chl
биотит-кварцевые	60	25	-	15	-	-	-	-	2	ap, tm
кварц-полевошпат-серицит- вые, полевошпат-серицит- кварцевые	66,15	9,75	12,75	0,2	1	3,5	-	-	4,2	ks(?), ap
метатиф кислого состава	60	-	5	-	-	35	-	-	+	
<i>II. Углеродистые сланцы (УВ – 20-50%; C_{орг} – 3-7% мас.):</i>										
серицит-кварцевые	22-39	48-53	8-10	-	0-2	1	-	-	7-12	ap, rod
серицит-кварцевые сульфиди- зированные	30-40	20-30	10	+	-	-	-	-	30	-
серицитовые; слюди- кварцевые	49-50	38	5-46	1	-	-	-	-	5	ap
полевошпат-кварц-серицит- вые; полевошпат-серицит- кварцевые	41,5	16	32	-	+	1,5	-	-	4	ap, tr

1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
полевошпат-серицит-кварцевые сульфидизированные	32	20	5	+	5	-	-	-	38	ap, tr
кварц-мусковит-карбонатные	42	10	15	-	30	-	-	-	3	
III. Малоуглеродистые сланцы и другие типы пород (УВ < 20%, С _{орг} < 3% мас.):										
полевошпат-серицит-кварцевый сланец	15	31	25	-	-	12	-	-	17	
бластокатаклазит-серицит-кварцевый	15-27	70-80	3-5	+	+	-	-	-	+	
метабрекчия сланцев с наложенной тремолит-кварц-карбонатной ассоциацией	7-15	27-33	0-5	-	37-50	-	-	0-10	5	ap > 6%, ks(?)
кварц-плагиоклаз-тремолит-карбонатная порода	7-20	0-30	-	-	29-50	0-28	-	13-30	+	
тремолит-карбонатная порода	18	-	-	-	28	-	-	54	+	
метатиф кислого состава	3	10	10	-	-	75	-	-	2	- chl
карбонатная порода с наложенной скаполит(?)-тремолитовой ассоциацией	3	-	-	-	50	-	-	25	7	sk ~ 13%
керсантит сланцевый	+	5-10	-	15	-	72-75	-	-	3-5	sfn

*С – графит, Q – кварц, Sr(Mu) – мусковит, Bt – биотит, Crb – карбонаты, Pl – плагиоклазы, КПШ – калиевые полевые шпаты, Tr – тремолит, Sulf – сульфиды;

**ap – апатит; rut – рутил; ks – касситерит; sfn – сфен; and – андалузит; sk – скаполит; chl – хлориты; tm – турмалин; rod – родонит; di – диаспор; mnz – монацит; tr – другие редкометалльные минералы;

***знак “плюс” – минерал присутствует не всегда и в единичных зернах.

Содержание МПГ и Au (в г/т) в различных фракциях углеродистых сланцев Тим-Ястребовской структуры

Место отбора пробы	Фракция пробы, мм	Pt	Pd	Rh	Ir	Ru	Os	Au
Скв. 4011, гл. 468,1-468,6 м	Исходная 0,074	0,070	0,180	0,005	< 0,007	0,004	< 0,005	0,080
	0,12-0,06	0,13	0,40	0,010	< 0,010	0,006	< 0,010	0,090
	< 0,06	0,27	0,94	0,018	< 0,014	0,008	< 0,010	0,33
	> 0,50	0,06	0,18	0,004	< 0,006	0,002	–	0,11
Скв.4011, гл. 383,3-384,3 м	Исходная 0,074	0,120	0,610	0,007	< 0,007	0,005	< 0,005	0,060
	0,12-0,06	0,32	2,20	0,032	< 0,010	0,021	< 0,010	0,24
	< 0,06	0,84	3,20	0,038	< 0,020	0,016	< 0,010	0,23
Скв.4014, гл. 338,5-340,0 м	Исходная 0,074	0,100	0,210	0,005	< 0,007	0,004	< 0,005	0,080
	0,12-0,06	0,15	0,45	0,016	< 0,010	0,012	< 0,001	0,12
	< 0,06	0,45	2,00	0,058	< 0,012	0,037	< 0,010	0,27
	> 0,50	0,07	0,14	0,004	< 0,005	0,002	–	0,11
Скв. 40143, гл. 353,7-354,7 м	Исходная 0,074	0,080	0,380	0,005	< 0,006	0,004	< 0,005	0,090
	0,12-0,06	0,22	1,80	0,027	< 0,010	0,015	< 0,010	0,19
	< 0,06	0,41	5,40	0,047	< 0,010	0,028	< 0,010	0,41
Скв.4014, гл. 406,0-407,0 м	Исходная 0,074	0,080	0,220	0,005	< 0,006	0,003	< 0,005	0,080
	0,12-0,06	0,12	0,47	0,010	< 0,020	0,006	< 0,010	0,10
	< 0,06	0,24	1,51	0,027	< 0,030	< 0,007	< 0,010	0,13
	> 0,50	0,13	0,31	0,004	< 0,008	≤ 0,002	–	0,11

Примечание. Пределы обнаружения зависели от величины навесок проб, полученных при ситовом фракционировании и последующем анализе.

потери платиновых металлов при наличии углеродистого вещества достигают одного-двух порядков за счет образования их летучих соединений [10, 19].

Важнейшую роль в распределении благородных металлов играет гранулометрический состав высокоуглеродистых сланцев. Основная масса благородных металлов сосредоточена в мелких ($< 0,06$ мм) фракциях, соизмеримых с тонкораспыленным сульфидно-углеродистым веществом. Вот в них-то концентрация МПГ и прежде всего платины, палладия (табл. 32), а также золота в 5-16 раз выше содержания их в исходной породе. Необходимо особо подчеркнуть почти десятикратную по сравнению с исходной породой обогатенность сульфидной фракции палладием и платиной.

Повышенные содержания МПГ и золота установлены:

в углеродистых тремолит-карбонатных породах (Pt – 0,61 г/т, Au – 1,3-2,9 г/т) нижнестимской подсветы;

в метаморфизованных (иногда, графитизированных) магматических образованиях (кварцевые порфиры, фельзит-порфиры, метабазиты, андезит-базальтовые метабрекчии, апобазальтовые микроамфиболиты) верхнестимской подсветы (Pt – 0,13-0,68 г/т, Au – 0,011-14,6 г/т);

в составе бескварцевого сульфидно-вкрапленного золоторудного (Au – от 4,3 до 14,6 г/т) оруденения в тектонических брекчиях (Кшенское рудопроявление) того же нижнепротерозойского структурно-вещественного комплекса Тим-Ястребовской структуры, где помимо сульфидов (пирит, халькопирит, арсенопирит, пентландит) и оксидов (магнетит, гематит, ильменит), шесслита, циркона и самородного золота присутствует осмистый иридий.

Золото-платинометальное оруденение тимского типа отличаются полиминеральный, многокомпонентный состав и многообразие форм концентрирования (собственные минеральные фазы, примеси, твердые растворы) благородных металлов. Всего установлено около 60 рудных минералов, среди них:

самородные металлы – Au, Pd, Pt, Ag;

металлические твердые растворы и интерметаллические соединения:

палладий платиносодержащий – $Pd_{0,94}Pt_{0,06}$;

платина железосодержащая – $Pt_{0,96}Fe_{0,04}$;

золото-платина-палладий – $Pd_{0,86}Pt_{0,08}Au_{0,04}Fe_{0,02}$;

осмистый иридий (невьянскит?) – (Ir,Os);

золото ртуть-теллур-серебросодержащее – $Au_{0,53}Ag_{0,29}Te_{0,07}Hg_{0,02}$;

амальга золота-серебра – $Au_{6,95}Ag_{6,07}Hg_{3,14}$;

аркверит (?) – (Ag,Hg,Pt);

станнид палладия (неназванный) – $PdSn_2$;

платина-палладий-золото-серебро-олово – (Pt,Pd,Au,Ag,Sn,Zn);

сульфиды:

пирит – FeS_2 ;

Ni-Cu-пирит – $(Fe,Cu,Ni)S_2$;

Ni-Co-пирит – $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})\text{S}_2$;
макинавит – $(\text{Fe}_{7,86}\text{Ni}_{0,89}\text{Co}_{0,04}\text{Cu}_{0,13}\text{Zn}_{0,02})_{8,94}\text{S}_{8,06}$;
пирротин – Fe_{1-x}S ;
Ni-пирротин – $(\text{Fe}, \text{Ni})_{1-x}\text{S}$;
пенталандит – $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$.

в том числе серебро-платина-палладийсодержащий

халькопирит – $(\text{Cu}, \text{Fe})\text{S}_2$;
марказит – FeS_2 ;
кубанит – CuFe_2S_3 ;
виоларит – FeNi_2S_4 ;
марганцовистый сфалерит – $(\text{Zn}_{0,87}\text{Mn}_{0,13})\text{S}$;
селенистый галенит – $(\text{Pb}_{0,99}\text{Fe}_{0,03})_{1,02}(\text{S}_{0,77}\text{Se}_{0,21})_{0,98}$;
молибденит – MoS_2 ,

в том числе рений-палладий-золотосодержащий;

сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, селениды, сульфосоли:

арсенопирит – $(\text{Fe}_{0,9}\text{Ni}_{0,1})\text{AsS}$;
алтант – $(\text{Pb}_{0,95}\text{Fe}_{0,13})_{1,08}\text{Te}_{0,92}$;
гессит – $(\text{Ag}_{1,94}\text{Cu}_{0,04})_{1,98}\text{Te}_{1,02}$;
ульманит – $(\text{Ni}_{0,87}\text{Co}_{0,07}\text{Fe}_{0,07}\text{Cu}_{0,01})_{1,02}\text{Sb}_{1,01}\text{S}_{0,97}$;
теллуровисмутит – $(\text{Bi}_{1,69}\text{Pb}_{0,23}\text{Fe}_{0,11}\text{Ag}_{0,04})_{2,07}(\text{Te}_{2,89}\text{Sb}_{0,02}\text{Se}_{0,01})_{2,92}$;
буланжерит – $(\text{Pb}_{4,64}\text{Cu}_{0,57}\text{Fe}_{0,28})_{5,44}(\text{Sb}_{3,92}\text{Sn}_{0,02})_{3,49}(\text{S}_{10,4}\text{Se}_{0,10})_{10,59}$;
клаусталит – $(\text{Pb}_{0,98}\text{Cu}_{0,02})_{1,0}(\text{Se}_{0,78}\text{S}_{0,27})_{1,0}$;
станнин – $\text{Cu}_{1,98}(\text{Fe}_{1,08}\text{Ni}_{0,01})_{1,09}\text{Sn}_{1,00}\text{S}_{3,94}$;
цинкосодержащий станнин – $\text{Cu}_{1,95}(\text{Fe}_{0,97}\text{Zn}_{0,11})_{1,08}\text{Sn}_{1,02}\text{S}_{3,95}$;
селенид палладия и платины (непозванный) – $(\text{Pd}_{2,39}\text{Pt}_{0,53}\text{Fe}_{0,06})_{2,98}\text{Se}_{2,02}$;
тетраэдрит – $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$;
тестибионалладит ? – $(\text{Pd}_{0,88}\text{Fe}_{0,10}\text{Ni}_{0,08})_{1,06}(\text{Te}_{1,01}\text{Sb}_{0,89}\text{Bi}_{0,04})_{1,94}$;

оксиды, вольфраматы, молибдаты, фосфаты и др.:

ильменит – FeTiO_3 ;
магнетит – Fe_3O_4 ;
рутил – TiO_2 ;
касситерит (?) – SnO_2 ;
шеелит – $\text{Ca}(\text{W}, \text{Mo})\text{O}_4$;
перовскит – $(\text{Ca}, \text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$;
титанат бария – $(\text{Ba}, \text{Ca})(\text{Ti}, \text{Zr})\text{O}_4$;
титанат бария и висмута – $(\text{Ba}, \text{Bi})_{1-x}(\text{Ti}, \text{Nb})\text{O}_3$;
бадделлит – $(\text{Zr}, \text{Hf}, \text{Sc})\text{O}_2$;
циркон – $\text{Zr}[\text{SO}_4]$;
барит – $\text{Ba}[\text{SO}_4]$;
монацит – $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th}, \text{Y}, \text{Gd}, \text{Sm})\text{PO}_4$;
апатит – $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl})$;

Химический состав (в % мас.) некоторых минералов МПГ. Au и Ag золото-платиннометалльного оруденения
Тим-Ястребовской структуры

Номер анализа	Минерал	Pd	Pt	Au	Ag	Se	Te	Sn	Fe	Hg	Cu	Ni	S	Сумма
1	Палладий – Pd	99,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	99,9
2	Палладий платиносо- держаций – $Pd_{0,93}Pt_{0,06}Fe_{0,01}$	89,4	9,9	–	–	–	–	–	0,7	–	–	–	–	100,0
3	Палладий платиносо- держаций – $Pd_{0,94}Pt_{0,06}$	89,6	10,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	99,8
4	Палладий золото- платиносодержащий – $Pd_{0,90}Pt_{0,05}Au_{0,03}Fe_{0,02}$	84,7	9,7	4,6	–	–	–	–	1,0	–	–	–	–	100,0
5	Палладий золото- платиносодержащий – $Pd_{0,86}Pt_{0,08}Au_{0,04}Fe_{0,02}$	78,7	13,3	7,3	–	–	–	–	0,8	–	–	–	–	100,1
6	Платина – Pt	–	100,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100,1
7	Платина – $Pt_{0,96}Fe_{0,04}$	–	99,1	–	–	–	–	–	1,1	–	–	–	–	100,2
8	Станнид палладия (неазванный минерал) – $Pd_{1,00}Sn_{2,00}$	31,1	–	–	–	–	–	68,6	–	–	–	–	–	99,7
9	Селенид палладия и платины (неазванный минерал) – $(Pd_{2,39}Pt_{0,53}Fe_{0,06})_{2,98}Se_{2,02}$	49,4	20,0	–	–	30,9	–	–	0,6	–	–	–	–	100,9
10	Селенид палладия и платины (неазванный минерал) – $(Pd_{2,87}Pt_{0,10}Fe_{0,06})_{3,03}Se_{1,97}$	63,3	4,0	–	–	32,1	–	–	0,7	–	–	–	–	100,1

11	Золото (ртуть-теллур-серебросодержащее) – Au _{0,53} Ag _{0,29} Te _{0,07} Hg _{0,02}	-	-	20,12	-	6,10	-	0,60	3,14	0,04	1,0	0,80	98,8
12	Амальгама Au-Ag – Au _{0,95} Ag _{0,05} Hg _{0,14}	-	-	27,0	-	0,22	-	2,03	22,70	0,65	0,05	1,70	97,45

Примечание. Микронзондовые анализы (11-12) выполнены И.П.Лапутиной (ИГЕМ РАН).

Содержание пирита и пирротина составляет до 80-95% объема рудного вещества при соотношении от 3 : 1 до 10 : 1, халькопирита – 1-2 (иногда до 15%), сфалерита – 0,7-2 (редко до 8%), магнетита – 0,5-2 (иногда до 10%), ильменита – 1-4 (реже до 12%), мартита – от 0,5 до 10%.

Из концентратов тяжелой минеральной фракции черных сланцев рудоносных горизонтов установлены: самородный палладий, Au-Pt-палладий, самородная платина, а также ряд новых, не имеющих пока собственных названий минералов – селенид палладия и платины (Pd, Pt)₃Se₂, станид палладия (PdSn₂) и более сложных соединений (сплавов) Pt, Pd, Au, Ag и Zn в ассоциации с титанатами Ba, Ca, Bi. Установленные минералы присутствуют в концентратах тяжелых минералов в качестве свободных зерен, вростков в мелкозернистых агрегатах титанатов бария, кальция и висмута. В минералогических пробах и полированных шлифах микронзондовыми исследованиями установлены золото и серебро самородные, осмистый иридий, тесибнопалладит, амальгама золота, серебра и др. (табл. 33).

Таким образом, для комплексного платиносодержащего углеродистого типа характерны:

широкое распространение собственных минеральных фаз МПГ и золота – самородных металлов, твердых растворов и интерметаллидов с размером зерен от 0,1 до 160 мкм; наличие мельчайших (< 1 мкм) выделений самородных палладистого золота и палладия, висмутида палладия в битумах, антраколите, оксикерите;

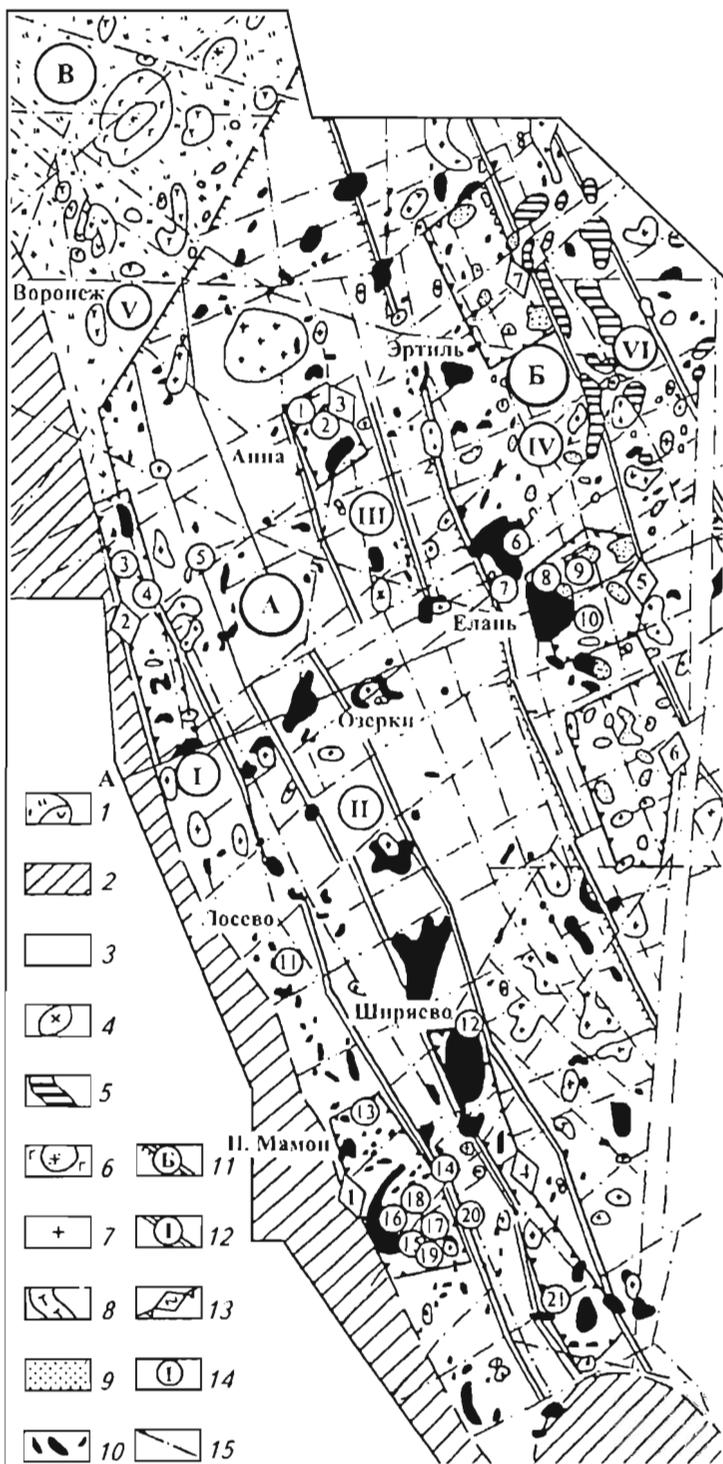
высокая (до 80%) степень накопления благородных металлов в дисперсной (< 0,06 мм) сульфидно-углеродистой фракции;

присутствие среди сульфидов палладийсодержащих пирита (до 300 г/т Pd), пирротина (до 1300 г/т Pd) и халькопирита (до 800 г/т Pd);

парагенетическая связь платиновых минералов со сложными титанатами бария, кальция, висмута, оксидами и фосфатами редких земель;

наличие металлоорганических соединений в форме фуллеренов-нанотрубок с золото-палладиево-ртутно-серебряным оруденением.

Платиномстальные сульфидные платиноидно-медно-никельсвые руды мамонского типа (Нижнемамонское, Юбилейное, Подколдновское месторождения, Артюховское, Астаховское, Бычковское, Петровское, Аннинское, Широковское,



Садовское, Коммуническое и другие рудопроявления) связаны с умеренно магнесьяльными ультрамафитами одноименного типа, тяготеющими к зонам глубинных разломов, характеризующихся ограниченным или полным отсутствием латерального растяжения в пределах Воронцовского эпикратонного прогиба (рис. 27) и подробно рассмотренных авторами ранее [19]. Наибольший интерес в этих объектах представляет ряд зон с богатым медно-никелевым оруденением халькопирит-пентландит-пирротинового состава, полностью находящихся в различных частях дифференцированных интрузивов и обычно не выходящих за их контуры. Наиболее благоприятны для распространения сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения максимально обогащенные оливином дифференциаты интрузий и особенно слон аподунитов, в нижней части осложненные протомагматическими межпластовыми нарушениями; расслоенные части разреза и эндоконтактовые зоны интрузивов с вмещающими метаморфическими породами воронцовской серии. Эти, по сути, поисковые признаки локализации сульфидных руд проявляются в большинстве месторождений и рудопроявлений мамонского типа.

Типовой особенностью является некоторое уменьшение количества МПГ (платина, палладий) при одновременном возрастании относительной роли палладия над платиной при смене существенно ультрамафитовых в разной мере дифференцированных интрузий полнодифференцированными (расслоенными и фазными) массивами. Наиболее высокие содержания платиноидов (платина, палладий) характерны для интрузий с более полным сингенетическим рядом пород – от дунитов до оливиновых габбро-норитов (Нижнемамонская, Садовская, Артюховская



Рис. 27. Схема размещения (платиноносно)-никеленосных формаций и сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений мамонского подтипа и еланского типа в пределах Воронцовского эпикратонного прогиба Воронежского кристаллического массива

1 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы воронезской свиты; 2 – песчанико-сланцевые отложения воронцовской серии; 3 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения лосевской серии (нижний протерозой); 4 – субщелочные и щелочные породы артюшковского комплекса; 5 – габбро-долеритовые тела новогольско-смородинского комплекса протерозойской трапповой формации; 6 – ольховский комплекс габбро-гранитных интрузий; 7 – гранитоиды бобровского комплекса; 8 – щукавский габбро-верлитовый комплекс; 9 – еланский платиноносно-никеленосный комплекс ортопироксенит-норит-диоритовых субвулканических и дайковых тел; 10 – мамонский комплекс платиноносно-никеленосной дунит-перидотит-габбро-норитовой формации; 11 – границы и наименование металлогенических зон: А – Мамонско-Ширяевская, Б – Елань-Тамбовская, В – Щукавско-Воронезская; 12 – границы и наименование (платиноносно)-никеленосных ультрамафит-мафитовых поясов (I – Лосевско-Мамонский, II – Пионерско-Ширяевский, III – Аннинский, IV – Елань-Ертыльский) и зон (V – Щукавская, VI – Новогольско-Жердевская); 13 – границы и наименование рудных полей (цифры в ромбиках: 1 – Мамонско-Подколдновское, 2 – Астаховское, 3 – Садовское, 4 – Пионерское, 5 – Елань-Елкинское, 6 – Михайловско-Вилковское, 7 – Ростошинское); 14 – месторождения и проявления сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд (цифры в кружках: 1 – Садовское, 2 – Аннинское, 3 – Песковатское, 4 – Астаховское, 5 – Шишовское, 6 – Вязовское, 7 – Абрамовское, 8 – Центральное, 9 – Еланское, 10 – Елкинское, 11 – Петровское, 12 – Ширяевское, 13 – Нижнемамонское, 14 – Артюховское, 15 – Подколдновское, 16 – Юбилейное, 17 – Северо-Бычковское, 18 – Мартовское, 19 – Коммуническое, 20 – Бычковское, 21 – Пионерское); 15 – глубинные разломы и тектонические нарушения

интрузии). Концентрация платиновых металлов (в г/т) составляет: 1,109 в дунитах (Pt – 0,022-0,80, средняя – 0,091; Pd – 0,005-0,060, средняя – 0,018), 0,063 в перидотитах (Pt – 0,017-0,016, средняя – 0,049; Pd – 0,011-0,022, средняя – 0,014), 0,063 г/т в их серпентинизированных разновидностях (Pt – 0,013-0,13, средняя – 0,054; Pd – 0,005-0,015, средняя – 0,0095), 0,054 в пироксенитах (Pt – 0,005-0,180, средняя – 0,048; Pd – 0,004-0,011, средняя – 0,006). Она снижается в перидотитах (сумма Pt, Pd – 0,044 г/т) и апоперидотитовых серпентинитах (сумма Pt, Pd – 0,045 г/т) интрузивов с неполной ассоциацией сингенетического ряда пород.

Устанавливается тесная ассоциация в ультрамафитах палладия с никелем, кобальтом, медью, серой, а платины – с магнезиальностью пород и антагоничность этих элементов к калийной группе породообразующих компонентов (Бочаров и др., 1985). В основных породах платина сохраняет свою связь с железом и магнесом, а палладий, утратив связь с медью, ассоциирует с кобальтом, никелем, медью, хромом, щелочными металлами.

Эталонным объектом оруденения мамонского типа является *Нижнемамонское месторождение*. В его рамках наиболее крупные скопления сульфидных медно-никелевых руд расположены в “основной” и “нижней” рудных зонах – телах сложного строения, обычно согласных с элементами стратификации ультраосновного массива. Основная рудная залежь приурочена к “слою” аподунитовых серпентинитов, сосредоточенных на контакте с перидотитами и оливиновыми пироксенитами. Общая протяженность залежи 2200 м, мощность составляет 1,5-17 м; контакты рудной залежи с вмещающими породами нечеткие; оруденение неравномерное. Нижняя часть залежи сложена вкрапленными рудами с невысоким содержанием металлов (0,21-0,75% никеля, 0,12-0,71% меди, 0,02-0,04% кобальта). Выше залежи серпентинизированные дуниты содержат богатые равномерно- и густовкрапленные руды (0,30-3,14% никеля, 0,10-1,30% меди, 0,02-0,04% кобальта), включающие жильные тела массивных и брекчиевидных руд (1,67-5,93% никеля, 0,15-4,01% меди, 0,08-0,13% кобальта). Отмечается и неоднократное чередование богатых и бедных рудных участков по простиранию и падению.

“Нижнее” рудное тело протяженностью до 300-350 м и мощностью 0,5-2 м отличается однородным строением и сложноструктурными пятнисто-полосчатыми рудами. Рассмотренные тела включают основные промышленные запасы Нижнемамонского месторождения, устанавливаются также разрозненные линзообразные скопления существенно пирротитовой сульфидной вкрапленности среди прослоев титанисто-роговообманковых оливиновых пироксенитов и маломощные (0,3-0,4 м) тела массивных сульфидных руд в метасоматических образованиях, возникших на границе ультрамафитов с прорывающими их дайками гранодиоритов.

Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения еланского типа (Еланское месторождение, Елкинское, Центральное, Новопокровское, Новотроицкое и другие рудопроявления) ассоциируют с субвулканическими телами рассмотренной выше ортопироксенит-норит-диоритовой формации кремнистой высокомагнезиальной серии.

Руды сланского типа характеризуются свособразным минеральным составом. Повышенное (до 35%) содержание пентландита, незначительное развитие халькопирита, постоянное присутствие сульфоарсенидов никеля и кобальта (в том числе брейтгауптита, содержащего до 19 кг/т МПГ), арсенопентландита, теллуридов висмута, молибденита, высокохромистых цинксодержащих хромшпинелидов, макинавита, кубанита, миллерита, галенита, сфалерита, валлериита, графита, титаномагнетита, золота, ульманита, данайта и других минералов находит четкое отражение в геохимическом облике руд сланского типа. Они являются маломедистыми высоконикелистыми с повышенным содержанием кобальта, концентрация которого в гнездово-прожилковых и массивных рудах нередко в 1,5-2 раза выше концентрации меди. Эта закономерность присуща всем структурно-текстурным разновидностям руд. Однако различная степень обогащенности рудообразующими элементами глубинных дифференциатов рудно-магматической системы выразилась в абсолютных содержаниях никеля, меди и кобальта в однотипных рудах.

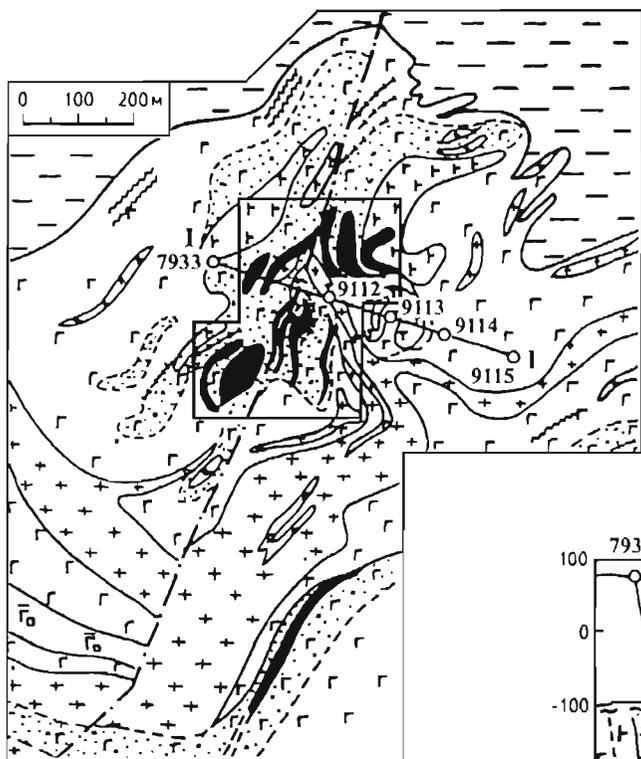
Более вероятным механизмом формирования кремнистой высокомагнезиальной породной ассоциации месторождений еланского типа является процесс ассимиляции мантийным ультраосновным (коматиитовым) расплавом пород континентальной коры.

Наиболее высокими концентрациями рудообразующих элементов отличаются руды **Еланского месторождения**, локализованного в одноименном крутопадающем (75-85°) массиве площадью около 4,5 км², приуроченном к северо-восточной контактовой зоне крупного (>120 км²) и более раннего по возрасту Елань-Коленовского полнодифференцированного ультрамафит-мафитового плутона мамонского комплекса.

На Еланском месторождении (рис. 28) установлена серия кулисообразно расположенных прерывистых зон сульфидного никелевого оруднения мощностью 35-40 м, располагающихся в центральной части вулканоинтрузивной колонны и объединяемых в Западную и Восточную группы рудных зон протяженностью до 1,5 км.

Количественно на Еланском (как и на изученном авторами Елкинском) месторождении значительно преобладают вкрапленные руды (более 85%): прожилково-вкрапленные и массивные имеют ограниченное развитие (10-15 и 2-3% соответственно). Выделяются руды: густовкрапленные (сульфидов более 30%) и более распространенные гнездово-вкрапленные (до 20-25% сульфидов), крупновкрапленные (0,5-3 мм) с четко выраженным сидеронитовым обликом и тонковкрапленные (до 0,5 мм), присущие измененным разностям норитов. Густовкрапленные, прожилково-вкрапленные и сплошные (всего 10% всех руд) руды содержат около половины ресурсов полезных компонентов.

Вкрапленные халькопирит (2-15%)-пентландит (5-10 до 30%, иногда более)-пирротиновые (60-75%) руды отличаются ограниченным развитием (1-3%) арсенидов и сульфоарсенидов никеля и кобальта, хромшпинелидов (2-3%), молибденита, графита и др. В гнездово-вкрапленных рудах почти вдвое уменьшается содержание халькопирита и резко возрастает роль никель-кобальтового арсенид-



- | | | | |
|---|---|--|----|
|  | 1 |  | 9 |
|  | 2 |  | 10 |
|  | 3 |  | 11 |
|  | 4 |  | 12 |
|  | 5 |  | 13 |
|  | 6 |  | 14 |
|  | 7 |  | 15 |
|  | 8 |  | 16 |

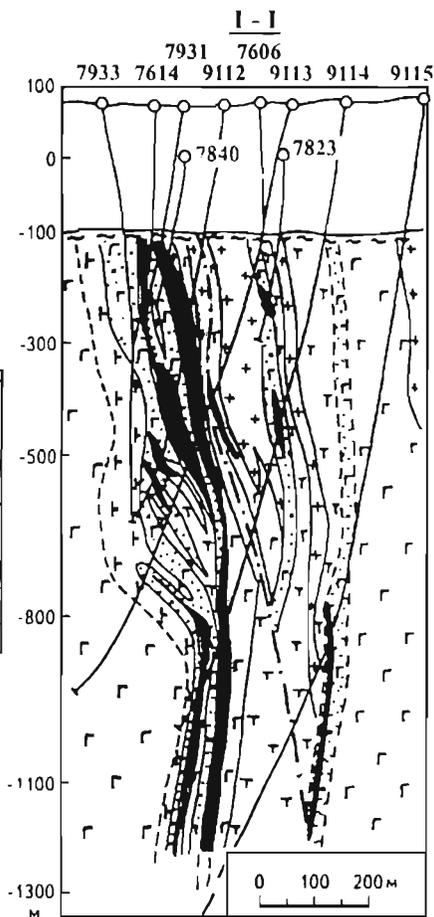
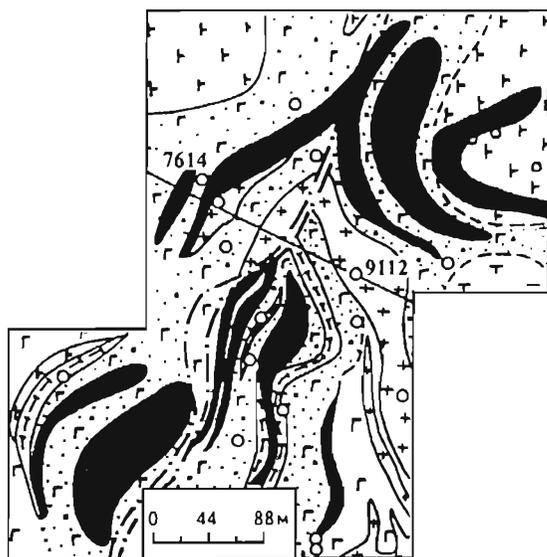


Рис. 28. Схематические геологическая карта и разрез Еланского месторождения

1 – породы платформенного чехла (на разрезе); 2 – кора выветривания на кристаллическом фундаменте (на разрезе); 3 – песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии (PR_1^I); 4 – дайки диоритовых порфириров, лампрофиров; 5 – диориты второй интрузивной фазы еланского комплекса; 6 – норит-порфириды жильные; 7 – нориты тонкозернистые ("фельзитические"); 8 – нориты мелко-, среднезернистые (а) и порфиридные (б); 9 – габбро-нориты оливниновые и безоливниновые мамонского комплекса; 10 – рудные тела; 11 – зоны бедной сульфидной вкрапленности; 12 – тектонические нарушения; 13 – геологические границы (а – установленные, б – предполагаемые); 14 – линия геологического разреза; 15 – скважины и их номера; 16 – контур врезки

сульфоарсенидного парагенезиса, хромшпинелидов (2-5%), молибденита, графита и золота.

При значительных содержаниях никеля и кобальта руды еланского типа характеризуются низкими, но в целом близкими к богатым рудам печенгского типа количествами Pt и Pd, на долю которых приходится около 95% от суммы платиноидов; Rh, Ru и Ir находятся примерно в равных количествах, но их содержание почти на порядок ниже концентраций платины и палладия и в большинстве случаев ниже чувствительности анализа (табл. 34, 35).

Таблица 34

Средние содержания рудообразующих, второстепенных (в % мас.) и благородных (в г/т) металлов в сульфидных платиноидно-кобальт-медно-никелевых рудах еланского типа

Элементы	1 (12)	2 (10)	3 (5)	4 (3)	5 (5)	6 (4)	7 (41)	8 (2)	9 (5)	10 (5)
Ni	1,45	8,34	0,87	0,69	7,87	10,64	1,70	0,29	0,030	0,074
Cu	0,11	0,47	0,11	0,33	0,25	0,23	0,20	0,17	0,010	0,020
Co	0,42	0,20	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	0,004	0,006
S	4,67	21,08	"-	"-	"-	"-	"-	"-	0,670	2,460
Al ₂ O ₃	0,016	0,10	"-	"-	"-	"-	"-	"-	He опр.	He опр.
Ir	-	0,020	"-	"-	"-	"-	"-	"-	-	-
Ru	0,012	0,011	"-	"-	"-	"-	"-	"-	-	-
Rh	0,003	0,008	0,003	0,003	0,002	-	"-	0,002	0,002	-
Pt	0,034	0,147	0,073	0,034	0,170	0,046	0,058	0,020	0,011	0,008
Pd	0,053	0,348	0,072	0,031	0,360	0,160	0,098	0,032	0,031	0,017
Au	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	0,130	0,460	He опр.	He опр.
Pd/Pt	1,7	2,4	1,0	0,9	2,1	3,5	1,7	1,6	2,8	2,1

Примечание. Еланское месторождение: 1-2 – вкрапленные и массивные руды; 3 – вкрапленные руды в норитах; 4 – вкрапленные руды в амфиболитизированных норитах и роговообманковых габбро; 5 – брекчиевидные и вкрапленно-прожилковые ("пятнистые") руды; 6 – массивные (жильные) руды; 7 – руды восточной рудоносной зоны; 8 – вкрапленные руды Центрального рудопоявления; 9, 10 – нориты с бедной сульфидной минерализацией Новопокровского и Троицкого интрузивов (Слюняев и др., 1991). Анализы выполнены в лаборатории ОЭИ ЦНИГРИ (г.Тула, № 3-6, 8), Гипроникель (г.Санкт-Петербург, № 7), ИГЕМ РАН (№ 1, 2, 9, 10). В скобках – количество анализов.

Средневзвешенные содержания МПГ, Au, Ag, Se и Te в рудах Еланского месторождения

Организация, проводившая исследования	Объем опробованного керна, м	Содержание, г/т				
		МПГ	Au	Ag	Se	Te
ЦНИГРИ	688,2	0,36	0,36	4,6	12,2	1,7
Гипроникель	1426,0	0,31	0,11	2,9	7,5	1,9
Южно-Воронежская ГРП	146,3	0,48	0,85	4,7	21,7	4,4
Среднее	2200,5	0,33	0,20	3,3	9,2	1,8

В количественно преобладающих вкрапленных рудах в поритах МПГ содержатся в незначительных количествах (0,065-0,145 г/т) и распределены крайне неравномерно. Наиболее низкие их содержания присущи бедным (Ni + Cu + Co менее 0,25%) вкрапленным рудам с преобладанием пирротина. В халькопирит-пентландит-пирротиновых рудах рудоносных зон с невысокой долей (до 1,5%) в минеральном парагенезисе сульфоарсенидов никеля и кобальта (как отмечено выше, содержащих до 19 кг/т МПГ) заметно возрастают концентрации платины (0,155 г/т), палладия (0,15 г/т), родия (0,009 г/т); величина палладий-платинового отношения обычно близка к 1 (табл. 36).

Повышенными концентрациями МПГ характеризуются брекчиевидные и более медистые вкрапленно-прожилковые руды (Ni – 6,66%, Cu – 0,23%, Pt – 0,68 г/т, Pd – 1,3 г/т); среднее содержание палладия и платины (по пяти анализам) составляет 0,530 г/т (Pd/Pt = 2,1). В массивных рудах повышенные концентрации платиноидов выявлены в наиболее богатых рудах (Ni – 13,3-14,35%, Cu – 0,28-1,17%, Co – 0,25-0,30%, 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) при среднем содержании платиноидов 0,495 г/т (Pd/Pt = 2,4). В единичных пробах массивных руд установлено до 12 г/т МПГ и до 2,5 г/т Au, а также наличие в зернах пентландита и пирротина мелких изометричных кристаллов. Кривые дисперсии отражательной способности этих кристаллов и природного сплава платины и железа норильских руд близки между собой. В брекчиевидных и массивных рудах палладий заметно преобладает над платиной (Pd/Pt > 2). Последнее является не только следствием высоких содержаний сульфидов никеля, меди, кобальта, но и отражает существенное возрастание в них никель-кобальт-сульфоарсенидов, наиболее характерных для поздних пневматолитовых по своей природе стадий единого рудообразующего процесса и сопровождающихся накоплением в своем составе повышенных концентраций осмия (до 0,05-0,08 г/т), иридия (0,01-0,05 г/т), рутения (0,02 г/т), платины (до 0,01 г/т) и палладия (0,02 г/т). В подобных рудах заметно обогащается палладием и пирротин (0,33-0,57 г/т).

Выполненные в последнее время микрозондовые анализы выявили в пирротине наличие родия (200 г/т), платины (100 г/т) и золота (200 г/т), а в пентландите – присутствие (частота встречаемости – 44%) палладия (табл. 37).

Полученные новые аналитические данные и их обобщение (32 анализа) свидетельствуют о несомненной связи благороднометалльных элементов прежде всего с минералами ряда кобальтин-герсдорфит (табл. 38). В этих минералах установлены главным образом палладий, платина и родий, а также золото. Концентрации редких платиноидов (иридия и осмия) фиксируются в единичных случаях, что объясняется, вероятно, содержаниями этих элементов ниже чувствительности рентгеноспектрального анализа, хотя в работе приводятся их более высокие значения.

Диапазон изменений содержаний металлов платиновой группы в минералах арсенид-сульфоарсенидного парагенезиса значителен и характеризуется преобладанием палладия, количество которого колеблется в пределах от 0 до 3200 г/т (в среднем 900 г/т), над платиной с вариациями содержаний от 0 до 1200 г/т (100 г/т). Отношение Pd/Pt ~9. Концентрация родия и золота изменяется от 0 до 1900 (200) и от 0 до 2200 г/т (100 г/т) соответственно. Эти данные в совокупности с отсутствием четких корреляционных зависимостей между благороднометалльными и рудообразующими элементами в минералах группы кобальтин-герсдорфит (табл. 39) позволяет предполагать самостоятельную форму нахождения платиновых минералов в виде микровключений пока еще не выявленных и не диагностированных окончательно фаз из-за малых размеров (наноминералы) их выделений. Можно лишь ожидать высокую насыщенность подобными выделениями периферических частей сульфоарсенидных обособлений. Не исключается также сорбирующая форма примеси на поверхности сульфоарсенидных фаз разного состава.

Одним из важных носителей МПГ в рудах еланского типа является новая палладий-иридий-платиновая разновидность брейтгауптита. Этот минерал установлен в рудах Еланского месторождения впервые. Он встречается в виде изометричных и частично ограненных мелких (сотые доли миллиметра) включений в сульфоарсенидах вкрапленных руд. Особенность состава этого минерала определяется весьма высоким содержанием благородных металлов (табл. 40). В составе брейтгауптита, помимо обычных примесей Fe, Cu, As и S, установлены относительно стабильные и высокие содержания Ir (5100 г/т) и Pt (3600 г/т), варьирующие в широком интервале концентрации Pd (от 1100 до 8400 г/т), и менее значимые – Rh (100 г/т), а также спорадические – Au (до 4500 г/т).

Анализ корреляционных зависимостей выявляет тесную и наиболее сильную связь платины, палладия и родия как между собой, так и всей триады с никелем, медью, кобальтом, серой, серебром, золотом и свинцом, что вообще характерно для многих сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений. Распределение рутения, судя по единичным аномалиям, определяется как связью с халькофильными элементами, так и вероятной ассоциацией его с хромшпиннелидами с образованием, возможно, собственных минеральных фаз типа лаурита, присутствующего в хромитах многих платиноносных расслоенных массивов (Стиллуотер, Бушвельд и др.).

Извлечение МПГ, по данным Механобра, составляет 55-66%, а платины, по результатам исследований ЦНИГРИ – до 94,3%. Гипроникелем в 1988 г. было выполнено исследование технологической пробы руды Еланского месторождения,

Химический состав медно-никелевых руд Елаиского месторождения

Компоненты	Место отбора проб (номер скв.,						
	7687; 255,0-273,0	7819; 272,0-461,7	7927; 267,0-350,5	7928; 266,0-345,2	7928; 412,0-446,0	7931; 302,0-345,0	7931; 496,0-525,5
Ni:							
общий	1,23	1,08	0,54	0,90	1,18	1,40	0,69
сульфидный	0,69	1,00	0,48	0,86	1,08	1,34	0,56
силикатный	0,54	0,08	0,06	0,04	0,10	0,06	0,13
Cu	0,15	0,14	0,09	0,15	0,11	0,11	0,05
Co	0,036	0,022	0,027	0,035	0,032	0,036	0,018
S	1,50	1,93	3,52	2,80	3,50	3,20	1,72
SiO ₂	43,70	51,60	49,84	48,14	49,04	47,88	51,02
Al ₂ O ₃	9,77	8,71	10,17	7,71	11,30	8,75	8,44
Cr ₂ O ₃	0,28	0,17	0,14	0,20	0,18	0,20	0,23
Fe:							
общий	9,16	7,89	9,82	9,34	10,04	10,12	7,96
сульфидный	6,10	5,80	5,80	6,72	5,00	5,00	5,28
силикатный	2,92	1,68	3,79	2,54	4,96	4,96	2,30
MgO	1,85	15,25	11,25	16,06	12,82	15,32	16,97
CaO	4,06	5,62	4,88	3,56	5,22	4,55	3,87
Na ₂ O	0,82	1,26	1,36	0,78	1,42	0,96	1,02
K ₂ O	0,66	0,66	0,92	0,60	1,10	0,60	0,88
H ₂ O	5,80	0,42	1,26	2,52	0,50	0,58	0,63
П.п.п	4,68	2,78	3,15	3,97	2,13	4,26	3,72
Zn	0,014	0,014	0,016	0,014	0,016	0,016	0,015
Pb	0,007	0,004	0,003	0,005	0,005	0,005	0,002
As	0,020	0,035	0,020	0,038	0,049	0,061	0,027
Pt	0,14	0,19	0,07	0,17	0,11	0,13	0,17
Pd	0,13	0,13	0,08	0,15	0,12	0,09	0,19
Rh	0,016	0,018	0,013	0,018	0,020	0,018	0,030
Ir	He опр.	0,028	0,010	He опр.	He опр.	0,012	He опр.
Ru	0,014	0,019	0,013	0,014	0,025	0,011	0,020
Au	0,20	0,14	0,06	0,17	0,13	0,08	0,09
Ag	2,80	3,65	1,90	3,40	2,40	2,90	1,40
Se	8,0	8,0	6,0	9,0	7,0	6,0	9,0

Примечание. Опробованные интервалы включали все типы и разновидности руд. Количество ституге "Титроникель" (Санкт-Петербург).

по всей мощности вскрытых рудоносных зон, % мас.

интервал опробования в м)								
8100: 1157,9-1225,0	8413: 309,0-113,7	8413: 524,0-655,3	8413: 662,0-756,8	8472: 257,0-304,5	8501: 255,7-286,8	8501: 388,5-423,7	8501: 468,0-504,0	Среднее
1,05	1,79	1,52	1,40	0,66	2,30	3,35	3,94	1,30
1,03	1,58	1,44	1,33	0,34	2,13	3,20	3,94	1,19
0,02	0,21	0,08	0,07	0,32	0,17	0,15	0,00	0,11
0,12	0,13	0,12	0,08	0,11	0,20	0,38	0,40	0,13
0,025	0,041	0,059	0,070	0,018	0,109	0,094	0,093	0,038
2,97	3,11	9,16	13,16	7,84	9,47	8,09	9,87	4,60
48,71	51,87	40,12	33,81	52,53	38,00	40,97	35,21	46,93
10,32	12,88	9,26	7,64	10,92	10,29	7,58	8,43	9,59
0,22	0,09	0,17	0,17	0,25	0,14	0,18	0,15	0,19
8,94	9,42	18,04	23,48	7,05	18,77	15,57	16,19	11,07
5,00	5,61	7,70	7,40	6,32	6,55	5,60	5,60	5,73
3,85	3,84	10,34	16,20	0,74	12,22	9,84	10,58	5,26
9,86	7,79	10,05	8,40	8,24	8,60	11,98	10,76	11,16
6,21	4,00	3,65	2,93	4,21	5,77	4,71	4,39	4,88
1,18	1,86	1,18	0,94	0,96	0,76	0,98	1,22	1,15
0,84	1,52	0,96	0,80	0,80	0,88	0,66	0,84	0,86
0,18	0,34	2,17	1,09	4,43	2,66	0,34	1,12	1,20
3,55	2,74	7,52	9,51	7,90	8,28	4,88	6,83	4,45
0,015	0,012	0,010	0,012	0,010	0,014	0,018	0,016	0,014
0,006	0,010	0,003	0,004	0,002	0,002	0,006	0,006	0,004
0,019	0,038	0,034	0,026	0,023	0,017	0,048	0,037	0,031
0,08	0,15	0,06	0,06	0,13	0,13	0,26	0,23	0,13
0,08	0,15	0,10	0,08	0,15	0,15	0,28	0,27	0,14
0,012	0,012	0,011	0,012	0,021	0,030	0,030	0,022	0,018
Не опр.	0,011	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,027	0,018	Не опр.	0,018
0,014	0,012	0,014	0,002	0,023	0,040	0,040	0,040	0,025
0,06	0,11	0,03	0,02	0,12	0,10	0,20	0,24	0,11
2,50	5,20	2,20	2,25	1,25	1,80	5,20	4,40	2,74
10,0	10,0	10,0	6,0	5,0	5,0	9,0	10,0	7,36

теллура во всех пробах менее 2 г/т. Содержание осмия не определялось. Анализы выполнены в ин-

Состав и формулы родий-палладийсодержащих пирротитов и палладийсодержащих

Номер образца	Компоненты,							
	Fe	Ni	Co	Cu	Rh	Pd	Au	Pt
<i>Родий-палладийсодержащие</i>								
E-15-3	59,700	0,410	0,090	–	0,020	–	–	–
E-8-4	59,930	3,110	0,420	–	Нс опр.	–	0,020	Нс опр.
E-13-4	60,340	0,310	0,060	–	–"	0,010	Нс опр.	–"
<i>Палладийсодержащие</i>								
E-15-4	28,160	35,640	2,900	–	–	–	–	–
E-15-4а	28,620	34,790	2,920	0,020	–	–	–	–
E-7-2а	28,286	38,780	0,210	0,020	Нс опр.	0,010	–	Нс опр.
E-10-3	27,060	39,030	0,780	0,010	–"	0,010	–	–"
E-9-3	26,890	39,880	0,370	–	–"	0,030	–	–"
E-11-5	28,410	37,690	0,540	–	–"	0,020	–	–"
E-11	28,830	38,120	0,500	0,020	–"	0,010	–	–"
E-12	29,270	36,870	0,990	–	–"	0,010	–	–"
E-13-3	29,400	36,700	0,470	0,040	–"	0,010	–	–"

Состав, особенности распределения благородных металлов и формулы минералов серии

Номер образца	Место отбора образца (номер скважины, глубина в м)	Компоненты,						
		Co	Ni	Fe	Cu	Pt	Pd	Rh
1	2	3	4	5	6	7	8	9
E-6-2	8501; 294,0	30,830	3,620	1,910	0,150	0,020	0,070	–
E-5-1	8501; 293,0	26,790	3,880	2,560	0,040	–	–	–
E-6-3	8501; 294,0	25,220	10,260	1,180	–	0,060	0,080	–
E-3-8	8501; 287,8	23,580	7,190	3,780	–	–	–	–
E-7-2к*	8501; 397,3	23,660	7,940	2,430	0,120	–	0,180	–

Таблица 37

пентландитов медно-никелевых руд Еланского месторождения

% мас.				Формула
S	As	Sb	Сумма	
<i>пирротины</i>				
39,030	Нс опр.	0,070	99,320	$(\text{Fe}_{7,890}\text{Ni}_{0,052}\text{Co}_{0,011}\text{Rh}_{0,001})_{7,934}(\text{S}_{9,986}\text{As}_{0,55}\text{Sb}_{0,004})_{9,045}$
39,080	0,070	Нс опр.	99,630	$(\text{Fe}_{7,536}\text{Ni}_{0,192}\text{Co}_{0,053}\text{Au}_{0,001})_{7,982}(\text{S}_{9,012}\text{As}_{0,007})_{9,019}$
39,870	0,130	-"	100,720	$(\text{Fe}_{7,876}\text{Ni}_{0,038}\text{Co}_{0,007}\text{Pd}_{0,001})_{7,922}(\text{S}_{9,065}\text{As}_{0,013})_{9,078}$
<i>пентландиты</i>				
33,330	-	0,040	100,070	$(\text{Ni}_{4,690}\text{Fe}_{3,896}\text{Co}_{0,380})_{8,966}(\text{S}_{8,032}\text{Sb}_{0,003})_{8,035}$
33,200	-	0,030	99,580	$(\text{Ni}_{4,598}\text{Fe}_{3,977}\text{Co}_{0,384}\text{Cu}_{0,002})_{8,961}(\text{S}_{8,036}\text{Sb}_{0,002})_{8,038}$
33,020	-	Нс опр.	100,300	$(\text{Ni}_{5,01}\text{Fe}_{3,909}\text{Co}_{0,028}\text{Cu}_{0,02}\text{Pd}_{0,001})_{9,043}\text{S}_{7,957}$
33,380	-	-"	100,270	$(\text{Ni}_{5,128}\text{Fe}_{3,737}\text{Co}_{0,102}\text{Cu}_{0,001}\text{Pd}_{0,001})_{8,998}\text{S}_{8,031}$
33,280	-	-"	100,450	$(\text{Ni}_{5,236}\text{Fe}_{3,712}\text{Co}_{0,018}\text{Pd}_{0,002})_{8,998}\text{S}_{8,002}$
33,000	-	-"	99,660	$(\text{Ni}_{4,983}\text{Fe}_{3,950}\text{Co}_{0,071}\text{Pd}_{0,001})_{9,007}\text{S}_{7,993}$
33,560	-	-"	101,040	$(\text{Ni}_{4,969}\text{Fe}_{3,951}\text{Co}_{0,065}\text{Cu}_{0,002}\text{Pd}_{0,001})_{8,988}\text{S}_{8,012}$
33,480	-	-"	100,620	$(\text{Ni}_{4,824}\text{Fe}_{4,026}\text{Co}_{0,129})_{8,979}\text{S}_{8,021}$
33,680	-	-"	100,300	$(\text{Ni}_{4,807}\text{Fe}_{4,048}\text{Co}_{0,061}\text{Cu}_{0,005}\text{Pd}_{0,001})_{8,922}\text{S}_{8,078}$

Таблица 38

кобальтин-герсдорфит сульфидных медно-никелевых руд Еланского месторождения

% мас.					Формула
Au	As	Sb	S	Сумма	
10	11	12	13	14	15
-	44,120	-	19,210	99,930	$(\text{Co}_{0,867}\text{Ni}_{0,102}\text{Fe}_{0,057}\text{Cu}_{0,004}\text{Pd}_{0,001})_{1,031}\text{As}_{0,976}\text{S}_{0,993}$
0,010	46,160	-	20,990	100,380	$(\text{Co}_{0,742}\text{Ni}_{0,108}\text{Fe}_{0,075}\text{Cu}_{0,001})_{0,926}\text{As}_{1,008}\text{S}_{1,069}$
-	45,040	-	18,930	100,770	$(\text{Co}_{0,707}\text{Ni}_{0,289}\text{Fe}_{0,035}\text{Pt}_{0,001}\text{Pd}_{0,001})_{1,033}\text{As}_{0,993}\text{S}_{0,975}$
0,220	44,850	-	19,300	98,920	$(\text{Co}_{0,670}\text{Ni}_{0,305}\text{Fe}_{0,113}\text{Au}_{0,002})_{0,990}\text{As}_{1,002}\text{S}_{1,008}$
-	45,390	0,200	19,820	99,740	$(\text{Co}_{0,666}\text{Ni}_{0,224}\text{Fe}_{0,072}\text{Pd}_{0,003}\text{Cu}_{0,003})_{0,968}(\text{As}_{0,004}\text{Sb}_{0,003})_{1,007}\text{S}_{1,025}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Е-8-1к	8501; 403,7	22,560	10,960	1,720	–	–	0,040	0,190
Е-10-1	8501; 480,5	22,160	9,730	2,550	0,040	0,120	0,300	0,060
Е-12-1к	9116; 781,9	21,390	9,360	3,830	0,010	–	0,180	–
Е-11-2к	9007; 733,5	17,990	14,910	2,340	0,670	–	0,090	–
Е-15-1к	9116; 613,0	16,660	12,400	4,440	0,060	–	0,310	0,010
Е-15-2к	9116; 613,0	16,520	12,190	4,850	0,010	0,010	–	–
Е-11-2ц	9007; 733,5	16,400	15,740	2,730	0,110	0,070	0,040	–
Е-15-2в к	9116; 613,0	16,480	12,180	6,810	0,040	–	0,020	–
Е-15-2в-с ц	9116; 613,0	16,160	12,900	4,390	0,050	0,010	–	0,010
Е-15-2с ц	9116; 613,0	16,090	12,970	5,410	0,060	–	–	0,010
Е-15-1с ц	9116; 613,0	15,540	13,010	4,520	0,060	0,080	0,070	–
Е-8-1с ц	8501; 403,7	15,300	16,950	3,380	0,040	–	0,050	0,060
Е-7-2с ц	8501; 397,3	13,940	17,940	3,580	0,050	–	0,160	–
Е-9-2с ц	8501; 421,4	12,780	20,370	1,180	–	–	0,330	–
Е-7-2д	8501; 397,3	11,180	21,330	2,950	0,020	–	0,200	–
Е-12-1ц	9116; 781,9	10,450	17,350	6,140	0,030	–	0,280	0,150
Е-10-2	8501; 480,5	10,120	21,030	3,450	0,010	–	0,290	–
Е-9-1с	8501; 421,4	0,630	34,700	0,320	–	–	0,130	–

* к – край; ц – центр.

10	11	12	13	14	15
–	45,740	0,170	19,460	100,840	$(\text{Co}_{0,631}\text{Ni}_{0,307}\text{Fe}_{0,051}\text{Rh}_{0,003}\text{Pd}_{0,001})_{0,993}$ $(\text{As}_{1,006}\text{Sb}_{0,002})_{1,008}\text{S}_{1,000}$
–	45,470	0,650	19,740	100,820	$(\text{Co}_{0,620}\text{Ni}_{0,273}\text{Fe}_{0,075}\text{Pd}_{0,005}\text{Pt}_{0,001}\text{Rh}_{0,001}$ $\text{Cu}_{0,001})_{0,976}$ $(\text{As}_{1,000}\text{Sb}_{0,009})_{1,009}\text{S}_{1,015}$
–	45,070	0,200	19,250	99,290	$(\text{Co}_{0,666}\text{Ni}_{0,226}\text{Fe}_{0,115}\text{Pd}_{0,003})_{0,990}$ $(\text{As}_{1,005}\text{Sb}_{0,003})_{1,008}\text{S}_{1,003}$
–	44,210	0,110	19,130	99,450	$(\text{Co}_{0,509}\text{Ni}_{0,423}\text{Fe}_{0,070}\text{Cu}_{0,018}\text{Pd}_{0,001})_{1,021}$ $(\text{As}_{0,983}\text{Sb}_{0,002})_{0,985}\text{S}_{0,994}$
0,010	46,370	0,460	19,580	100,330	$(\text{Co}_{0,468}\text{Ni}_{0,350}\text{Fe}_{0,132}\text{Pd}_{0,005}\text{Cu}_{0,002})_{0,957}$ $(\text{As}_{1,025}\text{Sb}_{0,006})_{1,031}\text{S}_{1,012}$
0,010	46,580	0,630	19,090	99,890	$(\text{Co}_{0,468}\text{Ni}_{0,347}\text{Fe}_{0,145})_{0,960}$ $(\text{As}_{1,038}\text{Sb}_{0,009})_{1,047}\text{S}_{0,994}$
–	44,930	0,200	19,240	99,460	$(\text{Co}_{0,464}\text{Ni}_{0,447}\text{Fe}_{0,082}\text{Cu}_{0,003}\text{Pt}_{0,001}\text{Pd}_{0,001})_{0,998}$ $(\text{As}_{1,000}\text{Sb}_{0,003})_{1,003}\text{S}_{1,001}$
0,020	45,530	0,540	19,430	101,050	$(\text{Co}_{0,459}\text{Ni}_{0,340}\text{Fe}_{0,200}\text{Cu}_{0,001})_{1,000}$ $(\text{As}_{0,997}\text{Sb}_{0,007})_{1,004}\text{S}_{0,995}$
0,010	46,820	0,510	19,060	99,920	$(\text{Co}_{0,458}\text{Ni}_{0,367}\text{Fe}_{0,131}\text{Cu}_{0,001})_{0,957}$ $(\text{As}_{1,043}\text{Sb}_{0,007})_{1,050}\text{S}_{0,992}$
–	46,260	0,380	19,070	100,250	$(\text{Co}_{0,453}\text{Ni}_{0,367}\text{Fe}_{0,161}\text{Cu}_{0,002})_{0,983}$ $(\text{As}_{1,025}\text{Sb}_{0,005})_{1,030}\text{S}_{0,987}$
0,040	46,590	0,370	19,720	100,000	$(\text{Co}_{0,437}\text{Ni}_{0,368}\text{Fe}_{0,134}\text{Cu}_{0,002}\text{Pt}_{0,001}\text{Pd}_{0,001})_{0,943}$ $(\text{As}_{1,032}\text{Sb}_{0,005})_{1,037}\text{S}_{1,020}$
–	44,880	0,410	19,560	100,630	$(\text{Ni}_{0,475}\text{Co}_{0,423}\text{Fe}_{0,100}\text{Pd}_{0,001}\text{Rh}_{0,001}\text{Cu}_{0,001})_{1,005}$ $(\text{As}_{0,986}\text{Sb}_{0,006})_{0,992}\text{S}_{1,004}$
–	44,460	0,510	19,120	99,760	$(\text{Ni}_{0,510}\text{Co}_{0,385}\text{Fe}_{0,107}\text{Pd}_{0,003}\text{Cu}_{0,001})_{1,006}$ $(\text{As}_{0,991}\text{Sb}_{0,007})_{0,998}\text{S}_{0,996}$
–	45,070	0,160	19,240	99,130	$(\text{Ni}_{0,581}\text{Co}_{0,363}\text{Fe}_{0,035}\text{Pd}_{0,005})_{0,984}$ $(\text{As}_{1,008}\text{Sb}_{0,002})_{0,010}\text{S}_{1,005}$
–	44,650	0,450	19,270	100,050	$(\text{Ni}_{0,603}\text{Co}_{0,315}\text{Fe}_{0,088}\text{Pd}_{0,003}\text{Cu}_{0,001})_{1,010}$ $(\text{As}_{0,988}\text{Sb}_{0,006})_{0,994}\text{S}_{0,997}$
–	45,290	0,270	19,390	99,350	$(\text{Ni}_{0,493}\text{Co}_{0,296}\text{Fe}_{0,183}\text{Pd}_{0,004}\text{Rh}_{0,002}\text{Cu}_{0,001})_{0,979}$ $(\text{As}_{1,008}\text{Sb}_{0,004})_{1,012}\text{S}_{1,009}$
–	45,770	0,100	19,830	100,600	$(\text{Ni}_{0,598}\text{Co}_{0,282}\text{Fe}_{0,102}\text{Pd}_{0,001})_{0,986}$ $(\text{As}_{1,004}\text{Sb}_{0,001})_{1,005}\text{S}_{1,017}$
–	45,300	0,620	19,300	101,000	$(\text{Ni}_{0,974}\text{Co}_{0,018}\text{Fe}_{0,009}\text{Pd}_{0,002})_{1,003}$ $(\text{As}_{0,996}\text{Sb}_{0,008})_{1,004}\text{S}_{0,992}$

Значение парных коэффициентов корреляции элементов в минералах

Элемент	Co	Ni	Fe	Cu	Pt
S	0,34	-0,33	-0,11	-0,09	-0,10
Sb	-0,69	0,59	0,21	-0,22	0,20
As	-0,36	0,19	0,33	-0,26	0,19
Au	0,12	-0,18	0,18	-0,12	-0,01
Ir	-0,05	-0,03	0,17	-0,02	-0,08
Rh	-0,05	0,01	0,12	-0,14	0,04
Pd	-0,33	0,28	0,03	-0,12	0,17
Pt	0,11	-0,11	-0,06	-0,06	
Cu	0,12	-0,08	-0,10		
Fe	0,01	-0,28			
Ni	-0,95				

Состав и формулы брейтгаунтинов сульфидных медно-

Номер образца	Место отбора образца (номер скв., глубина в м)	Компоненты, % мас.						
		Ni	Co	Fe	Cu	Pt	Pd	Rh
E-2-3	8501; 287,6	32,330	–	2,040	0,180	0,300	0,500	0,010
E-2-3в	8501; 287,6	32,840	–	0,250	0,240	0,310	0,840	0,010
E-2-3б	8501; 287,6	31,950	–	0,010	0,170	0,470	0,110	0,010

содержащей, г/т: Pt – 0,08-0,12; Pd – 0,06-0,07; Ru – 0,003-0,004; Rh – 0,04; Os – 0,05; Ir < 0,01. При среднем извлечении МПГ 64,3% содержание платины в сульфидном концентрате составило 0,39-0,64 г/т (извлечение 54,6-65,8%), а палладия – 0,31-0,93 г/т (извлечение 48,9-75,8%). За основные технологические показатели сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд рассматриваемого объекта принято содержание МПГ, г/т: в руде – 0,35, в концентрате – 2,13, в хвостах – 0,14, в окатышах – 2,18. Содержание золота и серебра соответственно составляет, г/т: в руде – 0,22 и 3,25, в концентрате – 1,58 и 24,90, в хвостах – 0,96 и 0,73, в окатышах – 1,58 и 24,90. Таким образом, попутное извлечение платиновых металлов при отработке Фланского и Елkinsкого месторождений не только возможно, но и необходимо. При этом с успехом могут быть использованы технологии, апробированные на Норильском, Печенгском и Садберийском месторождениях.

группы кобальтин-герслорфит (доверительный интервал 0,5)

Pd	Rh	Ir	Au	As	Sb	S
-0,18	-0,06	0,01	-0,08	-0,30	-0,35	
0,25	0,09	0,16	-0,13	0,54		
0,19	0,16	0,24	0,06			
-0,17	-0,09	0,00				
0,36	-0,02					
0,20						

Таблица 40

никелевых руд Еланского месторождения

						Формула
Ir	Au	As	Sb	S	Сумма	
0,490	—	2,560	61,130	0,100	99,640	$(Ni_{0,968}Fe_{0,064}Pd_{0,008}Cu_{0,005}Ir_{0,001}Pt_{0,003})_{1,052}$ $(Sb_{0,882}As_{0,060}S_{0,005})_{0,917}$
0,440	—	2,750	61,560	0,090	99,330	$(Ni_{0,995}Pd_{0,014}Fe_{0,008}Cu_{0,007}Ir_{0,001}Pt_{0,003})_{1,031}$ $(Sb_{0,899}As_{0,065}S_{0,005})_{0,969}$
0,600	0,450	1,660	64,400	0,110	99,940	$(Ni_{0,980}Ir_{0,006}Cu_{0,005}Pt_{0,004}Au_{0,001})_{0,999}$ $(Sb_{0,953}As_{0,040}S_{0,006})_{0,963}$

Курско-белгородский платиносодержащий золото-железорудный (платиноидный гематит-магнетитовый минералого-геохимический) тип оруденения развит на Михайловском, Лебдинско-Стойленском и Панковском месторождениях с запасами 1-100 т золота и 0,2-15 т МПГ при содержаниях золота 0,1-41,7 г/т (единичная проба [64]), платины – 0-0,25 г/т и палладия – 0,09-0,14 г/т (табл. 41). Первос месторождение обрабатывается карьером, вскрывающим богатые железные руды восточной залежи.

Наиболее богатая золотом проба (М-08; см. табл. 41) взята из кварцевой жилы в северной части Михайловского месторождения, что подтверждает выводы В.А.Лючкина (1997) о нахождении золота в кварцевых жилах, приуроченных к Хользево-Михайловской разломной зоне. Приводимые данные, таким образом, открывают новые перспективы в исследовании северной части месторождения, где ана-

Концентрации Au, Pt и Pd
в железистых кварцитах
Михайловского месторождения, г/т*

Номер образца	Au	Pt	Pd
М-01	0,35/0,189	–	0,09
М-03	0,57/0,163	–	0,14
М-05	0,19/0,177	0,10	0,12
М-06	0,15/0,134	0,14	0,14
М-07	0,39/0,155	0,25	0,13
М-08	0,53/0,613	–	0,08
М-10	0,47/0,178	–	0,06

*В знаменателе – по данным ИСР, в остальных случаях – по данным химико-спектрального анализа.



лиз показывает стабильное повышенное содержание как золота, так и платиноидов. Северная часть месторождения на предмет золото- и платиноносности является наименее изученной, а между тем пробы М-07, М-08, М-10 говорят о перспективах именно этого участка. Кроме того, оруденению могло способствовать развитие к северу от месторождения субщелочных гранитов атамановского комплекса, с которыми и связывается золото-кварцевая минерализация. Наложеное золотое оруденение, вероятно, связано с интенсивной гидротермальной проработкой железисто-кремнистых пород.

В центральной части месторождения также были проведены исследования кварцевых жил и вмещающих гематитовых кварцитов четвертой пачки нижней железорудной подбиты в зоне разлома северо-западного простирания. Здесь достаточно стабильные, хотя и невысокие цифры, характерны для платиноидов в образцах, отобранных по профилю в южной стенке центрального карьера. Данный профиль пересекает трехметровую зону разлома в толще гематитовых железистых кварцитов, а его начальные пробы попадают в зону, выделенную ранее как участок повышенной золотоносности (по данным Михайловской ГРП), где содержание золота превышает 1 г/т.

В южной части Центрального участка карьера и по всему Южному участку распространены узкие (шириной 20-50 м), трудно увязываемые между собой аномалии золота с концентрациями от 0,01 до 0,79 г/т по изоконцентрате 0,001 г/т, группирующиеся в два орсоло. Аномалии, как правило, приурочены к маломощным (десятки сантиметров–первые метры) зонам гидротермального изменения железистых кварцитов протяженностью преимущественно в первые десятки метров, в отдельных случаях – свыше 100 м. По данным небольшого количества пробирных и пробирно-спектральных анализов штучных проб из этих зон содержание золота колеблется от 0,41 до 7,0 г/т, МПГ не установлены.

Предварительная схема стадийности наложенного минералообразования включает три главных этапа преобразования железистых кварцитов:

- гидротермально-метаморфогенный (эгерин-кварцевая и рибскитовая стадии);
- гипергенно-гипогенный (карбонат-кварцевая, амethystовидного (халцедоноидного с адуляром) кварца, маргитовая и спекулярит-карбонатная стадии) – ведущий в отношении золотого оруденения;

гипергенный (маршаллит-лимонитовая, гетитовая, гидрогематит-сидеритовая и пирит-марказитовая стадии).

Классификацию железных руд Михайловского месторождения разрабатывал А.А.Илларионов (1965). Он по генетическим особенностям разделил их на осадочно-метаморфизованные (железистые кварциты), гипергенные и гипогенные железные руды, а также выделил разновидности в каждой из этих групп. В.А.Людкин с соавторами (1997) подвел наиболее полные итоги изучения золотого оруденения на Михайловском месторождении, выделив зоны повышенной золотоносности, связанные с кварц-сульфидными жилами и прожилками, приуроченными к разломной зоне. И.К.Мызников и А.Н.Шелехов (1996) связывают наибольшее содержание золота с краснополосчатыми гематитовыми железистыми кварцитами. Результаты многолетних исследований (А.Н.Шелехов с соавторами, 1984-2000) свидетельствуют о неравнозначной степени золотоносности изученных формаций. Следует при этом различать сопутствующую сингенетическую и наложенную (эндогенную или гипергенную) золотоносность. Как и во всем мире, повышенная золотоносность (до 0,5-0,6 г/т) свойственна архейским железорудным формациям альгома-типа, промышленными примерами которых на Русской платформе являются Костомукшское и Оленегорское месторождения, обрабатываемые одноименными ГОКами.

Вдоль западного борта Михайловского карьера на Центральном участке ореол золота по изоконцентрате 0,001 г/т протягивается более чем на 2,5 км при ширине 300-400 м. Южная и западная границы ореола не установлены, так как вскрышные работы здесь еще не произведены. В северной части ореола выделяются две параллельные контрастные аномалии золота протяженностью свыше 300 м и шириной 20-30 м с концентрациями 0,10-0,14 г/т, пространственно совпадающие с зонами эгирин-кварц-сульфидного и кварц-карбонатного прожилкования. В южной части ореола выявлены две неоконтурные точечные аномалии золота с содержаниями 41,7 и 0,9 г/т, приуроченные к жильно-прожилковым зонам кварца с адуляром и видимым золотом.

По данным А.Н.Шелехова, В.А.Людкина и Ю.С.Ляховкина [64], на Михайловском месторождении «платино-палладиевая минерализация прослежена двумя протяженными зонами, контролирующимися разрывными нарушениями. Содержание суммы Pt и Pd достигает первых грамм на тонну. *Это первое в пределах железистых кварцитов КМА существенно палладиевое проявление находится в стадии изучения*» (с. 292). Названными авторами на месторождении выявлены два геохимических поля среднего и интенсивного концентрирования золота (до 0,1 г/т) и палладия (до 0,55 г/т). Оба поля прослеживаются в северо-западном направлении под углом к основным складкам в железистых кварцитах.

При оценке платиноносности железистых кварцитов следует учитывать данные о наличии рудопроявления палладистого золота Сьерра-Пелада в итабаритах (1,8-1,9 млрд лет) месторождения Ору-Преда в штате Минас-Жеранс и Пара в Бразилии [111]. За шесть лет старатели добыли здесь более 30 т золота, некоторые гнезда содержали ураганные количества золота (до 114,5 кг/т) и палладия

(до 7,65 кг/т). В другом районе Бразилии (Итабира) в железных рудах формации “якутинга” установлены палладистое золото с содержанием Pd в золоте от 1 до 20% и селениды палладия. Об аномально высоких (до 14 г/т МПГ) в железорудных месторождениях Украины [30] мы упоминали выше.

Курско-белгородский техногенный тип также развит в пределах Курской магнитной аномалии, где перерабатываются более 40% железных руд России. В хвостотвалах платиновые металлы встречаются также вместе с золотом. Последнее было установлено А.Н.Шелеховым, А.Н.Филимоновым и др. (1980) в хвостотвалах и продуктах их переработки. Причем в отдельных опытах с флотационным обогащением Михайловского ГОКа получен (Людкин и др., 1997) концентрат, содержащий 35,4 г/т золота (извлечение 50,6%, выход 0,5%). При ежегодном поступлении в хвосты КМА около 2 т золота его общие ресурсы сопоставимы с запасами крупных золотоносных объектов (Шелехов и др., 1980; Двойнин и др., 1999). Л.З.Быховский и др. (1999) считают, что на Михайловском ГОКе ежегодно выносятся около 4 т золота, т.е. за 20 лет хвостохранилище стало крупным техногенным объектом, содержащим около 80 т золота при содержании около 1 г/т, а таких горно-обогатительных комбинатов только на КМА – три. По данным Л.З.Быховского и др. (1999), золото накапливается преимущественно (~72,3%) в крупной (+0,2 мм) фракции. Значимость этих объектов существенно возрастет при учете содержащихся в них платиноидов (до 0,1 г/т; табл. 42). Даже если в названных хвостоотвалах трех ГОКов находится порядка 25 т МПГ, все расходы по содержанию этих комбинатов будут с лихвой окуплены за счет добычи и продажи платиновых металлов.

Таблица 42

Предварительные результаты распределения некоторых платиноидов и золота в хвостах обогащения железистых кварцитов КМА

Место отбора проб	Индекс пробы	Содержание, г/т		
		Pt	Pd	Au
Лебединский ГОК (хвостохранилище)	1 л + 2 л	0,04	< 0,05	< 0,02
	3 л + 4 л + 9 л	0,02	< 0,05	< 0,02
	5 л + 8 л	< 0,02	< 0,05	< 0,02
Михайловский ГОК (хвостохранилище)	4 м + 8 м	0,02	0,05	< 0,02
	7 м + 16 м	< 0,02	< 0,05	< 0,02
	6 м + 10 м	< 0,02	< 0,05	< 0,02
Михайловский карьер	2 м + 12 м + 14 м	< 0,02	< 0,05	0,05
	5 м + 13 м + 15 м	0,02	0,05	< 0,02
	3 м + 9 м + 11 м	< 0,02	< 0,05	< 0,02
	1 м	< 0,02	< 0,05	< 0,02

Примечание. Анализы выполнены пробирно-атомно-абсорбционным методом в АО “Механобр-Аналит” (аналитик Л.А.Ушинская).

На Михайловском ГОКе с целью проведения аналитических исследований на МПГ и золото были опробованы лежалые хвосты из хвостохранилища (9 проб) и железистые кварциты сульфидизированные, окварцованные, метасоматически преобразованные (6 проб).

Из скважин, пробуренных в хвостохранилище, заполняемом отходами от добычи оксидов в течении последних тридцати лет, были отобраны пробы (2, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16 м) лежалых хвостов полутораметрового интервала массой 0,5 кг (класс измельчения 0,074 мм) таким образом, чтобы наиболее полно был охарактеризован вертикальный срез хвостоотвалов в хранилище от его ложа до поверхности для выявления уровней с повышенными содержаниями благородных металлов.

В карьере были отобраны бороздовые пробы (3, 5, 9, 11, 13, 15 м) с интервалом опробования 1 м массой 0,5 кг по тем разновидностям преобразованных железистых кварцитов, которые специализированы на благороднометальное оруденение, для решения проблемы золото-платиноносности железорудного месторождения, при отработке которого благородные металлы на протяжении десятилетий складировались в хвостохранилище.

На Лебединском ГОКе опробованы лежалые хвосты (8 проб) и хвосты “текущего дня” (2 пробы) из отстойников, расположенных в балках Орлиный лог и Козиновка и ограниченных дамбами 1 и 13 (пробы 1, 2 л), 6 и 13 (пробы 3, 4 и 9 л), 6 и 8 (пробы 5, 6¹, 6¹¹ л – лежалые хвосты, 7, 8 л – хвосты “текущего дня”). Пробы массой 2 кг были отобраны с поверхности и на глубину до 1,5 м с целью изучения распределения благородных металлов в хвостах горизонтального среза хвостохранилища, накопление которых происходило в течение последних лет в результате отработки различных участков Лебединского карьера.

Полученные в 1999 г. результаты по объединенным пробам как из хвостов обогащения, так и из железистых кварцитов, приведенные в табл. 42, подтвердили помимо постоянного присутствия (и примерно в тех же количествах) не только золота, но и платиноидов.

Наличие МПГ в концентрате и промпродуктах железорудного сырья, а также их формы концентрирования требуют дальнейшего исследования.

Проведенными исследованиями установлено (Шлехов и др., 1980; Чернышов, 1996, 1999; Додин, Чернышов, 1999; Лючкин, Казанцев, 1997), что первичным источником золота и платиноидов, поступающих в промпродукты, являются:

железистые кварциты, в том числе краснополосчатые гематитовые, в которых помимо платиноидов ($Pd > 1$ г/т) постоянно присутствует золото (0,3-0,5 г/т, в средних пробах до 41,7 г/т);

мощные сульфидизированные зоны среди обрабатываемых мартитизированных железистых кварцитов с содержанием золота до 11,0 г/т, иногда до 32,4 г/т (Панковское проявление Оскольского железорудного района);

золотоносные (2,94 г/т, иногда до 4,4 г/т Au) зоны кварцевых и кварц-сульфидных жил, широко развитые среди железистых кварцитов (Коробковское и Михайловское месторождения);

зоны сульфидизации на контакте железистых кварцитов с надрудными и внутрирудными сланцами (Au – 2,4-5,0 г/т) – палладийсодержащие коры выветривания железистых кварцитов (богатые железные руды Олимпийского, Чернянского и других участков);

золото-палладийсодержащие (Au – до 1,2 г/т, Pd – до 0,8 г/т) колчеданные (пирит-пирротиновые) залежи.

Приведенные материалы позволяют с достаточной степенью уверенности утверждать, что в Европейской части Центральной России в Курско-Воронежском регионе может быть создана самостоятельная минерально-сырьевая база платинодобычи с попутным золотом. Ее главными составляющими должны стать золото-платиносодержащие проявления в черных сланцах и их метасоматитах тимского типа, а также железистые кварциты и их хвостоотвалы. В последующем не могут и не должны остаться без внимания сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения мамонского и еланского типов и малосульфидные платинометалльные руды в крупных дифференцированных плутонах мамонского комплекса.

Развитие в пределах Курско-Воронежского региона аналогичных Тим-Ястребовской зоне структур размером до 110×30 км, масштабный (до 2000 м по разрезу) размах золото-платиноидного оруденения, высокие значения (до 3000 т) потенциальных ресурсов МПГ и золота, хорошие результаты обогатимости руд (8-20-кратное концентрирование МПГ в сульфидно-графитистой фракции), возможности отработки карьерами и шахтами в процессе добычи нижележащих золото-платиносодержащих железных руд определяют высокую перспективность рассматриваемого региона.

Особое значение в качестве источника благородных металлов могут иметь пока еще недостаточно изученные с позиций платиноносности железистые кварциты и огромные по площади и объему хранилища хвостов уже длительно эксплуатируемых железорудных месторождений КМА. При этом развитая инфраструктура Курского железорудного района значительно повышает промышленную значимость находящихся здесь крупных золото-платинометалльных объектов в углеродистых сланцах и железистых кварцитах.

В пределах Курско-Воронежского района предлагается выполнить:

разномасштабное геолого-геофизическое, геолого-минералогическое и геохимическое доизучение Тим-Ястребовской зоны с оконтуриванием горизонтов платиноносных черных сланцев, оценкой их ресурсов по категориям P₂-P₃ и созданием оптимальной технологии проведения таких работ;

поиски и оценку по разработанной технологии прогнозирования платиноносных черносланцевых горизонтов в пределах структур, аналогичных Тим-Ястребовской зоне;

разноплановые научно-технологические исследования по установлению закономерностей размещения, вещественного состава и технологических свойств золото-платиносодержащих руд в железистых кварцитах, черных сланцах и их метасоматитах с завершением обоснования методологии прослеживания и оконтуривания наиболее продуктивных платиноносных горизонтов;

разработку ТЭО освоения золото-платиносодержащих руд КМА и их хвостотвалов, а также аналогичных проявлений в углеродсодержащих комплексах тимского типа и сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений сланского и мамонского типов.

Уральский регион

Уральский регион пространственно совпадает с Уральской геосинклинально-складчатой системой в восточном обрамлении Русской плиты. Сложена эта складчатая система в основном образованиями позднепротерозойско-верхнепалеозойского возраста. При этом развивалась она в зоне взаимодействия океанического и континентального сегментов литосферы. Таким образом, становление Уральской складчатой системы происходило в результате эпиконтинентального и океанического рифтогенеза, начиная с растяжения и раскола древнего кратона, раздвига и образования структуры палеоокеанического типа с обрамляющими ее системами пассивных окраин и внутренних островодужных поясов. Замыкание палеоокеанической области сопровождалось образованием системы разновозрастных вулканоплутонических поясов и наложенных депрессий в восточном обрамлении системы, а также коллизией сегментов с древней и новообразованной корой и надвижением эвгеосинклинальных комплексов на западное обрамление вдоль Главного Уральского разлома [13].

Уральский регион, соответствующий Уральскому субмеридиональному платиноталлогеническому поясу (часть Уральско-Бушвельдского планетарного пояса), включает две металлогенические провинции – Восточно- и Западно-Уральскую (рис. 29). Первая провинция совпадает с эвгеосинклинальной (силурийско-девонской) структурной зоной Восточного склона Урала, вторая – с обрамляющей ее с запада многоэпиклинальной осевой частью Западного склона.

В пределах Восточно-Уральской провинции выделяются следующие платиноносные металлогенические области: Сыум-Ксу-Войкаро-Сыньинская развития альпинотипных гипербазитов на Полярном Урале, Харасоюрско-Чистопская и Кваркушинско-Ляпинская (Платиноносный пояс) на Северном и Среднем Урале. В Южно-Уральской области располагается ряд платиноносных дунит-гарцбургитовых массивов. Составляющие эти зоны рудоносные зональные дунит-клинопироксенит-габбровые и альпинотипные дунит-гарцбургитовые комплексы относятся к ранней океанической стадии развития Уральской складчатой системы.

В Западно-Уральской провинции на границе с Восточно-Уральской выделяется Сараповский пояс на Среднем Урале, представляющий собой полосу развития позднерифейско-венд-кембрийских стратифицированных габбровых и гипербазит-габбровых массивов [13], контролируемых региональными разломами и содержащими платиноидное хромитовое оруденение. В северной части Приполярного Урала в Кожимском районе известны палладийсодержащие золотые россыпи, а в 1994 г. здесь было открыто коренное золотое рудопроявление Чудное.

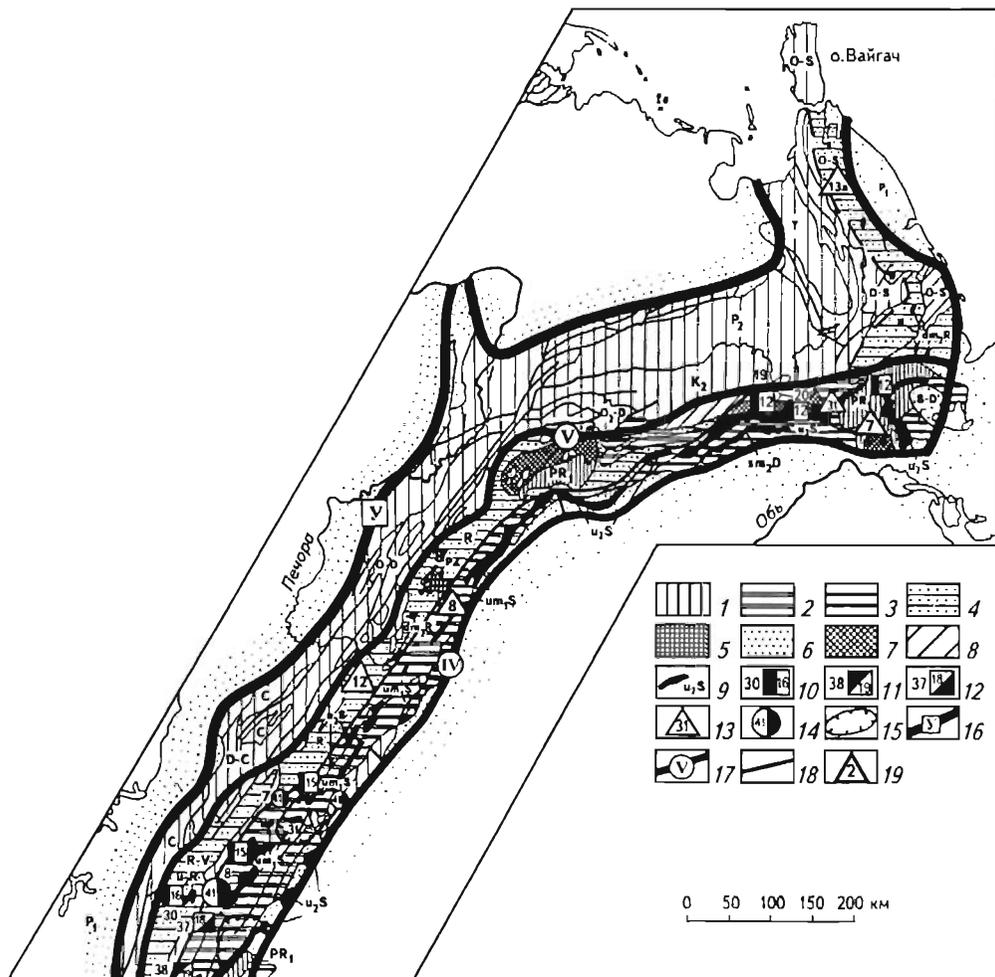


Рис. 29. Платинометаллогеническая карта Урала

1-8 – типы структурно-формационных комплексов: 1 – осадочных бассейнов западного склона Урала, 2 – офиолитовых поясов, 3 – андезит-базальтовых поясов, 4 – интрузивных и дайково-интрузивных поясов и зон, 5 – гранитоидов, 6 – чехла Западно-Сибирской и Русской платформ, 7 – углеродисто-сланцевых офиолитовых поясов, 8 – черносланцевых толщ у средних массивов; *разнообразные платиноносные интрузивные формации*, в том числе 9 – дунит-гарцбургитовая, остальные в соответствии с табл. 15; 10-14 – платиноносные рудные формации, месторождения установленные и прогнозируемые: 10 – платиносодержащая хромитовая, 11, 12 – платиносодержащая титаномангнетитовая (в том числе 11 – с медью), 13 – платиносодержащая полиметалльная (черные сланцы и их метасоматиты), 14 – платиносодержащая россыпная (номера в знаках соответствуют пронумерованным типам месторождений в табл. 15, около знаков – платиноносные месторождения: 7 – Денсжикш Камень, 8 – Светлоборское, 19 – Войкаро-Сыньинское, 20 – Рай-Изское, 30 – Саратовское, 31 – Воронцовское, 37 – Качканарское, 38 – Волковское); 15 – площади развития платиноносных россыпей; 16 – Уральский платиноносный пояс; 17 – платиноносные и потенциально платиноносные провинции: V – Западно-Уральская, IV – Восточно-Уральская; 18 – границы платиноносных и потенциально платиноносных областей; 19 – платиноносные и потенциально платиноносные области (цифры в треугольниках): 7 – Сьгум-Кеу-Войкаро-Сыньинская, 8 – Харасонюрско-Чистопская, 12 – Кваркушинско-Ляпинская, 13а – Пай-Хойская)

По данным Л.И.Гурской, Л.Б.Макарьева и др. [64], вдоль западного склона Полярного Урала в пределах Талото-Пайпудынского прогиба развиты перспективные на платиноиды фосфатоносные сланцы раннего палеозоя, которые прослеживаются от арктического побережья Карского моря почти до массива Рай-Из.

Сыум-Ксу-Войкаро-Сыньинская область развития крупных платиноносных дунит-гарцбургитовых массивов (рис. 30) восточного склона Полярного Урала

(Рай-Из, Сыум-Ксу, Войкаро-Сыньинский) имеет протяженность более 300 км в субмеридиональном направлении при общей площади порядка 3000 км². Характеристика названных интрузивов содержится в целом ряде работ [10, 63, 64, 87; Заварицкий, 1932; Кузнецов, 1964; Морковкина, 1967; Москалева, 1974; Малахов, 1983; Варлаков, 1986; Савельева, 1986; Максев, 1992 и др.].

Площадь массива Сыум-Ксу составляет 600 км², Рай-Изского – 380 км², Войкаро-Сыньинского – ~2000 км². Эти массивы имеют в плане линзовидную форму с размерами по простиранию от 20 до 60 км, а в поперечнике – 2-20 км. Интрузивы сложены преимущественно дунитами, гарцбургитами и перцолитами в сложном соотношении. Возраст габбро и вебстеритов одно-

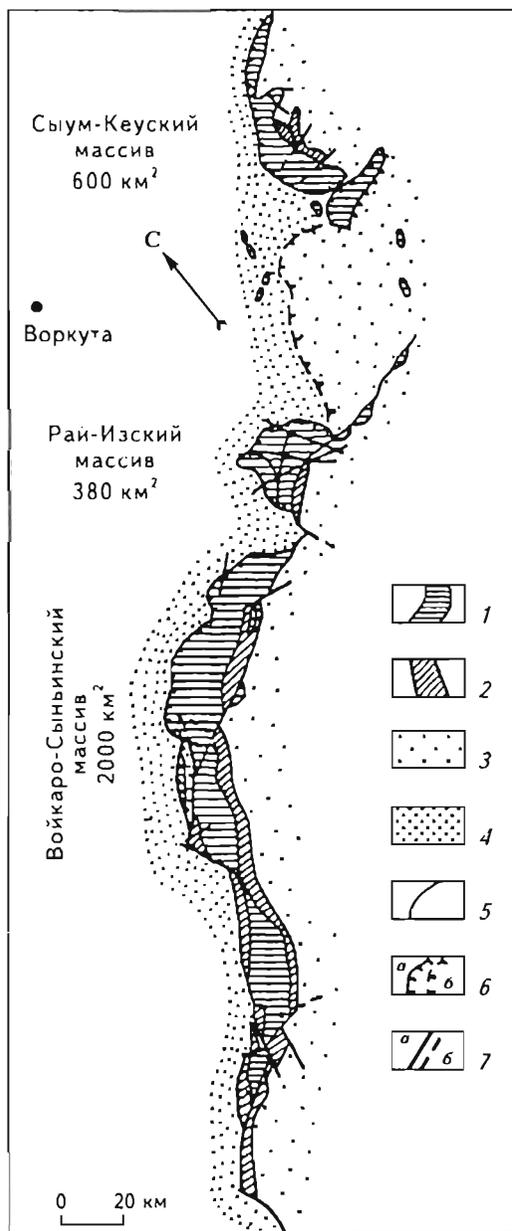


Рис. 30. Схема расположения ультрабазитовых массивов на Полярном Урале (по Макаеву, Брячатиновой, 1989)

1 – альпинотипные ультрабазиты дунит-гарцбургитовой формации; 2 – ультрабазиты дунит-верлит-клинопироксенитовой формации; 3 – породы восточного палеооксанического сектора; 4 – породы западного палеоконтинентального сектора; 5 – геологические границы; 6 – линии расположения Главного Уральского надвига достоверные (а) и предполагаемые (б); 7 – линии тектонических нарушений достоверные (а) и предполагаемые (б)

го из массивов – Войкаро-Сыньинского – 397 млн лет при $\epsilon_{Nd} = 7,3-9,0$. По Г.Н.Савельевой (1986), этот возраст соответствует времени обдукции офиолитов на континентальную кору. Для рассматриваемых дунит-гарцбургитовых массивов характерна внутренняя зональность: для массива Сьум-Кеу – это смена лерцолит-гарцбургитового (Н) комплекса дунит-гарцбургитовым (ДН), дунитовым (D) и дунит-гарцбургитовым; для Войкаро-Сыньинского – это ряд D–ДН–Н; для Рай-Изского (с северо-запада на юго-восток) – Н–ДН–D–ДН–Н. Весьма типичным является сочлененность с гарцбургитами контактово-метасоматических пород дунит-верлит-клинопироксенитового комплекса. Оливин-антигоритовые породы образуют зоны мощностью до 500 м и внутри гарцбургитов. Характерно присутствие в составе дунит-гарцбургитовых массивов оливиновых, дупироксенных габбро и габбро-диоритов. Причем одна из групп габбро и габбро-диоритов имеет образование офиолитовой серии [13].

Типовой Войкаро-Сыньинский массив образован системой тектонических пластин, надвинутых на Центрально-Уральское поднятие и перекрытых палеозойскими островодужными вулканогенно-осадочными породами [13]. В основании разреза ультрамафитов залегает Пайсерско-Рай-Изский покров (ультрабазиты + + габбро + диабазы с диабазовыми дайками). Верхнюю часть образует Лагартинский покров апогаббровых и аподиабазовых амфиболитов. В пределах западной части первого покрова установлен серпентиновый меланж. Значительная роль среди хромитонесных ультрамафитов Пайсерско-Рай-Изского покрова принадлежит гарцбургитам и дунит-гарцбургитам, меньшая – дунитам, лерцолитам, жильным пироксенитам. Хромититы связаны преимущественно с дунит-гарцбургитовой серией, наиболее значительное высокохромистое оруденение сосредоточено в ее нижней части. В гарцбургитах отмечаются сплошные и густовкрапленные руды, образующие пластообразные, линзовидные и жильнообразные тела.

К массивам этой области приурочены месторождения платиносодержащих подиформных хромитовых руд. Среди хромитов, по А.Б.Максееву и др. (1985), устанавливаются: субферриалюмохромит, субферрихромит (рудные разновидности), феррихромит, хромит, магнетит, хромпикотит, алюмохромит. Намечаются убоговкрапленные (до 30% хромшпинелида), редковкрапленные (до 50%), средне-вкрапленные (до 70%), густовкрапленные (до 90%) и массивные (> 90% хромшпинелида) руды. Содержание Cr_2O_3 в рудах достигает 55%. В пределах Рай-Изского массива наиболее значимы Центральное и Южное месторождения, а также установлено 200 мелких рудопроявлений, в Войкаро-Сыньинском – более 250 рудопроявлений подиформных хромитовых руд, в том числе Хойминское и Пайты.

На Полярном Урале также развиты иридоосиновые россыпи альпийского типа, связанные с разрушением альпийских гипербазитов, во многом сходных с объектами качканарского и волковского типов Среднего Урала [19].

Платиноносный пояс Урала, изученный многими исследователями [5, 7, 9, 10, 24, 31, 50, 62-65, 70 и др.], вмещает хорошо известные платиноносные зональные массивы дунит-клинопироксенит-габбровой формации и прослеживается вдоль Главного Уральского разлома при ширине 10-40 км почти на 900 км. Массив

вы Платиноносного пояса тяготеют к границе двух крупных структур: Центрально-Уральского антиклинория на западе и Тагило-Магнитогорского синклинория на востоке. Большая часть массивов дунит-клинопироксенит-габбровой формации сосредоточена в западном борту Тагильского синклинория.

Центрально-Уральское поднятие сложено древними породами протерозоя нижнего палеозоя. Тагило-Магнитогорский эвгеосинклинальный прогиб включает Тагильскую и Магнитогорскую зоны. Основная часть рудных систем Урала принадлежит именно ему [13], причем для Магнитогорской зоны более характерно развитие дунит-гарцбургитовых комплексов и поясов серпентинитов, а для Тагильской – дунит-клинопироксенит-габбровых массивов. Тагильский прогиб сложен вулканогенно-осадочными отложениями палеозоя мощностью 5-8 км, имеющими моноклинальное падение ($15-30^\circ$) с постепенным выполаживанием к востоку. Интрузивные массивы внедрялись в регионально-метаморфизованные складчатые толщи.

Среди основных и ультраосновных пород массивов Платиноносного пояса наиболее распространены габбро (площадь габброидов почти в 10 раз превышает площадь ультрамафитов). На дуниты приходится 20% площадей выходов, на верлиты и клинопироксениты – около 65% [33]. В пояс входят следующие интрузивные комплексы и массивы: Ревдинский, Тагильский, Баранчинский, Качканарский, Павдинский, Кытлымский, Княсьнимский, Кумбинский, Денежкин Камень, Ивдалский, Чистопеский. В пределах Платиноносного пояса рассматриваемые массивы группируются в две параллельные полосы: западную и восточную. К западной полосе тяготеют массивы с преобладающим развитием дунитов и пироксенитов, к восточной – с пироксенитами и габбро (Ревдинский, Тагильский, Баранчинский). Например, Качканарский массив состоит из двух достаточно крупных дунитовых штоков – Вересовоборского и Светлоборского, а также габбро-пироксенитового массива.

Массивы Платиноносного пояса Урала образуют вытянутые в меридиональном направлении линейные тела протяженностью десятки километров. Дунит-клинопироксенитовые массивы имеют изометрическую и подковообразную формы. В строении массивов отмечается внутренняя концентрическая зональность: дунитовые ядра большей частью залегают в габбро и отделены от них клинопироксенитовыми зонами [33]. Рассматриваемые интрузивы образуют сложные разделенные (отдельные, изолированные от габбровых тела дунитов), сложные асимметричные (дунитовые тела залегают асимметрично в западных контактовых габброидах с вмещающими породами), а также обычные линейные массивы (Штейнберг, 1981).

По строению, составу пород и металлогеническим особенностям зональные массивы рассматриваемого типа включают тела:

дунитовые хромитовые с платиново-иридий-осмиевой специализацией (нижнетагильский тип);

пироксенитовые с платиносодержащими титаномагнетитовыми рудами (качканарский тип);

стратифицированные габброидные с палладийсодержащими ванадий-медно-титаномагнетитовыми рудами (волковский тип).

Ряд массивов (в первую очередь Нижнетагильский, Светлоборский, Кытлымский и Вересовоборский) Платиноносного пояса при разрушении образовали многочисленные россыпи с большими (до 300 т) запасами платиноидов, которые начали обрабатываться на Урале еще в 1824-1825 гг. и в незначительном объеме обрабатываются сейчас.

В районе установлены позднемезозойская, раннемиоценовая, средне-позднемиоценовая и плиоцен-четвертичная эпохи рудообразования (Баранников, Волченко, 1997). По L. Duparc et al. (1920), выделяются россыпи: остаточные и элювиальные, в том числе “ложные”; аллювиальные современных речных долин; террасовые этих же долин; карстовые и древние.

В Южно-Уральской зоне Восточно-Уральской платинометаллогенической провинции, как и в Полярной области, имеют развитие альпинотипные гипербазиты офиолитового типа. Непременной составляющей (подошвой) протяженных офиолитовых поясов являются дунит-гарцбургитовые массивы с приуроченными плагиносодержащими хромитовыми объектами. Примером таких массивов в Южно-Уральской области может служить Халиловский массив. Гарцбургит-лещолитовые комплексы офиолитового Уральского пояса представляют Кракинский и Нуралинский массивы.

Халиловский массив относится к Кемпирсайско-Хабарнинской металлогенической зоне, в которую входят Кемпирсайский, Хабарнинский и Халиловский ультраосновные массивы. Эта зона состоит из перемежающихся офиолитовых пластин и силурийско-девонских осадков.

Халиловский офиолит отличается типичным истощенным фундаментом, образованным протозернистыми гарцбургитами, в средней и красной частях разреза которых отмечается дунит-гарцбургитовая серия с габброидами во внешней зоне. Мелкие месторождения богатых хромовых руд приурочены к дунит-гарцбургитовому комплексу. Руды всегда сопровождаются увеличением количества прослоев дунитов, при этом в дунитах по направлению к рудным телам растет содержание глинозема и падает – суммарного железа. В гарцбургитах при приближении к рудным телам отмечается уменьшение содержания глинозема и увеличение суммарного железа от 8 до 13% [13]. В рудном хромите содержится 57,0-61,8% Cr_2O_3 , отношение $Cr/(Cr + Al) = 0,72-0,82$, а $f = 24-35$. Минералы группы платины выявлены как идиоморфные включения размером до 100 мкм внутри зерен хромита [90].

Кракинский массив находится на Башкирском поднятии и состоит из четырех крупных ультраосновных тел, являющихся, скорее всего, останцами крупного аллохтона [5, 6, 10, 13]. Северный, Средний и Узьянский Крака образованы главным образом шпинелевыми и плагиоклаз-шпинелевыми лещолитами. В Южном Крака установлены также гарцбургиты, известные и в других массивах. Наименьшее значение имеют дуниты, полосчатая дунит-верлит-клинопироксеновая серия установлена только в Среднем Крака, здесь же встречены габбро и габбро-амфиболиты. В пределах Кракинского комплекса (особенно в Среднем и Южном Крака)

выявлено около 200 проявлений и месторождений хромитовых руд, ряд из них содержит промышленно значимые содержания МПГ и золота (Ковалев и др., 1996). Установлено, что хромититы комплекса являются высокохромистыми разновидностями повышенной глиноземистости [13].

С.Г.Ковалев с соавторами (1996) детально исследовали Апшакский (Южный Крака) и Хамитовский (Средний Крака) участки. На первом из них крупные тела хромитовых руд слагают Ашкарскую, Апшакскую и Ситновскую группы. Почти все проявления хромититов установлены в линзах и дайкообразных телах “вторичных дунитов” и образованы сплошными, густовкрапленными и бедновкрапленными рудами. В них установлено до 1,13 г/т МПГ, 0,51 г/т Au и 7 г/т Ag.

В пределах Хамитовского участка установлены два типа месторождений хромититов, отличающихся платиногеохимической специализацией (платиновая для первого вкрапленного типа и осмий-иридий-рутениевая для второго типа хромитовых руд в дунитах и гарцбургитах).

Нуралинский массив площадью около 100 км² приурочен к зоне сочленения Магнитогорского и Уралтаусского антиклинориев, располагаясь в северном окончании Магнитогорской зоны. В его окружении преобладают лерцолиты, а также гарцбургиты и дуниты, контактирующие с полосчатым комплексом дунит-верлит-клинопироксенитов и роговообманковых габбро [10, 19]. Среди лерцолитов устанавливаются шпинель-плагноклазовые, слагающие большую часть разреза, и шпинелевые разности. Между выделенными сериями пород наблюдаются постепенные переходы.

Разрез массива насыщен хромититами. Они в виде шлиров мощностью 1-2 м и небольших (20×30 см) хромитовых сегрегаций распространены в шпинель-плагноклазосодержащих лерцолитах, дунит-гарцбургитах и дунитовых линзах среди верлитов и клинопироксенитов. Отмечаются высокоглиноземистые ($Cr/(Cr + Al) = 0,54$) и высокохромистые ($Cr/(Cr + Al) = 0,65-0,84$) хромиты.

По В.П.Молошагу и С.В.Смирнову (1996), Нуралинский массив, скорее всего, двухфазный, причем первая фаза – типичная офиолитовая (лерцолиты, гарцбургиты, троктолиты) с осмий-рутений-иридиевой, а вторая – постофиолитовая (высокостронциевые дуниты и габбро, верлиты и клинопироксениты) с платино-палладиевой специализацией. В Приозерном проявлении установлены МПГ (с содержанием 10,3 г/т) при платиноидном ряде, имеющим вид $Os > Ru > Ir > Pt > Pd > Rh$ [5, 19].

Сарановский пояс на Западном Урале протягивается вдоль осевой части Центрально-Уральского поднятия почти на 160 км в зоне распространения докембрийских рифтогенных образований. Устанавливается самостоятельный сарановский эпиконтинентального рифтогенеза рифейско-вендский комплекс расслоенных дунит-гарцбургит-пироксенит-габбровых интрузий [5]. Составной частью этого пояса является Сарановский массив габбро-норит-пироксенит-перидотитовой формации с приуроченным к нему одноименным месторождением хромовых руд, открытым в XIX в. Это наиболее изученный объект формации низкохромистых руд, тяготеющих к зоне глубинного регионального разлома. По нему соприкасаются

вулканогенно-терригенные и карбонатно-терригенные образования рифея и венда. Интрузивы близкого состава распространены и среди последних. Комплекс вмещают: на западе – слюдисто-кварцевые и углисто-слюдисто-кварцевые с прослоями основных вулканитов сланцы, на востоке – те же сланцы, пронизанные карбонатными породами. Сам стратиформный комплекс образован тектоническими блоками различной формы [13]. На юге разрез комплекса сокращается, и он имеет этажное строение, включая серию слепых хромитоносных блоков. В составе рудовмещающих пород преобладают серпентиниты, однако в восточной части массива достаточно широко развиты габбро. В блоках, сохранивших первичные структуры, в основании разреза вскрыты дуниты и пироксеновые дуниты (перидотиты-пироксениты), выше – хромитоносные дуниты и гарцбургиты. Многочисленные дайки щелочных диабазов, пикрит-диабазов, габбро-диабазов и диабазов также являются составной частью рудовмещающего комплекса. Предполагается, что наиболее ранние деформации рудоносного комплекса проявились в доорнепалезойское время.

Авторам представляется, что Сарановский массив изучен совершенно недостаточно. Скорее всего, он является представителем перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации – своеобразным аналогом Бунивельдского комплекса. В массиве устанавливаются Северное и Южное тела серпентинитов (SiO_2 – 33-37%, Al_2O_3 – 0,6-1,0; Cr_2O_3 – 0,3-1,4; Fe_2O_3 – 5-11; FeO – 1,3-6,0; MgO – 33-42; NiO – 0,2-0,4; CaO – 0,1-1,1; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \sim 0,1$; $\text{P}_2\text{O}_5 \sim 0,1\%$) протяженностью 2,5 и 1,7 км и мощностью 80-250 м и 40-200 м [19]. Расслоенность массива намечается по изменению содержаний железа, титана, алюминия и МПГ. Например, О.К. Ивановым [24] для Северного тела намечается ряд (снизу вверх): хромитоносные нижние дуниты → продуктивные хромитоносные верхние дуниты → гарцбургиты. Устанавливается несколько тел хромитовых руд мощностью 1-22 м.

Кожимский район с развитием россыпного палладисто-ртутистого золота находится в Приполярном Урале, в пределах Ляпинского (Хобейзского) антиклинория, входящего в состав Центрально-Уральского поднятия. Наиболее древние породы района представлены двумя толщами (суммарная мощность 200-2500 м) саблгорской свиты верхнего рифея (Голдин и др., 1973): нижняя – базальты и андезитобазальты с прослоями кварц-серпентит-пиррофиллитовых сланцев, верхняя – нормальные и субщелочные риолиты и их туфы. Породы саблгорской свиты прорваны крупной субвулканической интрузией риолитов малдинского комплекса позднерифейско-вендского возраста [53]. К этому же комплексу относятся риолиты даск северо-восточного простирания.

Площадь района входит в состав крупной Малдинской антиклинали северо-восточного простирания. Она имеет асимметричное строение: западное крыло пологое, а восточное – круто подвернуто. Ядро антиклинали сложено вулканическими и субвулканическими породами верхнего рифея–венда, а крылья – терригенными палеозойскими отложениями.

Таким образом, для Уральского региона характерно широкое развитие алышнотипных гипербазитов (площадь выходов до 15 тыс. км² при протяженности 2000 км).

Установлена связь [5, 6] платинометаллического оруденения с хромитовыми рудами каждой части разреза альпийских комплексов четырех типов, имеющих ранг подтипов в авторской классификации [19]:

кракиноско-нуралинского иридисво-осмиево-рутениево-платинового (лерцолит-гарцбургитовые с подчиненными дунитами массивы с высокоглиноземистыми хромшпинелидами);

кемпирсайского рутений-иридисво-осмиевого (дунит-гарцбургитовые массивы с высокохромистыми хромшпинелидами);

верхневыйвинского платино-рутениево-иридисво-осмиевого (гарцбургит-дунитовые массивы с хромистыми железистыми низкотитанистыми хромшпинелидами);

нуралинско-шандашинского платино-палладиевого с серебром (дунит-верлит-клинопироксенит-габбровые массивы).

Эти подтипы выделяются авторами [70] в кемпирсайско-рай-изский (альпийский) тип платиносодержащей хромитовой формации.

Кракиноско-нуралинский и нуралинско-шандашинский подтипы платиноидного оруденения представлены месторождениями Уралы и массива Крака. К кемпирсайскому подтипу в Уральском регионе России отнесены месторождения Рай-Из, Сыум-Ксу, Войкаро-Сыньинское. Платиноидная минерализация Халиловского массива – промежуточный объект между кемпирсайским и верхневыйвинским подтипами.

Среди платиноидного оруденения массивов Платиноносного пояса Урала выделяется три типа: уральский (или нижнетагильский) платиносодержащий хромитовый, качканарский и волковский платиносодержащие ванадий-тиганомагнетитовые.

Таким образом, Уральский регион имеет платиноидную хромитовую специализацию, но долгое время в связи с ориентацией промышленности на крупнейшее в мире Кемпирсайское месторождение (теперь расположенное на территории Казахстана) другие хромитовые объекты практически не изучались, кроме Сарановского месторождения [5, 6, 13, 24], эксплуатируемого уже долгие годы. Это месторождение относится нами [19] к бураковскому (бушвельдскому) типу вместе с Бураковским и Сопчезерским месторождениями Карело-Кольского региона.

Достаточно широко в Уральском регионе представлены месторождения платиноносных никелевых кор выветривания: Уфалейское, Серовское, Сахаринское (Южный Урал), Елизаветинское (Средний Урал) и др. [45, 46]. По составу субстрата, давшего начало корам выветривания (дуниты, перидотиты, серпентиниты), эти месторождения относятся к уфалейскому (австралийскому) типу [19].

Среди россыпных месторождений по типу россыпобразующих объектов в Уральском регионе развиты уральский (корякский) (иридисво)-платиновый и альпийский иридисво-осмиево-золото-платиновый. К первому типу относятся россыпи платиноидов, связанные с разрушением дунит-клинопироксенит-габбровых зональных массивов. Эти россыпи протягиваются на 300 км в субмеридиональном направлении на Среднем Урале и связаны с коренной минерализацией Платиноносного пояса. До начала первой мировой войны они были главным источником

платины, и поставляли на мировой рынок более 90% всей платины. Россыпи альпийского типа связаны с разрушением альпинотипных гипербазитов и представлены главным образом в Полярно-Уральской области.

В результате почти 180-летней отработки россыпных месторождений Платиноносного пояса Урала сформировались уникальные по запасам и содержаниям полезных компонентов техногенные платинометалльные россыпи, в которых сконцентрированы десятки тонн платиновых минералов, а также десятки тысяч тонн платиносодержащих хромшпинелидов и несколько тонн самородного золота [65].

Из удивительного многообразия развитых в регионе месторождений МПГ рассмотрим лишь некоторые из них, являющиеся характерными и типовыми: относимые к платиносодержащей хромитовой формации – *Сарановское* (бураковский тип), массива *Средний Крака* (кракинско-нуралинский подтип кемпирсайско-рай-изского типа), *Рай-Из* (кемпирсайский подтип), *Авроринское* (уральский, или нижнетагильский, тип) в *Нижнетагильском массиве*; к платиносодержащей титаномагнетитовой формации – *Качканарское* и *Волковское* (одноименные типы); к формации платиноносных кор выветривания – *Уфалейское* (уфалейский, или австралийский, тип), а также россыпные месторождения уральского типа на примере *Исовской* россыпи. Необходимо упомянуть о новом типе гидротермального золото-палладий(?) редкоземельного оруденения в риолитах, развитого на Приполярном Урале в Кожимском районе в рудопроявлении *Чудное*.

На *Сарановском месторождении* распространены вкрапленные и массивные хромитовые руды, слагающие серию протяженных пластов мощностью от 0,2 до 12 м, причем наиболее мощными из них являются Западный, Центральный и Восточный (мощностью 6-7, 10-12 и 2,5-3 м соответственно) [5]. Большинство хромитовых пластов (до 40% Cr_2O_3 ; табл. 43), и прежде всего система главных рудных тел, явно тяготеет к зоне перехода от пироксенитовых дунитов к дунит-гарцбургитам [13]. Хромшпинелиды представлены субферриалюмохромитами, ферриалюмохромитами и хромпикотитами (38,7-46,8% Cr_2O_3 ; 14,0-19,5 Al_2O_3 ; 11,85-19,61 FeO ; 5,01-19,25 Fe_2O_3 ; 5,86-14,11 MgO ; 0,36-1,18 TiO_2 ; 0,14-0,86 MnO ; 0,21-0,28 NiO ; 0,004-0,22% V_2O_5). В хромититах устанавливаются также серпентин, карбонаты, магнетит, рутил, фуксит, уваровит, титанит, сульфиды, платиновые минералы.

Рудные пласты, выдержанные по мощности, характеризуются следующим геохимическим рядом: $Ru \rightarrow Os \rightarrow Ir \rightarrow Pt \rightarrow Rh \rightarrow Pd$. Соотношения отдельных элементов по разрезу колеблются, но рутений и осмий остаются ведущими и во вмещающих породах, и в хромитовых рудах, хотя отмечается относительная обогащенность нижних (западных) частей разреза иридием и осмием, а восточных – палладием, родием и платиной [5]. Количество МПГ в промышленно значимых пластах хромитов составляет 0,25-0,55 г/т, достигая 2-3 г/т в приконтактных частях рудных тел с очень значительным развитием динамометаморфизма и аллометаморфизма.

Платиновые минералы представлены соединениями, в первую очередь, рутения, осмия и иридия с серой и мышьяком. Наиболее распространены лаурит (в том

Состав гипербазитов и хромитовых руд Сарановского стратиформного комплекса, % [13]

Тип пород, руд	Количество анализов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃
Серпентиниты аподунитовые	4	38,34	0,09	1,03	7,20	3,07	1,09	35,27	0,32
Серпентиниты по дунитам пироксенсодержащим	3	34,00	0,07	0,92	7,28	1,33	4,02	35,89	0,52
Серпентиниты по дунитам пироксеновым	6	33,46	0,11	2,40	5,15	6,02	1,87	33,52	2,62
Серпентиниты по дунит-гарцбургитам	8	37,85	0,17	4,06	4,49	6,03	2,06	31,94	2,08
Серпентиниты по гарцбургитам	5	36,26	0,15	2,13	4,17	6,65	1,93	33,30	0,79
Густовкрапленные хромитовые руды Западного рудного тела	14	11,03	0,30	13,09	4,25	13,09	1,74	18,69	32,45
Сплошные хромитовые руды Центрального рудного тела	20	4,30	0,43	16,38	5,10	13,99	2,11	14,60	38,80
Вкрапленные хромитовые руды Восточного рудного тела	7	9,64	0,48	16,28	6,25	14,35	0,51	16,41	30,98

числе осмиевый обычно в нижних и средних частях рудных тел), эрлихманит, прарсит, брэггит, высокоцит, атенит, сперрилит, стиллуотерит [5, 6, 10, 24, 70]. Как правило, они слагают одно-трехфазные сростки (размером до 40×70 мкм) в ассоциации с миллеритом и пиритом (в том числе кобальтистым), полидимитом, линнеитом, герсдорфитом и другими сульфидами и сульфоарсенидами, включенными в хромшпиннелиды и силикатную матрицу руд.

Сарановское месторождение хромовых руд в настоящее время является единственным существенным источником феррохрома для России. Расположенный в Пермской области Сарановский комбинат мощностью 200 тыс. т огнеупорной руды в год [45] обеспечивает преимущественно Серовский ферросплавный завод. Однако в 1994 г. в общем объеме его потребления доля сарановской руды составляла всего лишь 5% [46]. В то же время освоение Южно-Сарановского месторождения откладывается, 14% запасов этого месторождения могут быть отработаны открытым способом.

В связи с предполагаемой реконструкцией Серовского ферросплавного завода, направленной на увеличение доли высокоуглеродистого феррохрома, особое значение приобретает изыскание необходимых для этого финансовых ресурсов. Они могут быть получены при попутном извлечении содержащихся в хромовых рудах платиновых металлов.

Средний Крака вмещает проявления хромитовых руд, содержащих невысокие концентрации МПГ (до 357 мг/т) с преобладанием тугоплавких платиноидов (Савельев, 2000). В то же время хромиты рудопроявлений Бабай и Хамитовское содержат соответственно 5,4 и 3,2 г/т платиноидов (Спачев и др., 1996) при ведущей роли платины.

Породы массива Средний Крака имеют в среднем пониженные содержания платины: от 0,3 мг/т в пироксенитах до 0,89 мг/т в дунитах. При серпентинизации ультраосновных пород и в габброидах содержание платины незначительно увеличивается. Содержания тугоплавких платиноидов постепенно растут по мере увеличения основности пород с некоторым понижением концентрации в дунитах: габбро содержат Os – 0,18 мг/т; Ir – 0,23; Ru – 0,82; лерцолиты – соответственно 0,23, 0,29 и 2,65 мг/т (Савельев, 2000). При этом содержания рутения почти на порядок выше, чем осмия и ридидия.

По данным Д.Е.Савельева, кроме хромит-платиноидного оруденения в габбро, габбро-диоритах, верлитах и клинопироксенитах массива Средний Крака, установлена и сульфидная благороднометалловая минерализация.

Рай-Изское месторождение (рис. 31) платиносодержащих хромитовых руд приурочено к одноименному дунит-гарцбургитовому массиву Полярного Урала и сложено [19, 87] гарцбургитами, гарцбургитами с жилами дунитов, гарцбургитами со слоями и жилами дунитов и существенно дунитами. В комплексе вторичных гарцбургитов прослеживается серия метаморфических стадий остывания. Они выражаются в оливин-пироксеновой → оливин-куммингтонитовой → оливин-тальковой → оливин-антигоритовой → серпентинитовой породных ассоциациях. Среди хромитов преобладают субферриаломохромит, субферрихромит и феррихромит.

Максимальные содержания платины установлены [87] в пегматондных дунитах (до 0,1 г/т), клинопироксенитах (0,05-0,07 г/т) и хромитовых рудах (до 0,3 г/т). Последним присущи минимальные (0,001-0,01 г/т) количества палладия. В хромшпинелидах его содержание составляет около 0,001 г/т. В густовкрапленных и сплошных хромитовых рудах содержится, г/т: Rh – 0,03-0,05; Ir – до 0,075; Ru – до 0,2; Os – до 0,06; Au – до 0,07; в породах: Rh – 0,001-0,01; Ir – до 0,05; Os – 0,02-0,04; Ru – 0,03-0,2; Au – 0,001-0,01. Ю.А.Волченко [87] считает, что на основе анализа всех продуктов обогащения крупнообъемных проб, ожидаемые содержания в исходной руде составляют, г/т: Pt – 0,01-0,02; Pd – 0,003-0,006; Rh – 0,005-0,007; Ir – 0,05-0,12; Os – 0,09-0,14; Ru – 0,03-0,08; Au – 0,01-0,02. Это представляет типичный платиноидный ряд: Os > Ir > Ru > Pt > Pd = Rh. Л.И.Гурской [63] в сплошных и вкрапленных хромитовых рудах массива Рай-Из установлено содержание МПГ в количестве 0,5-5 г/т при отношении Pt/Ir, равном 1-6.

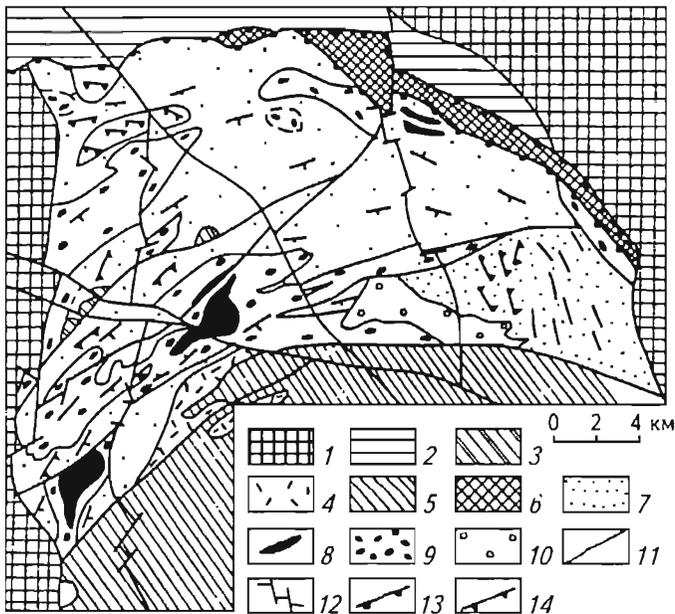


Рис. 31. Схематическая геологическая карта массива Рай-Из (по И.С. Чащукину и др., 1986, с незначительными изменениями)

Распространение "вторичных" комплексов не показано

1 – докембрийские образования; 2 – палеозойские многоосинклинальные и субплатформенные образования западного склона Урала; 3 – гранатовые амфиболиты, предположительно относимые к породам подошвы массива (палеозой ?); 4 – клинопироксениты, верлиты, дуниты и амфиболиты дунит-верлит-клинопироксенит-габброидного комплекса; 5 – габброиды и продукты метаморфизма среднепалеозойских эвгеосинклинальных комплексов; 6 – зона меланжа; 7 – гарцбургиты гарцбургитовой ассоциации; 8, 9 – дуниты и гарцбургиты дунит-гарцбургитовой ассоциации; 8 – дуниты, 9 – нерасчлененные дуниты и гарцбургиты; 10 – переходная область от гарцбургитовой ассоциации к дунит-гарцбургитовой; 11 – геологические границы; 12 – тектонические разрывы; 13 – надвиги; 14 – полосчатость и планпараллельность

Важнейшие концентраторы платиновых металлов в рудах – сульфиды, арсениды, сульфоарсениды. Наиболее полный перечень платиновых минералов в месторождении Рай-Из приведен Л.И. Гурской [63]. Для хромитовых руд ею описаны идиоморфные зерна размером 2-20 мкм изоферроплатины (с придишем), осмирида, придосмина и рутениридосмина в хромшпинелидах, а для сульфидизированных зон дробления и серпентинизации – самостоятельные выделения в сульфидах в срис ганин с серпентином зерен (размер 10-30 мкм и более) самородных платины, золота и серебра, куперита, эрлихманита (OsS_2), ирарсита ($IrAsS$), лаурита (RuS_2) и сульфидов изоморфного ряда ($Ir-Pt-Ni-Fe$)S.

В [94] приводится новый разработанный вариант технологии извлечения МПГ из хромитовых руд (39,65% Cr_2O_3) Рай-Изского массива, содержащих, г/т: Pt – 0,067-0,58; Pd – 0,21-1,0; Rh – 0,017-0,055; Ru – 0,1-0,16; Ir – 0,049-0,095; Os – 0,05-0,1; Au – 0,02-0,09. Концентраты характеризуются высоким содержанием Cr_2O_3 (до 58%) при $Cr_2O_3/Fe_2O_3 = 3,4-5,2$ и сравнительно неплохим выходом. Авто-

ры [94] делают в результате чрезвычайно важные выводы для извлечения платиноидов из хромовых руд в альпинотипных гипербазитах:

низкая концентрация МПГ в рудах определяет возможную рентабельность только их попутного извлечения:

платиноиды вполне могут быть доизвлечены из шламов при подготовке к плавке сплошных руд;

из значительного объема хвостов и шламов, возникающих при обогащении менее богатых руд, может быть извлечено более 50% МПГ;

возникновение большого объема платиносодержащих продуктов обуславливает важность и необходимость создания методов их утилизации с попутным извлечением МПГ.

Общие ресурсы хромитовых руд полярно-уральских дунит-гарцбургитовых массивов, вероятно, превышают миллиард тонн. Так, в соответствии с приводимыми Л.П. Тигуновым [93] и Л.И. Гурской [63] материалами, запасы руд высокого качества месторождений Рай-Из, Сыум-Кеу и Войкаро-Сыньинского составляют 657 млн т (в том числе 415 млн т руды металлургического типа, содержащие более 30% Cr_2O_3 при отношении Cr_2O_3/FeO , равном 2,6-4,3). АООТ "Уралрудпроект" разработал в 1994 г. ТЭО, согласно которому освоению этих месторождений благоприятствуют не только значительные запасы, но и возможность открытой разработки, нахождение вблизи железной дороги, Северного морского пути, Печорского угольного бассейна, Ухтинского нефтегазоносного района. Л.И. Гурская отмечает также: "Полярный Урал богат не только хромитами, но и другими полезными ископаемыми, особенно фосфором, баритом, марганцем, серно-колчеданскими и полиметаллическими рудами (месторождения Саурей, Орангское, Софроновское и др.). В последние годы здесь выявлены богатые проявления молибдена и редких земель" [63, с. 84].

Принимая среднее содержание МПГ в рудах альпинотипных гипербазитов за 0,3 г/т, получим ориентировочные ресурсы (P_3) платиновых металлов более чем 300 т. С учетом того, что значительная часть МПГ образует самостоятельные минералы, и уже существует вариант технологии их попутного извлечения, последнее вполне вероятно.

В соответствии с материалами [93], на первом этапе из месторождения Рай-Из можно добывать ежегодно около 100 тыс. т хромитовых руд металлургических сортов, не требующих сложных схем обогащения, и при этом попутно получать 30-100 кг платиновых металлов, стоимость которых (около 1 млн дол.) окупит значительную часть расходов на ввод месторождения. С выходом горно-добывающего комплекса на полную мощность (~400 тыс. т в год) обеспеченность его запасами превысит 100 лет. Для сравнения подчеркнем, что на Государственном балансе России (на 01.01.96 г.) числилось всего четыре месторождения с балансовыми запасами ~6,4 млн т, добыча в 1994 г. составила 151 тыс. т, а импорт превысил 900 тыс. т, издержки составили ~400 млн дол. в год [45, 93]. Увеличение добычи за счет двух других месторождений Полярного Урала обеспечит возможность дол-

современного вывоза Северным морским путем товарных хромитовых руд и феррохрома, а также приведет к росту попутного извлечения МПГ.

Нижнетагильский массив (массив *г. Соловьёва*) представляет собой сложный разделенный комплекс площадью около 44 км², вытянутый вдоль оси Платиноносного пояса. В его стратии принимают участие в основном дуниты и клинопироксениты, а также верлиты и габбро (тылаиты). Большинство исследователей принимается следующая последовательность формирования массива: хромитовые дуниты → оливниновые клинопироксениты → магнетитовые клинопироксениты → габбро.

Обогащенные хромитом зоны – серия шлирово-струйчатых тел, конформных очертанию дунитового ядра. Крутопадающий характер хромитовых тел был выявлен еще А.Н.Заварицким (1928). Отмечаются рудные и аксессуарные хромиты. Первые образуют шлиры, гнезда, жилы, прожилки, распределенные крайне неравномерно. А.Г.Бетехтиным (1935) описывались пятнистые, линзовидные, петельчатые и флюктуидальные хромитовые руды. В рудных агрегациях установлены также пентландит, миллерит, кубанит, самородные медь, уваровит, хромдиоксид, хромовый хлорит, платиновые минералы. Среди последних обнаружены изоферроплатина, тетраферроплатина, туламинит, осмий, иридий, лаурит, осмирид, платинистый осмирид, ирарсит, эрлихманит, холлингвортит, кашинит, инаглинит, родплумсит и др. По [5] в районе *г. Соловьёва* было оконтурено более тысячи шлиров и жил протяженностью до 50-70 м при мощности от первых сантиметров до 10 м. Еще С.А.Кашиним (Кашин и др., 1956) была установлена приуроченность максимальных количеств платины к сегрегациям “седого” хромита. В то же время в оливниновых хромитах содержание платины не превышает 0,5-0,8 г/т. Среднешлировый дунит с массивными хромитами слагает трубообразное тело на западе *г. Соловьёва*; именно там в районе Госшахты велась промышленная добыча платины.

По Н.С.Рудашевскому и В.В.Жданову (1982), во всех типах хромитовых руд среди хромшпинелидов преобладают магнохромит и хромит, подчиненное значение имеют шпинель и магнетит; содержание хрома в хромшпинелидах составляет 47-56%, глинозема – 7-9, титана – 0,36-0,54, суммарного железа – до 30%.

В пределах массива были выделены нижнетагильский (платиновые минералы содержатся в жилах и штоках хромшпинелидов) и качканарский (платиновые минералы включены в клинопироксениты) типы.

Закономерности распределения МПГ в породах и рудах Нижнетагильского массива в последнее время установлены В.Г.Лазаренковым с соавторами [33]. Ими было показано, что в дунитах содержится, г/т: Pt – 0,009-0,2 и более; Pd – до 0,046; Ir – до 0,007; Rh – до 0,006; Ru – 0,0008; Os – 0,003 (Pt > Pd > Ir > Rh > Os > Ru); в верлитах – 0,04-0,05 г/т платины, а в магнетитовых клинопироксенитах – 0,02-0,4 г/т палладия и 0,01-0,02 г/т платины. Содержание платины в безрудных оливниновых клинопироксенитах не превышает 0,04-0,05 г/т при отношении Pt/Pd, равном 5-10 и более [5].

Ярким примером скоплений платиноидов в дунитах является известное Авроринское месторождение [7, 19, 31]. Ведущий минерал обогащен палладием и при-

дисм. О.К.Ивановым [24] это месторождение связывается с ультрамафическими пегматитами. Он отмечает, что в верховьях Александровского лога, в пределах крупного обнажения названных пород найдено 2600 самородков платины массой до 86 г.

Основное количество платиновых металлов сосредоточено в хромититах. Однако исключительно незакономерное размещение хромититов в массивах и такое же, если не более неравномерное, распределение в них МПГ создает весьма и весьма значительные трудности для обработки платиноидных месторождений. Из 215 кг платины, добытой из хромититов массива, 106,64 кг были сосредоточены в двух, 86,18 кг – в 13, 18,2 кг – в 53, 2,92 кг – в 77 и 0,76 кг – в 13 гнездах, т. е. среднее содержание платины колебалось от 3 до 500-570 г/т. Не случайно компания Eurasia Mining в партнерстве с российскими фирмами готовит к разведке глубокие части месторождения гор Господская и Соловьева [46].

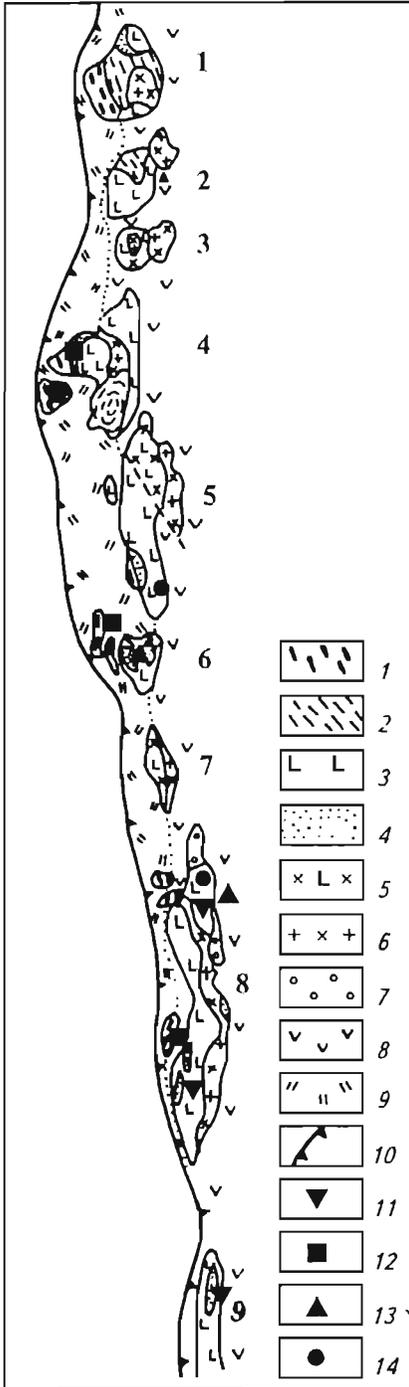
Потенциальные ресурсы платиновых металлов в дунитах Платиноносного пояса Урала О.К.Ивановым [24] (до глубины 500 м) оцениваются в несколько тысяч тонн, включая 2200 т со средним содержанием 0,16-0,45 г/т МПГ. Такого же порядка цифры приводятся и В.Г.Лазаренковым [62].

Качканарское месторождение (рис. 32) связано с одноименным массивом “разделенного” типа [19], расположенным в пределах Платиноносного пояса и состоящим из двух дунитовых штоков и габбро-пироксенитового массива площадью 110 км²; в них выделяются два сближенных интрузивных тела – Качканарское и Гусевогорское (с одноименными месторождениями качканарского типа платиносодержащей титаномагнетитовой формации). Интрузивы Качканарского рудного узла, как и прочие массивы Платиноносного пояса Урала, построены достаточно сложно и характеризуются крайней неоднородностью. Так, его западная часть образована породами дунит-верлит-тыллантовой серии, а северная и восточная – габбро-норитами, ферроклинопироксенитами и оливинсодержащими породами (ферроклинопироксенит-габбровая или габбро-норитовая серия; табл. 44).

Качканарский интрузив (площадь 5,5×3,2 км) образован в основном пироксенитами (60-70%), габбро (30-35%) с незначительным развитием оливинитов, верлитов, оливиновых пироксенитов [21]. Среди пироксенитов отмечаются рудные магнетитовые и безрудные оливиновые, а внутри габброндов – нормальные, оливиновые и биотитовые габбро. В разрезе рудного поля выделяются: титаномагнетитовое или безрудное габбро; оруденелые плагиоклазовые или бесплагиоклазовые горнблендиты; магнетитовые клинопироксениты, верлиты и оливиниты. В Качканарском месторождении преобладают магнетитовые пироксениты, рудные оливиниты и верлиты с содержанием железа до 35%. Для Гусевогорского месторождения установлено, что рудные залежи и вмещающие их породы расположены в целом закономерно относительно габбровой интрузии.

Среди рудных минералов Качканарского месторождения преобладает магнетит (~90%), а также ильменит, сульфиды (пирит, халькопирит, реже пирротин) и платиновые минералы. К.Д.Тимоховым (1963), Ю.А.Волченко (1970), Л.В.Разным и К.В.Юркиной (1971), В.Д.Бегизовым и др. (1975), В.Г.Фоминных и др. (1974, 1987) в рудах выявлены висоцит, мертинит, сперрилит, агенит, стибнопаллади-

Рис. 32. Схема размещения титаномагнетитового оруденения в массивах Платиноносного пояса на Среднем Урале



1-2 – дунит-верлит-тылаитовая серия: 1 – дуниты, оливниновые клинопироксениты, 2 – тылаиты, троктолиты; 3-4 – ферроклинопироксенит-габбровая серия: 3 – габбро-нориты, 4 – ферроклинопироксениты; 5 – габбро, габбро-диориты, диориты; 6 – плагнограниты, гранодиориты, граниты; 7 – граносиениты; 8 – базальты, андезит-базальты; 9 – амфиболиты; 10 – Главный Уральский шов-надви́г; 11-14 – оруденения: 11 – титаномагнетитовое, 12 – хром-титаномагнетитовое, 13 – титаномагнетитовое малотитанистое, 14 – медно-титаномагнетитовое. Массивы (цифры на схеме): 1 – Денежкин Камень, 2 – Кумба, 3 – Княспинский, 4 – Кытлым, 5 – Павдинский, 6 – Качканарский, 7 – Арбатский, 8 – Нижнетагильский, 9 – Первоуральский

нит, котульскит, медистый палладий, палладистая платина, поликсен, ферроплатина, платинистый иридий, придосмин (сысергекит), осмирид (невьянскит), осмий, изоферроплатина, палладистая ртуть, палладистое золото, потарит, минералы состава (Pd,Hg)Tc, PdTc_{1+x}, лавурит, куперит, эрлихманит. Наиболее распространены минералы палладия. Размер выделений высокоцита достигает 100-200 мкм.

Платиновые металлы в Качканарском и Гусевогорском месторождениях могут иметь значение только как попутные компоненты при разработке соответствующих технологий извлечения. Крупные запасы (более 6 млрд. т железной руды) даже при среднем содержании МПГ 0,07 г/т могут обусловить ресурсы в несколько сот тонн плагноидов. Таким образом, эти объекты являются крупными месторождениями. Создание соответствующей технологии

Эволюция составов (в %) пород и руд по разрезам дунит-клинопироксенитовой и ферроклинопироксенит-габбровой (габбро-норитовой) серий Платиноносного пояса Урала [13]

Тип пород, руд	Количество анализов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Ni	Co
<i>Дунит-тылаитовая серия</i>												
Дуниты	4	38,80	0,08	0,87	3,01	6,22	46,52	0,13	0,48	< 0,01	0,15	0,010
Дуниты железистые (мстадуниты)	6	38,10	0,07	1,05	4,32	9,39	41,61	1,15	0,31	0,012	0,13	0,015
Всрлиты	3	43,40	0,19	2,39	3,71	10,31	29,07	10,38	0,35	0,013	0,06	0,009
Оливиновые клинопироксениты	11	46,18	0,31	3,08	3,60	6,15	22,14	17,10	0,36	0,02	0,03	0,005
Тылаиты	3	45,61	0,53	6,92	4,84	7,53	17,33	15,54	0,16	0,03	0,03	0,009
Хромистые и хром-титаномagnetитовые в оливиновых клинопироксенитах (косъвиты)		41,00	0,83	5,20	11,35	10,40	14,18	17,40	0,58	0,06	0,07	0,010
<i>Ферроклинопироксенит-габбровая серия</i>												
Оливиновые магнетитовые клинопироксениты	6	34,00	13,50	6,44	17,68	10,16	16,90	13,64	0,05	0,17	0,03	0,020
Магнетитовые оливиниты и всрлиты	16	32,90	0,90	2,80	14,52	13,20	2,62	5,83	0,11	0,11	0,03	0,010
Магнетитовые клинопироксениты	19	38,00	12,00	49,0	13,50	10,10	13,50	16,30	0,05	0,13	0,01	0,010
Магнетитовые клинопироксениты амфиболизированные и фельдшпатизированные	12	37,10	1,50	6,80	15,30	9,70	11,50	16,60	0,03	0,17	0,02	0,010
Горнблсидиты	6	39,20	1,40	11,10	8,80	8,50	13,60	13,00	0,04	0,13	0,02	0,010
Габбро двупироксенное, амфибол-клинопироксенное и амфиболовое	9	41,35	1,22	15,16	6,85	7,62	7,94	14,74	0,07	0,10	0,02	0,020

попутного извлечения платиновых металлов при обработке железорудных месторождений представляется нам абсолютно реальной. Другие объекты, которые могут быть отнесены к рассматриваемому типу, – Кытлымское и Первоуральское проявления – промышленного интереса в настоящее время не представляют. В то же время высокие содержания платины (до 27,04 г/т) и палладия (до 33,9 г/т) в сплошных магнетитовых рудах Кытлымского проявления могут привлечь внимание старателей.

Волковское месторождение связано с Волковской габброидной интрузией северо-восточной части Тагильского массива [5, 6, 13, 19 и др.]. Она образована оливковыми, оливчинсодержащими (~20% объема массива) и безоливковыми (~70%) габбро, габбро-диоритами, габбро-норитами. В центральной части вскрыты биотитсодержащие, безоливковые и оливковые габбро-диориты, а в красных зонах кварцевые диориты и диориты [19]. При пересечении диоритами габбро возникают пироксен-плаггиоклазовые роговики. Весьма оригинальными образованиями являются автометасоматические гигантозернистые “леопардовые” габбро (леопардиты).

На Лаврово-Николаевском, Волковском, Усольском и ряде других участках установлены прослеженные на глубину до 300 м рудные тела. Они образованы титаномагнетитом, ильменитом, борнитом, халькопиритом, ковеллином, платиновыми минералами в плаггиоклаз-пироксеновой матрице. Зона окисления представлена малахитом, лазуритом, хризоколлой. С титаномагнетитом нередко ассоциирует апатит, и на Баронском участке установлены титаномагнетит-apatитовые оливиниты [5, 6]. Выделяются титаномагнетитовые, медно-apatит-титаномагнетитовые и медно-титаномагнетитовые типы руд, бедно-, богатокрапленные, шпировидные и жильные. Содержание V_2O_5 в рудах достигает 0,15-0,3%, а в титаномагнетите – 1,0-1,4%. Сульфиды приурочены к интерстициям между зернами силикатов, реже – магнетита и апатита. Последний иногда образует сплошные зоны и полосы, обычно его содержание составляет 2-8%, в нем содержится до 1,57% хлора [13].

Выявленные Ю.А. Волченко, В.А. Коротцевым и К.К. Золосвым [5, 6] на Баронском участке заключенные в пироксенитах тектонизированные апатитовые оливиниты мощностью 0,5-2,0 м – мелкозернистые породы, образованные серпентинизированным оливином (70-75%), фтор-apatитом (20-25%) с подчиненными титаномагнетитом, клинопироксеном, амфиболом, пиритом, халькопиритом, борнитом. Оливиниты заключены в пироксенитах. Среднее содержание МПГ в рудах составляет 0,13 г/т, а в ряде сортов – 1,5 г/т, а на Баронском участке апатитовые оливиниты концентрируют 0,35 г/т платины, 14,9 г/т палладия и 17,1 г/т золота. Максимальные содержания МПГ приурочены к зонам антигоризации, хлоритизации и ослюднения рассматриваемых пород.

Волковское месторождение, содержащее значительные запасы медных руд, может стать производителем палладия. Крайне важно при этом, что Уралмеханобром разработана технология, позволяющая переводить в медный концентрат палладий и извлекать последний из анодных шламов медно-электролитического завода [5].

Среди платиновых минералов установлены палладийсодержащие борнит, халькопирит, золото, медно-кобальтовый теллурид, гессит, а также меренскит, са-

мородный палладий, стибиопалладинит, котульскит, кейтконит [6], ассоциирующие с карролитом (CuCo_2S_4). Размеры зерен платиновых минералов составляют 5-200 мкм. Руды Баронского участка готовятся к отработке.

Уфалейское месторождение платиносодержащих силикатных никелевых руд сформировалось по ультрамафитам Уфалейского офиолитового массива и образовано серпентинитами, мраморами, углисто-глинистыми сланцами нижнего силура и различным элювисом по серпентинитам. По данным Н.И.Воронцовой (1999), месторождение существенно контрастирует с зонально-горизонтальными площадными корами выветривания. Рудные тела залегают в карстовых депрессиях, приуроченных к контакту мраморов и серпентинитов. Метасоматическая колонка месторождения представляется в следующем виде: ультрамафиты → хризотилитовые серпентиниты → пекораит-хризотил-кварцевые метасоматиты. Это дало основание Н.И.Воронцовой (1999) наметить следующие стадии минералообразования: дорудную (антигоризонтация ультрамафитов) → рудную: а) хризотилизация (\pm пекораит или гарниерит) → б) оталькование (\pm никелевый тальк или “керолит”) → в) окварцевание. Ведущими процессами, участвующими в образовании серпентинитовых руд месторождения, являлись:

хризотилизация и оталькование (никелево-железо-магниево-кремниевый метасоматоз);

карстообразование с обрушением боковых пород (образование карстовых брекчий хризотилитовых и тальк-хризотилитовых серпентинитов и мраморов);

ожелезнение, нитронизация, окремнение, ферригаллуазитизация, карбонизация и омарганцевание.

Никелевые руды Уфалейского месторождения содержат 0,916 г/т палладия, 0,181 г/т платины, менее 0,02 г/т родия и 1,37 г/т золота; серпентинитовые метасоматиты (основная масса товарной руды) – около 0,5 г/т палладия при низких количествах других МПГ; окремненные железные охры – 2 г/т палладия и 0,44 г/т платины.

Н.И.Воронцовой (1999) в рудах выявлены самородная платина (размер зерен до 120 мкм), платино-палладиевая фаза с примесью меди (63,01% Pt, 33,7% Pd и 0,17% Cu; 50 мкм) и медистый палладий (98,635% Pd и 1,168% Cu; 50 мкм), а также самородная медь, интерметаллиды железа, никеля и хрома и самородное золото пробностью ~948 в зернах размером до 0,17 мм (преобладает 20-40 мкм); количество серебра в самородном золоте составляет 2,94-9,4%, обнаружена также примесь меди, никеля и кобальта.

Работающий на сырье силикатных никелевых месторождений платиноносных кор выветривания (Серовское, Уфалейское, Сахарининское, Елизаветинское и др.) Режский завод в 70-80-е годы выпускал ежегодно около 11 тыс. т ферроникеля из лома нержавеющей сталей и 4 тыс. т никелевого штейна [45]. В настоящее время на силикатных никелевых месторождениях Южного Урала работают концерн “Тяжцветмет”, состоящий из ПО “Уфалейникель” и ГК “Южуралникель” [46]. Рудной базой первого являются Уфалейское (в значительной мере отработанные) и Серовское месторождения. Запасов второго объема хватит на 40-50 лет, но он

находится на расстоянии 500 км от ПО “Уфалейникель”. Начиная с 1984 г., ГКМ “Южуралникель” обрабатывает Сахарихинское и Буруктаьское месторождения.

Запасы никеля в корах выветривания полного латеритного профиля на массивах дунитов, перидотитов или серпентинитов составляют в мире 40 млн т, из них производится ежегодно около 400 тыс. т никеля и значительное количество кобальта. Даже при среднем содержании МПГ, равном 0,5 г/т, запасы платиноидов в никелевых корах могут составить 20 т, а ежегодная добыча около 200 кг. При разработке соответствующей технологии стоимость получаемых попутно платиновых металлов может в значительной мере окупить производственные расходы.

Для попутной добычи платиноидов могут быть использованы руды месторождений медно-цинковой колчеданной формации – *Гайского*, *Сибайского* и др., расположенных среди дифференцированных раннегеосинклинальных вулканогенных толщ натривой риолит-базальтовой формации. Содержания в рудах составляют, г/т: Pt – 0,221-0,442; Pd – 0,065-0,213; Rh – 0,005-0,007; Os – 0,005-0,013; Ru – 0,012-0,019; Au – 1,46-2,14. Крупные запасы медно-цинковых руд могут обеспечить средние ресурсы платиноидов, тем более, что они присутствуют во всех концентратах (табл. 45).

Рудопроявление Чудное приурочено к осевой части южного замыкания Малдынской антиклинали [90] и расположено на восточном склоне хребта Малдынырд в самых верховьях руч. Алякес-Вож (левый приток р. Балбан-Ю, бассейн р. Кожим). Именно в руч. Алякес-Вож известны россыпи палладисто-ртутистого золота, описанного А.А.Малюгиным и В.А.Вилисовым (1982). Россыпное золото содержит до 8,1% Cu, до 5,3% Hg и до 2,8% Pd.

В рудопроявлении выявлено четыре зоны расщелачивания и брекчирования, залегающих в риолитах саблгорской свиты. Риолиты – порфиоровые светло-зеленые, темно-серые и лиловые. Вкрапленники, представленные калиевым полевым

Таблица 45

Содержание МПГ и Au (в г/т) в медно-цинковых рудах Южного Урала и продуктах их переработки [5]

Руды и концентраты	Pt	Pd	Rh	Ir	Os	Ru	Au
Медный концентрат	0,365	0,135	0,015	< 0,01	0,008	0,051	7,80
Цинковый концентрат	0,268	0,045	< 0,005	< 0,01	0,010	0,035	1,79
Пиритный концентрат	0,256	0,038	0,007	< 0,01	0,005	0,017	1,17
Отвальные хвосты	0,205	0,046	< 0,005	< 0,01	0,014	0,018	0,53
Руды текущей добычи	0,263	0,065	0,005	< 0,01	0,013	0,017	1,98
Руда медная сплошная и вкрапленная	0,442	0,213	0,005	< 0,01	0,010	0,019	2,14
Руда медно-цинковая сплошная и вкрапленная	0,221	0,065	0,007	< 0,01	0,005	0,012	1,46

шпатом (частично замещен альбитом), составляют от 3-5 до 15% объема породы и имеют размеры 1-3 мм.

Рудоносные зоны северо-восточного простирания круто (60-70°) падают в северо-западном направлении. Мощность зон составляет 4-15 м при длине по простиранию от 140 до 360 м. Эти зоны представляют собой сеть золотоносных фукситовых прожилков и полос вдоль плоскостей расщепления в риолитах. Также встречаются участки брекчированных риолитов с фукситовым цементом.

Руды – это измененные риолиты, пронизанные кварцевыми, кварц-альбитовыми и фукситовыми прожилками мощностью до 5-6 см. Самородное золото и другие рудные минералы встречаются преимущественно в фукситовых прожилках. Содержание золота установлено до 84 г/т. Количество палладия настолько низкое (0,015 г/т), что рудопроявление считается *палладиево*-золотым чисто номинально.

Платиновые минералы представлены мертинтом, атенситом и незазванным арсенидом палладия. Они образуют мелкие (от 2-5 до 15 мкм) включения преимущественно в золоте или тонкие каемки вокруг него. Повышенными содержаниями меди (2,5-10,5%), палладия (0,7-1,1%) и пониженными концентрациями золота (82,0-84,5%), серебра (4,9-10,4%) и ртути (0,1-1,0%) отмечаются пластинки распада в золоте I типа [53].

Таким образом, рудопроявление Чудное с золото-палладиевой минерализацией имеет одну отличительную черту – оно локализовано в кислых эффузивах, что позволяет говорить, по мнению М.Б.Тарбасва с соавторами [53], о новом типе оруденения – гидротермальном золото-палладиевом (с редкими землями, а также с медью, серебром и ртутью). По мнению авторов – это аналог месторождения Коронейшен-Хилл [19].

Ширина аллювиальных четвертичных россыпей колеблется от 120 до 750 м (в низовьях мощность до 50 м). Н.К.Высоцкий [7] приводит следующий разрез россыпей (сверху вниз):

растительный слой (мощностью около 0,3-1,4 м) или торф (от 0,2 до 2,8 м);

бурые суглинки (на склонах вторых террас – лессовинные, пористые с вертикальной отдельностью, постепенно переходящие в песчанистые глины бурого, серовато-, желтовато- или красновато-бурого цвета);

более пластичные глины (0,4-1,5 м) синевато- или зеленовато-серого цвета (торф подстилается непосредственно синевато-серой глиной, бурые суглинки и глины отсутствуют); общая мощность глин в пределах первой террасы составляет от 0,3 до 4 м (большой частью около 1-2 м) до 40 м в отлогих склонах речных долин;

глинистые пески (0,1-1 м) тонкослоистые, иногда диагонально-слоистые, бурого, буровато-серого или зеленовато-серого цвета, грубозернистые, с прослоями мелкого галечника, реже синей глины;

слоистые галечники (0,5-1,3 м, иногда до 2,5 м) с примесью грубозернистого песка серого цвета;

платиноносные пески (от 0,1 до 3 м по разным рекам). Ниже располагается плотик россыпи.

Уникальной, самой протяженной (~160 км) россыпью в мире является *Исовская россыпь* в Платиноносном поясе Урала, добыча из которой продолжается и в настоящее время. Самое лучшее описание россыпей р.Исы дано Н.К.Высоцким [7]. Долина р.Исы довольно однообразна – в основном она плоская и широкая. Направление долины в общем широтное с несколькими (3-4) уклонами к субмеридиональному.

Платиноносность системы р.Исы обусловлена, главным образом, размытием двух больших выходов дунитов Вересовоборского и Светлоборского массивов. Речные наносы ниже пересечения массива Светлого бора уже настолько обогащены платиной, что добыча ее проводилась и здесь на всем протяжении Исы до впадения в Туру и дальше. Также на пути Исы в виде естественного препятствия находится и Качканарский массив. Россыпи, приуроченные к ручьям, бегущим начало в пределах дунитовых массивов, носят по большей части элювиальный характер. По всем остальным протокам и по самой Исе развиты в основном аллювиальные россыпи.

Таблица 46

Динамика добычи платины на Исовских приисках [50]

Годы	Добыча платины, кг
1824	32
1825	87
1831	1750
1843	3500
1846-1851	1200
1824-1906	75500
1920-1921	96,4*
1924-1933	Более 12000
1933-1941	Более 20000**
1942	1344
1943	1698
1944	1886
1945	1945
1946-1949	11000
1950-1960	17000
1961-1970	13000
1971-1980	10000
1981-1990	6000

*Дополнительно 7,4 кг золота.

**Всего благородных металлов.

По разным данным из россыпей Уральского Платиноносного пояса с 1824 по 1990 г. было добыто 250-330 т платины. В табл. 46 отражена добыча платины на Урале на примере Исовских приисков [50]. В настоящее время на территории Исовского прииска ведется добыча платины из техногенных россыпей гидравлическим способом. Приблизительный подсчет показывает, что из уникальной россыпной системы рек Ис–Тура за всю 175-летнюю историю российской платинодобывающей промышленности было добыто около 180-200 т платины. Второй такой россыпи в мире пока не обнаружено.

Для возрождения Уральской базы платинодобычи необходимо выполнить:

пероценку расслоенных дунит-клинопироксенит-габбровых массивов на хромититы с МПГ и попутным золотом;

промышленную оценку платиноносности крупных хромитопосных ультрамафитовых массивов Рай-Изского, Войкаро-Сыньинского, Сарановского и др.;

подсчет запасов МПГ техногенных россыпей и россыпных лежалых отвалов прошлых лет переработки уральских россыпных объектов с пылевидным металлом; поиски и оценку платиновых россыпей в Пермской области и на Полярном Урале;

детальные минералого-геохимические исследования месторождений платиносодержащих калийных солей с последующей оценкой их промышленной значимости;

оценку перспектив промышленной платиноносности Воронцовского золоторудного и других месторождений.

Основные перспективы платиноносности Уральского региона авторы связывают все же с массивами нижнетагильского и сарановского типов, а также с открытием новых россыпей или перемывом старых.

СИБИРЬ И ДАЛЬНИЙ ВОСТОК

В структурном отношении территория совпадает с Северо-Азиатским кратоном и обрамляющими его орогенными поясами. К главным структурно-вещественным и динамическим особенностям литосферы этого крупнейшего домена нашей планеты А.И.Киселев и А.М.Попов [37] относят:

завершение в позднем архее–раннем протерозое стабилизации Сибирской платформы (системы кратонов и интракратонных мобильных поясов);

функционирование в более позднее время единого кратона и образование вокруг него Центрально-Азиатского подвижного пояса аккреционно-коллизийной природы с молодой континентальной литосферой;

наличие, начиная с нижнего протерозоя, между упомянутыми структурами шовной зоны;

погружение корневых частей кратонов на 200 км и более в мантию предположительно гарцбургитового в отличие от лерцолитового состава под протерозойскими и фанерозойскими сооружениями;

главным механизмом стабилизации литосферы в архее является (скорее всего) флюидно-магматическое истощение примитивной горячей мантии;

сгуживание сиалических масс и периодическое переутолщение литосферы в период аккреционно-коллизийных событий с последующей термальной и механической релаксацией.

Модель тектонического строения Сибири наиболее четко отражена на составленных В.С.Сурковым и др. [37] картах структурно-формационных комплексов (СФК) раннего (докембрий и палеозой) и позднего (мезозой и кайнозой) неогена. На первой карте намечены СФК рифейских и палеозойских фрагментов доорогенных зон деструкции, ранне-, позднеорогенных прогибов и поднятий в зонах сжатия и активизации, а также структуры платформенного чехла. На второй карте отражены главные структурные элементы: “рифтогенные осадочные бассейны (За-

падно-Сибирский и Енисей-Хатангский); платобазальтовая депрессия (Тунгусская синеклиза); красной прогиб и синеклиза (Верхоянский и Вилюйская); внутриплатформенные депрессии юры в пределах Сибирской платформы и Алтас-Саянской области; байкальская рифтовая система кайнозоя” (с. 74). Авторы [37] считают, что главные черты современной структуры литосферы Сибири закладывались в раннем рифесе и раннем мезозое и были связаны с глобальными рифтогенными процессами, а также распадом гигантских континентов – Протопангеи и Палеопангеи.

Эволюцию состава верхней мантии рассматриваемой территории наиболее логично представили О.М.Глазунов и С.И.Прокопчук [37]. Они считают, что на ранних стадиях эволюции верхняя мантия отличалась весьма высокой обогащенностью Fe, Ca и Ti, намного большей, чем под позднее образованными блоками каледонид и герцинид (рис. 33). При этом авторы [37] предполагают, что максимальной степенью деплетированности характеризуется верхняя мантия складчатого обрамления кратона (Саяны, Таймыр, Чукотка, Сахалин и т.д.). О близости состава

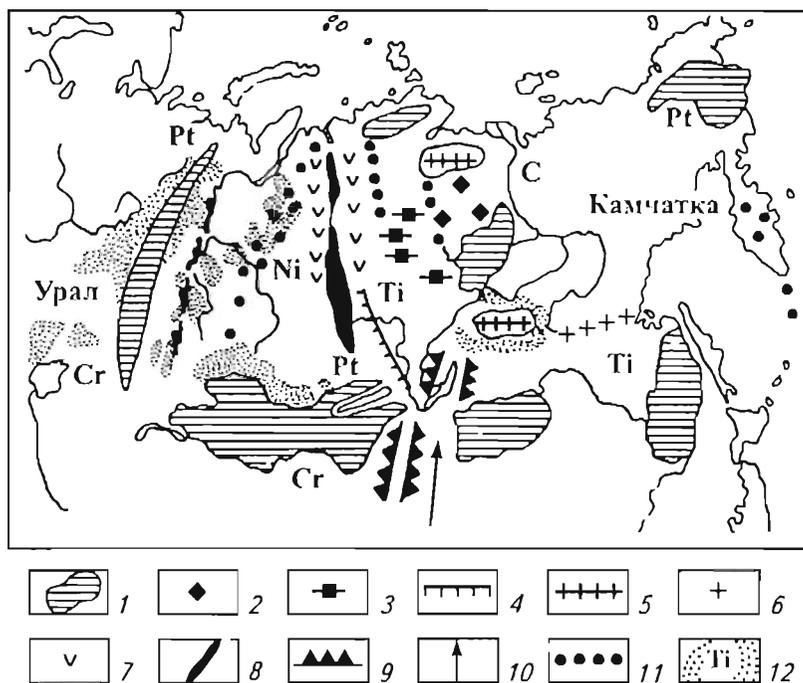


Рис. 33. Схематическая карта состава верхней мантии Сибири [37]

1 – сильно дифференцированная мантия ипсилев-перидотитового состава (рассчитана по офиолитам); 2-5 – умеренно дифференцированная мантия: 2 – гранат-перидотитовая, 3 – эклогитовая, 4 – пироксенитовая, 5 – лерцолитовая, гранат-лерцолитовая; 6 – автономные анортозиты лунной стадии; 7 – участки интенсивной сульфуризации мантии; 8 – зоны повышенной дегазации; 9 – Байкальский рифт; 10 – направление латерального фракционирования мантии; 11 – участки интенсивного подъема ксенолитов; 12 – аномальное обогащение мантии рудными элементами; С – поле кимберлитов

различных по возрасту офиолитов обрамления кратона свидетельствует их обогащение Cr, Pt, Ir, Os. Состав верхней мантии меняется от гранат-перидотитового и эклогитового в астеносферных диапирах Якутской алмазонасной провинции (Соболев, 1974) до гранат-лэрцолитового неистощенного южнее и севернее. С общим передвигающимся в меридиональном направлении фронтом дифференциации мантии совпадает направление зон повышенной дегазации и выноса ксенолитов на Сибирской платформе. Параллельно этим зонам выделяются Норильская и Саяно-Енисейская никель-платиноносные провинции с явной обогащенностью мантии Pd, Ni, Co и Cu. Авторы [37] предполагают, что накопление МПГ в мантии начинается при пироксенизации ультраосновных ингредиентов и заканчивается на эндогенной стадии на месте кристаллизации.

Авторами монографии намечены главные тенденции в развитии платиноидного рудогенеза Северо-Азиатского кратона и его обрамления [68], раскрывающие размещение и модели формирования платинометаллических месторождений в пределах гигантского Сибирско-Дальневосточного региона. Эти закономерности сводятся к следующему.

К крупным и уникальным месторождениям МПГ в регионе в настоящее время могут быть отнесены объекты формаций: сульфидной платиноидно-медно-никелевой (норильско-талнахский (сульфидный платино-палладиевый минералогический тип), малосульфидной платинометаллической (верхнеталнахский (малосульфидный платино-палладиевый минералогический тип), платиносодержащей полиметаллической углеродистой (сухоложский тип), платинометаллической россыпной (корякский и алданский типы) и техногенной (хвостогвалы месторождений Норильска–Талнаха). Они связаны с пикрит-габбро-долеритовой (трапповой), дунит-клинопироксенит-габбровой, ийолит-карбонатитовой, щелочно-ультрамафитовой, чернослапцевой формациями, образуя единые рудно-магматические и рудно-метасоматические системы, контролируемые деструктивными элементами (зоны спрединга, энсиалические и внутриконтинентальные и интракратонные рифты), вскрывающими наиболее глубокие флюидизированные очаги магмогенерации.

Под рудно-магматическими системами (РМС) нами понимаются связанные общностью эндогенных и геодинамических режимов природные парагенезисы магматических, метаморфических и рудных формаций, их метасоматических и геохимических ореолов. Платиноносная рудообразующая система – мантия и кора повышенной мощности, содержащие, как правило, горизонты специализированных на золото, МПГ и ряд других элементов углеродистых сланцев, нередко с базальтовым экраном, рассеченные зонами глубинных разломов – протяженными флюидопроводниками [44]. Развитие крупных и уникальных платиноносных РМС происходит в условиях флюидно-магматического расслоения и контрастного распределения H_2 , S, F, Cl, N_2 и др.

Рудно-метасоматические системы (РММС) золото-платиноидного чернослапцевого типа характеризуются четкой зональностью [19, 28, 44]: в нижней части колонны располагаются кварц-альбитовые, кварц-микроклиновые, биотитовые ме-

тасоматиты (или пропилиты) среди серпентинитов, порфириров, диабазов, андезитов, диоритов, углеродистых сланцев с вкрапленными и прожилково-вкрапленными сульфидными золото-платиноидными рудами; в средней части – среди углеродистых сланцев – серицит (фуксит)-кварц-пиритовые листовениты со штокверковыми кварц-сульфидными золото-платиноидными рудами, а сверху в сланцах – брейнерит-доломит-кальцитовые листовениты с кварц-сульфидными золото-палладий-платиновыми жилами и прожилками. Суммарная вертикальная протяженность локальных рудно-метасоматических колонн составляет 1,8-3,8 км и более. Содержания платиноидов и золота возрастают от неизменных углеродистых сланцев и интрузивных пород к рудоносным альбититам-брезитам-лиственитам и аргиллизитам: $K_{II}^{Au} > 20-1320$, $K_{II}^{As} > 107$, $K_{II}^{Pt,Os,Ir,Pd} > 410-12700$ (K_{II} – коэффициент накопления металла относительно неизменных углеродистых сланцев).

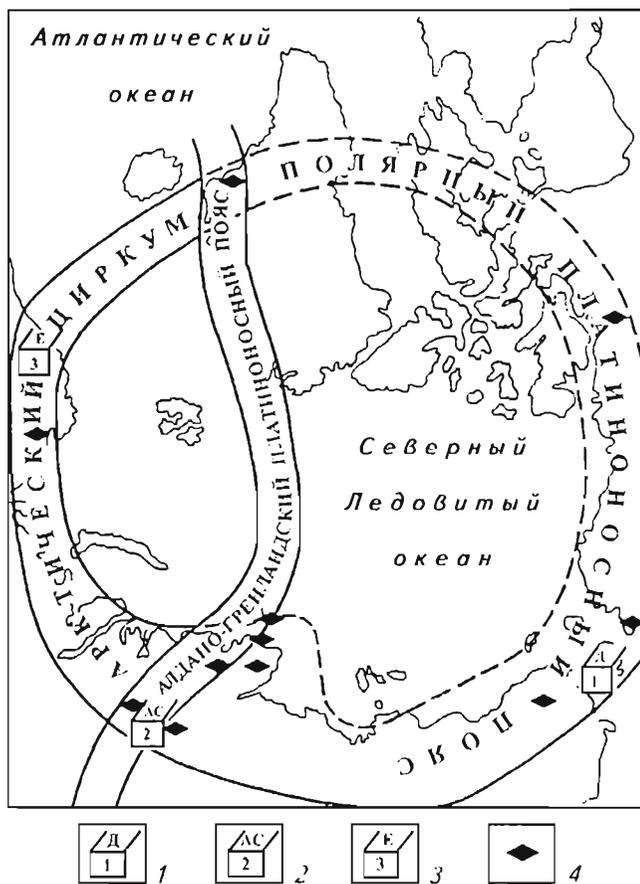
Установлена серия неоднократно активизированных, длительно существующих магмородукоконтролирующих деструктивных элементов с приуроченными к ним рудообразующими системами, в которых происходят коллизионно-субдукционные и обдукционные процессы, сопровождаемые флюидной ликвацией и массопереносом, внутрикамерным расслоением в самих массах, внутрирудным щелочным метасоматозом, многостадийным накоплением обогащенных органическим веществом вулканогенно-осадочных толщ и их гидротермально-метасоматическими преобразованиями. Пространственное совмещение таких систем определяет высокий платинометаллогенический потенциал крупных геоблоков Северо-Азиатского кратона и его обрамления – Алдано-Североземельского, Арктического, Амура-Алдайского, Среднеазиатско-Китайского, Дальневосточного поясов (рис. 34).

Перечисленные платинометаллогенические пояса окаймляют кратон, захватывая его периферию и территории обрамляющих орогенных поясов. Глобальные особенности рудных поясов – связь с глубинными трансрегиональными и планетарными разломами, переход с суши на шельф и в океан, аномальное строение земной коры, многостадийность геосинклинальных и активизационных циклов, тектономагматических и минерагенических процессов, осложненных или преобразованных рифтогенезом, раздвигом и субдукцией, приводят к полигенности, полихронности и полиформационности не только самих поясов, но и образующих геодинамико-металлогеническую решетку платиноносных провинций.

Платиноносные пояса и провинции при длительности геодинамического развития отличаются устойчиво сохраняющейся во времени специализацией на МПГ. Весьма характерным является наследование в рамках одного пояса (или провинции) молодыми структурно-формационными комплексами (СФК) платиноидной геохимико-металлогенической специализации более древних СФК: раннеархейские гранулитовые пояса (*анабарский и джугдзурский типы* платиноидных объектов) \Rightarrow позднеархейские зеленокаменные пояса (*кингапский тип*) \Rightarrow раннепротерозойские пояса расслоенных платиноносных массивов интрадугового (постдугового) этапа на активных и пассивных окраинах континентов, поясового с малым

Рис. 34. Схема размещения промышленно значимых провинций Арктического пояса

1-3 – платиноносные провинции: 1 – Чукотско-Львовская (Дальневосточный пояс), 2 – Таймыро-Норильская (Алдано-Североземельский пояс), 3 – Кольская (Восточно-Европейский пояс); 4 – платинометалльные месторождения и проявления



раскрытием рифтогенеза, включая обрамление офiolитовых поясов (*стиллуотерский, верхнеталлахский, пудожгорский и другие типы*) ⇒ пояса ранне- и среднепротерозойских рифтогенезов ⇒ рифейские, палеозойские и мезозойские углеродсодержащие комплексы рифтогенных структур, зон коллизии, бассейнов пассивных окраин континентов и платформ (*сухоложский, таймырский, наташкинский типы*) ⇒ мезозойские трапловые интрузии поясового внутриконтинентального рифтогенеза на периферии платформ в области сочленения с океаническими рифтами – зоны субдукции (*норильско-таллахский, верхнеталлахский, скаергаардский типы*) ⇒ палеозойские и мезозойские пилонит-карбонатитовые массивы рифтогенных зон – следов “горячих точек” (*кия-шалтырский и котуй-маймечинский типы*) ⇒ мезозойские норит-кортландитовые, дунит-клинопироксенит-габбровые, дунит-гарцбургитовые массивы и углеродсодержащие комплексы островных дуг, зон субдукции; аллохтоны, меланж, сутурные зоны (*ианучевский, корякский, альтйский, наташкинский типы*).

Устанавливается четкая связь в одном СФК платиноносных формаций разного состава, гнезиса и геодинамического режима:

медистые песчаники → черные сланцы → расслоенные интрузии;
офиолиты → черные сланцы, коматиниты, расслоенные интрузии → черные сланцы и т.д.;

медистые песчаники → черные сланцы I → черные сланцы II → платиноносные траппы → платиноносные ийолит-карбонатитовые массивы.

Это свидетельствует о том, что платиноидный рудогенез связан с субдукционными и флюидотермальными (проявляющимися и автономно от магматизма) процессами.

В распределении платиноносных СФК намечается циркумкратонная зональность (см. рис. 12), маркируемая “черносланцевым” кольцом, образованным осадочно-метаморфическими комплексами рифея (Северная Земля, Таймыр → Енисейский кряж → Урикско-Ийская зона → Байкало-Патомская область → Сетте-Дабан), палеозоя и мезозоя (орогенные пояса Дальнего Востока, наталкинский тип). В фанерозое по северному обрамлению кратона зональность была частично редуцирована, что в значительной степени связано с заложением и формированием Северного Ледовитого океана. На плечах возникших при этом глобальных рифтогенных прогибов (Енисей-Хатангского и Лепского) в пределах Алдано-Североземельского и Дальневосточного поясов и их пересечений с Арктическим и Амуро-Алтайскими поясами сформировались максимально продуктивные платиноидные объекты, положение которых контролировалось рифтогенными зонами высших порядков (см. рис. 34).

По территориальным особенностям проявления платиноидного рудогенеза в пределах рассматриваемой территории выделяются Северо-Сибирский, Южно-Сибирский и Дальневосточный регионы.

Северо-Сибирский регион

Регион возник на месте северной части Северо-Азиатского кратона. Фундамент имеет архейско-нижнепротерозойский, а чехол – верхнепротерозойско-мезозойский возраст. Граница Сибирской платформы, сформировавшейся около 2 млрд лет назад, проводится на северо-западе по байкалидам, на западе – по суперрегиональному Енисейскому разлому, на севере она включала Гиперборейский массив (по Н.С.Шатскому). Молодая складчатая система Верхоянья маркирует восточную и северо-восточную границы кратона.

В современном структурном плане устанавливаются:

западная часть Сибирской платформы с Игаро-Туруханским поднятием, Тулгусской синеклизой и Анабарской антиклизой;

Таймырская складчатая система с Карским сводовым поднятием;

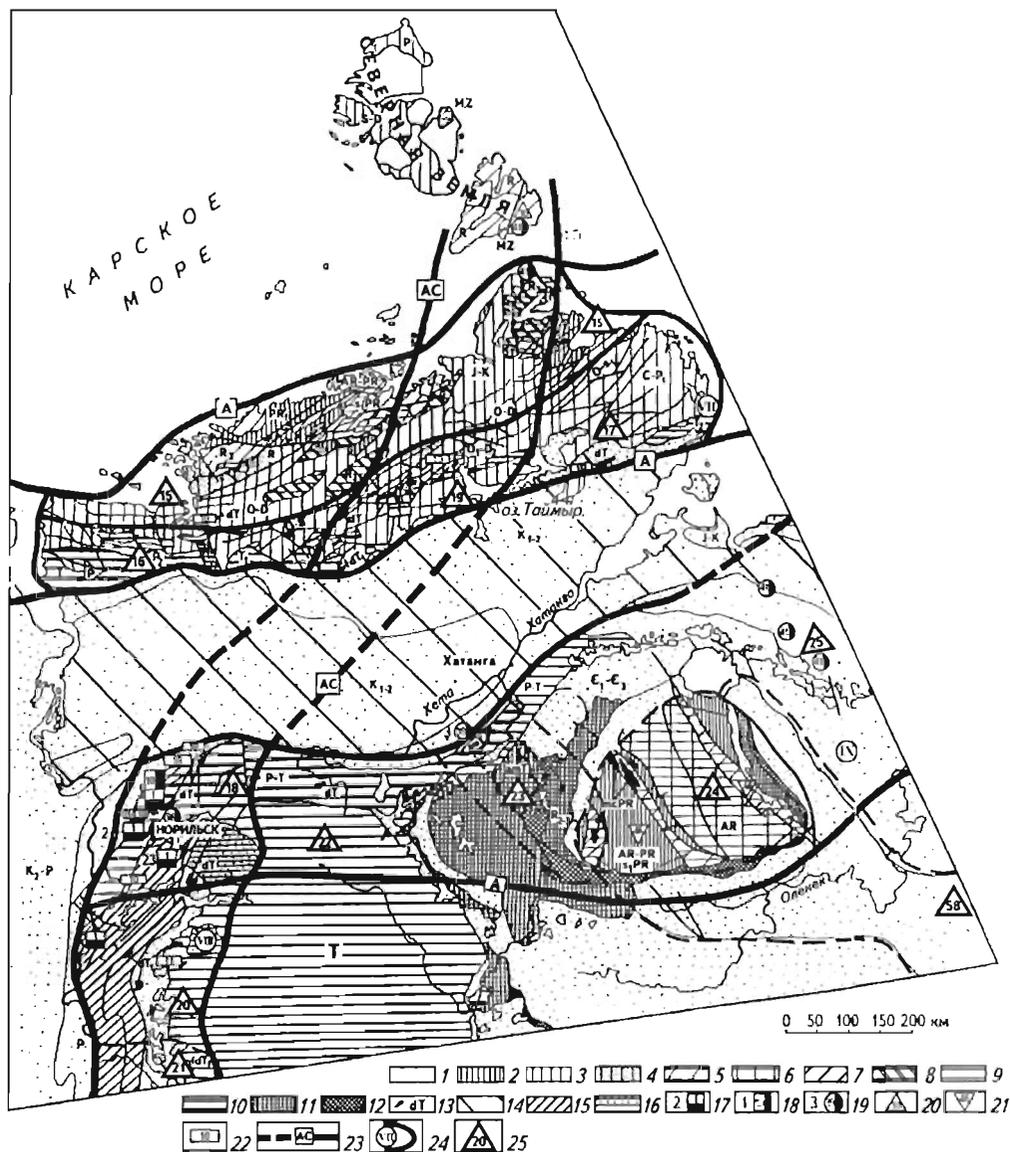
Енисей-Хатангский прогиб;

восточная часть Западно-Сибирской плиты;

Вилуйская синеклиза. Анабарский щит характеризуется полнотой разреза архейского фундамента; мощность верхнепротерозойско-мезозойского чехла достигает 15 км [19].

Рис. 35. Платинометаллогеническая карта Северо-Сибирского региона

1-12 – типы структурно-формационных комплексов: 1 – чехла Сибирской платформы, Западно-Сибирской плиты и Енисей-Хатангского прогиба, 2 – нерасчлененных метаморфитов, 3 – терригенно-черносланцевых бассейнов таймырского типа, 4 – осадочно-терригенных бассейнов, 5 – преимущественно мигматит-гранитов, 6 – гранулитовых поясов, зон, 7 – терригенно-черносланцевых бассейнов сухоложского типа, 8 – интрузивно-терригенных прогибов, 9 – однородных траппов центральной части Сибирской платформы, 10 – дифференцированных траппов окраинных частей платформы и Таймыра, 11 – карбонатных и терригенно-карбонатных пород, 12 – терригенно-карбонатных пород; *разнообразные платиноносные интрузивные формации*, в том числе 13 – пикрит-габбро-долеритовая, трапповая; 14-16 – зоны рифтогенеза: 14 – глобальные 1-го порядка, 15 – региональные и 16 – локальные



трансрегиональные 2-го порядка, 16 - локальные 3-го порядка; 17-21 – месторождения платиноносных рудных формаций: 17 – МПГ-Cu-Ni, 18 – малосульфидной платинometальной, 19 – платиносодержащей россыпной, 20 – платиносодержащей полиметальной, 21 – платиносодержащей древних толщ (анабарский тип); 22 – платинопроявления (номера в знаках соответствуют пронумерованным типам месторождений и проявлений в табл. 15, около знаков – *платиноидные месторождения*: 1 – Талнахское, Октябрьское и Верхнеталнахское, 2 – Норильск-1, 3 – Гулинское, 23 – Имангдинское); *платиноносные и потенциально-платиноносные*: 23 – пояса: АС – Алдано-Североземельский, А – Арктический; 24 – провинции (римские цифры в кружках): VII – Таймырская, VIII – Таймыро-Норильская, IX – Енисейско-Оленекская; 25 – области (цифры в треугольниках): 15 – Северо-Таймырская, 16 – Западно-Таймырская, 17 – Восточно-Таймырская, 18 – Кетско-Норильская, 19 – Центрально-Таймырская, 20 – Курейско-Хантайская, 21 – Нижнетунгусская, 22 – Аянская, 23 – Маймечя-Котуйская, 24 – Анабарская, 25 – Прианабарско-Оленекская, 58 – Куанамская

В регионе развиты магматические формации субщелочной (трахидолеритовой), основной (пикрит-габбро-долеритовой – трапповой), щелочной (мелелит-мельтейгитовой), кислой (гранодиорит-гранитовой) и щелочно-ультрамафитовой серий.

Ведущими полезными ископаемыми региона являются никель, платиновые металлы, кобальт, медь, фосфор, редкие металлы и редкие земли, золото, серебро, полиметаллы и др. Устанавливаются сульфидная платиноидно-медно-никелевая, малосульфидная платинometальная, россыпная и техногенная платиноидная, апатит-магнетитовая, флогопит-apatит-нефелиновая, апатит-магнетит-флогопит-редкометальная, титаномагнетит-перовскитовая, редкоземельно-редкометальная, медистых песчаников, магно-магнетит-железорудная, медно-молибденовая, колчеданно-полиметаллическая, боросиликатная и другие формации, месторождения и проявления которых сосредоточены в Таймыро-Норильской, Таймыро-Североземельской, Енисейско-Оленекской, Таймырской, Вилюйской провинциях, а также Маймечя-Котуйской, Уджинской, Курейско-Тунгусской, Куанамской и других таксонах Алдано-Североземельского и Арктического поясов (рис. 35, 36).

Основной металлогенической структурой региона, вмещающей все промышленные платиноидные месторождения, является Енисейско-Североземельский пояс, насаженный на Таймыро-Тунгусский грог карелид и представляющий полигенно-полихронную тектономагматическую систему протяженностью около 2000 км и шириной около 300 км от устья р.Курейки до о.Октябрьской Революции. Широко известный по своей промышленной значимости платиноносный пояс Бушвельда – Великой Дайки протягивается вдоль глубинного разлома р.Оранжевой на 1630 км [34].

Платинometальные месторождения уникальной по содержаниям, запасам и ресурсам МПГ и набору платиноносных формаций Таймыро-Норильской провинции приурочены к шовной структуре северо-запада Сибирской платформы (область сейсмофокальной зоны Заварицкого-Беньофа), отличающейся высокой подвижностью в докэмбри и палозос. Положение провинции на стыке Приенисейского перикратонного прогиба и Норильско-Таймырской системы поднятий и впадин в области предполагаемой нами зоны Заварицкого-Беньофа определяется наличием Таймыро-Тунгусского трога посткарельской стабилизации, структурно-

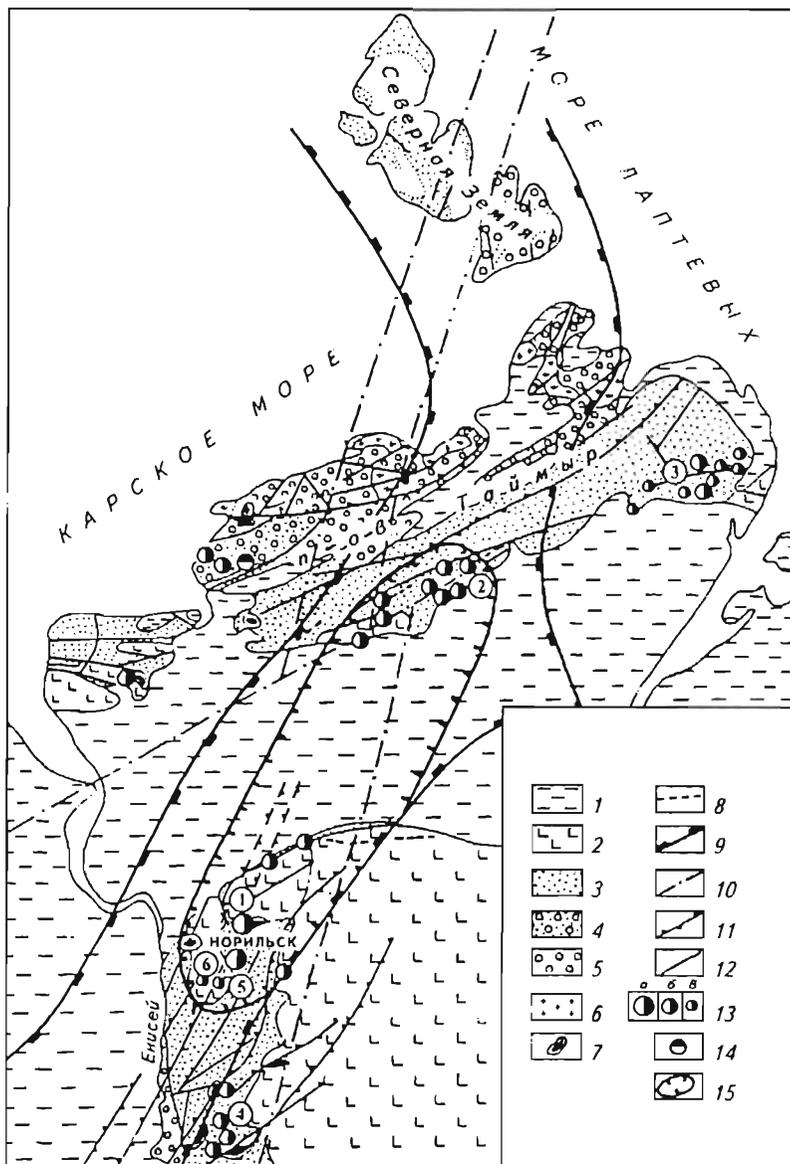


Рис. 36. Положение Таймыро-Норильской региональной РМС в структуре Енисей-Североземельского пояса

1 – чехол мезозойско-кайнозойских отложений; 2 – базальтовый экран; 3-5 – углеродсодержащие коровые образования существенно терригенные (3), терригенно-карбонатные (4) и карбонатные (5); 6 – интрузии гранитов, граносиенитов и трахит-сиенитов; 7, 8 – мантийные платиноносные ультрамафит-мафитовые интрузии (7) и дайки (8); 9 – Таймыро-Тунгусский рифтовый трог карелид, на который наложена Таймыро-Норильская РМС; 10-12 – разломы: 10 – конседиментационные, 11 – глубинные (протяженные флюидопроводники), 12 – прочие; 13 – локальные платиноносно-никеленосные ультрамафит-мафитовые РМС (цифры в кружках): 1 – Талнахская, 2 – Боотанкагская, 3 – Тулаек-Таасская, 4 – Курейская, 5 – Моронговская, 6 – Норильская и Фокинская (размах оруденения: а > в > с); 14 – колчедано-полиметаллические проявления; 15 – Таймыро-Норильская региональная РМС

вещественные комплексы которого и образуют фундамент региональной металлогенической единицы.

Во внутреннее поле Северо-Азиатского кратона вдоль Таймыро-Тунгусского трога в поле развития норильских платиносодержащих месторождений вдается "язык" меденосных формаций – Норильско-Игарский зеленокаменный пояс. На его месте в мезозос развился Норильско-Хараслахский прогиб, составной частью которого и является одноименный малый рифтовый трог. С его геодинамическим развитием связаны, как было отмечено выше, крупные и уникальные платиноидные месторождения норильско-талнахского и верхнесталнахского типов. Платиноносные и потенциально платиноносные малые рифтовые трог – линейные троговые структуры, характеризующиеся максимальной проницаемостью для расплавов, флюидов и растворов; они, как правило, субпараллельны рифтовым трогам Енисей-Хатангского прогиба и Западно-Сибирской плиты (рис. 37).

В современных структурах малые рифтовые трог картируются как желобообразные прогибы, ограниченные литрическими сбросами, крупнейший из них – Норильско-Хараслахский прогиб. Троговая структура – шовная, наиболее тектонически расслоенная зона, граничащая с "трансформным" глубинным разломом, оконтуривающим Хараслахскую мульду с юга, а с северо-запада трог ограничен

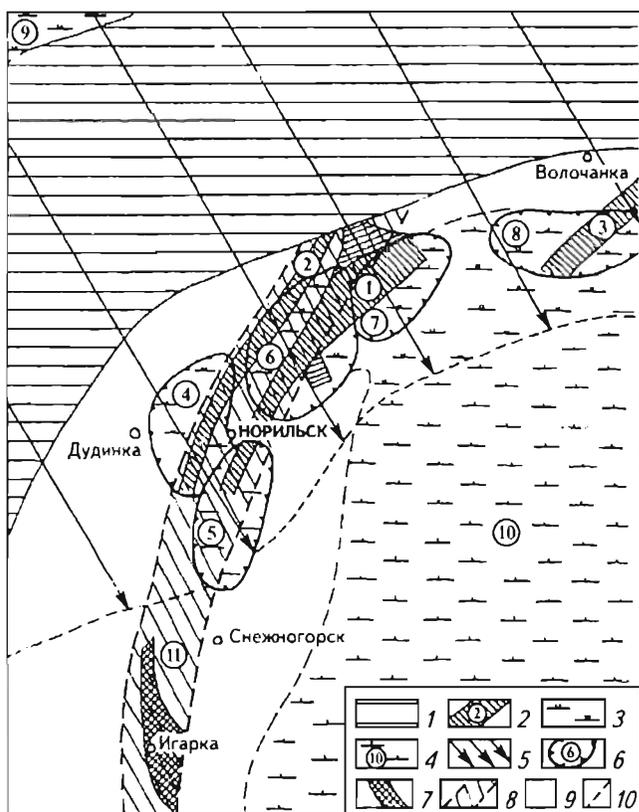


Рис. 37. Геодинамическая схема Кетско-Норильской платиноносной области Таймыро-Норильской провинции

1 – трог Енисей-Хатангской рифтовой зоны, скорее всего с корой океанического типа; 2 – малые рифтовые трог (цифры в кружках): 1 – Норильско-Хараслахский, 2 – Пясинский, 3 – Авамский; 3, 4 – области развития дифференцированных (3) и недифференцированных (4) вулканогенных серий (цифры в кружках); 9 – Южно-Таймырская зона, 10 – плато Путорана; 5 – зона поддвига; 6 – рудные и потенциально рудные районы (цифры в кружках): 4 – Вологочанский, 5 – Норильский, 6 – Хараслахский, 7 – Иконский, 8 – Авамский, 11 – Игарский; 7 – выходы фундамента; 8 – Таймыро-Тунгусский трог карелид и совпадающий с ним Норильско-Игарский пояс медистых песчаников; 9 – чехол внутриконтинентальных и аккумулятивных равнин; 10 – граница распространения водонасыщенных траппов

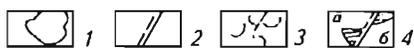
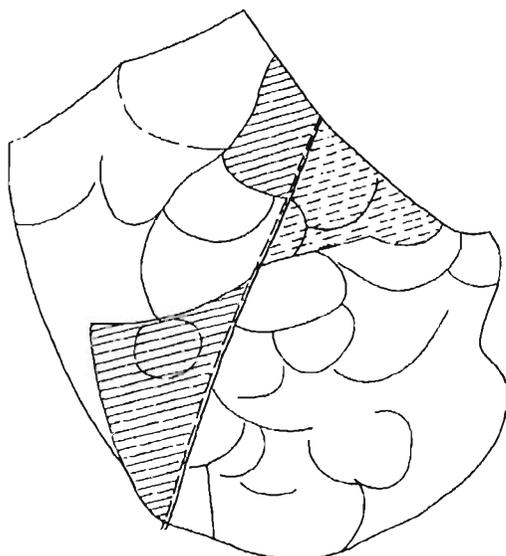


Рис. 38. Пространственные границы Талнахского рудного узла (ТРУ)

1 – границы концентрически-зонального комплекса ТРУ; 2 – Норильско-Хараелахский разлом; 3 – элементы дуговых и кольцевых структур; 4 – дискретные ячейки сжатия (а) и растяжения (б) – элементы Талнахского рудного поля

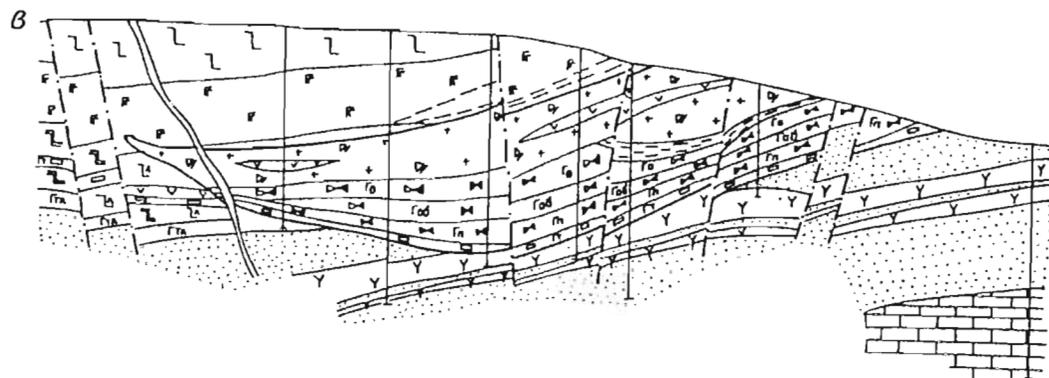
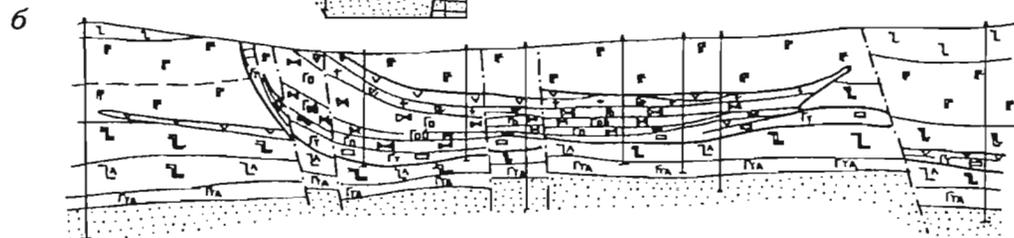
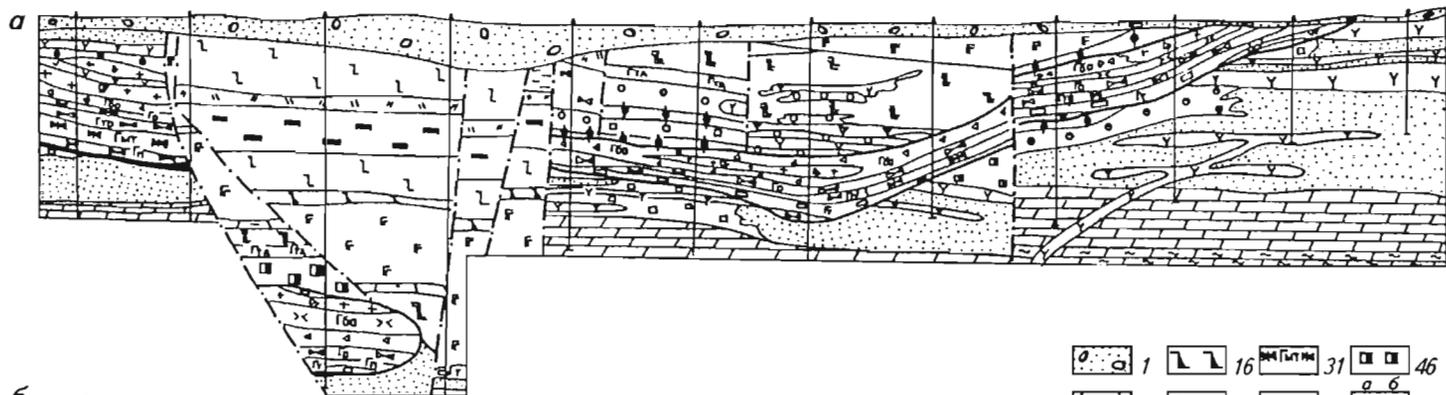


зоной литрических сбросов по подошве вулканитов. Последнее свидетельствует о процессе растяжения, продолжающемся в вулканогенный и поствулканогенный этапы. Рифтинг (растяжение–сжатие) завершился процессом с доминантой вектора сжатия. Расположенный в южной части рассматриваемого района уникально платиноносный Талнахский рудный узел представляет собой, как было показано нами ранее [69], сочетание дискретных ячеек сжатия и растяжения (рис. 38).

Максимально продуктивными в отношении МПГ (см. табл. 15) являются РМС норильско-талнахского типа, приуроченные к высокочинамичным зонам, сопряженным с рифтогенезом на кратонах и древних платформах. Формируясь на различных стадиях растяжения рифта, этот уникальный и наиболее детально исследованный тип рудно-магматических систем отличается многоярусным размещением с эшелонированным двух- (Норильск) и трехчленным (Талнах) стросием рудоносных магматических колонн, концентрирующихся преимущественно вдоль осевой части рифтогенной зоны и трансформных к ней вулканотектонических структур. Пластообразные, линзовидные, донные и жильные залежи массивных, вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд ассоциируют с пикритовыми, такситовыми и контактовыми габбро-долеритами нижних частей дифференцированных тел или концентрируются в подстилающих породах, характеризующаясь в большинстве случаев отчетливой зональностью (рис. 39). К верхним частям массивов к горизонту хромитоносных такситовых габбро приурочено платинометальное оруденение верхнеталнахского типа. Петролого-геохимический облик высокоплатиноносных рудно-магматических систем, формирующихся из неистощенного мантийного источника при существенной роли коровой серы, мантийных флюидов, определяется умеренной магниальностью (MgO 10-15%), весьма разнообразным по минеральному составу (пирротин, халькопирит, пентландит, кубанит, талнахит, хизлевудит, миллерит, борнит, халькозин, годлевскит, минералы платиновой группы, моихукит и др.) никелево-медным типом руд, значительной обогащенностью изотопно тяжелой серой ($\delta^{34}\text{S} = +4 \dots +14\%$), наличием кобальта, серебра, золота, телура, висмута, мышьяка, сурьмы, преобладанием палладия над платиной.

Широко известные в России уникальные сульфидные медно-никелевые и малосульфидные платинометалльные месторождения связаны с массивами норильско-талнахского типа. Последние располагаются в Кетско-Норильской области (см. рис. 37) Таймыро-Норильской платиноносной провинции (региональной РМС; см. рис. 36) и сосредоточены в пределах Норильско-Хараслахского малого рифтового трога (палеорифта; см. рис. 37) протяженностью ~120 км и шириной ~16 км. Они относятся к группе малых интрузий мощностью 80–400 м и расслоены от плагносодержащих оливинитов и пикритовых долеритов до габбро-диоритов. Хонолитаобразная или пластинообразная форма, отчетливая псевдостратификация, наличие нижнего и верхнего (платиноносные такситовые лейкогаббро верхнеталнахского типа) такситовых горизонтов, сложно построенные мощные метаморфический (до 400 м) и геохимический (> 3000 м) орозоли, повышенные основность и магнезиальность, значительные с большим диапазоном колебаний величины отношений Ni/Zr, Cr/Ti и Cr/V, преобладание Cu над Ni, а Pd над Pt, наличие большого числа платиновых минералов (более 75; Евстигнеева, 1999) и присутствие МПГ в виде изоморфной примеси в сульфидах – характерные черты рассматриваемых массивов. Они положительно специализированы на Mg, Ni, Co, K, S, Cu, Cr, Pt, Pd, Rh, Au, Ag, Sc, Te и отрицательно на Si, Al, Ca, Ti, V, Zr, Y, Sr, Ba, обогащены тяжелой серой ($\delta^{34}\text{S}$ до +12%), отличаются примитивным изотопным составом свинца ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} < 18,5$) и характерным соотношением изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7045\text{--}0,7055$), выраженной европиевой аномалией и восстановленным флюидом гелий-метан-азот-водородного состава. Установлена обогащенность CH_4 , H_2 , H_2O , F, Cl и тяжелыми углеводородами вулканитов магматического комплекса, с которым связаны уникально платиноносные массивы норильско-талнахского типа. Важнейшей особенностью мафит-ультрамафитовых горизонтов этих массивов и их эффузивных комагматов – пикритовых базальтов – является аномально высокое (до 12%) содержание воды. Полученные данные по содержанию в породах и рудах этих тел Hg, K, H₂, H₂O, He и других флюидов характеризуют осевую часть Норильско-Хараслахского рифтового трога (одноименного рудного района) – главную промышленно-платиноносную зону как длительно живущую флюидоподводящую систему, способствующую переносу цветных и благородных металлов, интенсивному щелочному метасоматозу и формированию разнородных аномальных геохимических полей (рис. 40).

Малосульфидная платиноидная формация включает месторождения и рудопроявления верхнеталнахского типа, приуроченные к верхним и прикровельным горизонтам массивов норильско-талнахского и различным частям разреза моронговского, фокинского, курейского, таймырского и боотанкагского типов, расположенных на плечах Енисейско-Хатангского и Западно-Сибирского внутриконтинентальных рифтов от р. Курейки на юге до р. Тулай-Киряка-Таас на севере. В соответствии с этим устанавливаются талнахский, моронговский, фокинский, курейский, таймырский, боотанкагский подтипы рассматриваемого типа. Общая протяженность выходов интрузий с малосульфидным платинометалльным оруденением превышает 1200 км, практически совпадая с таковой Енисейско-Североземельского пояса (см. рис. 36).



	1		16		31		46
	2		17		32		47
	3		18		33		48
	4		19		34		49
	5		20		35		50
	6		21		36		51
	7		22		37		52
	8		23		38		53
	9		24		39		54
	10		25		40		55
	11		26		41		56
	12		27		42		57
	13		28		43		
	14		29		44		
	15		30		45		

Рис. 39. Геологические разрезы месторождений Талнахского (а) и Норильск-1 (б, в)

1-8 – осадочные породы: 1 – валунные суглинки, 2 – известняки, 3 – доломиты, 4 – мергели, 5 – ангидриты, 6 – песчаники, 7 – алевролиты, 8 – аргиллиты; 9-19 – эффузивные и вулканогенные обломочные породы: 9 – туфы, 10 – трахитовые базальты с титан-авгитом, 11 – андезитовые базальты, 12 – базальты с толстовитовой структурой, 13 – базальты с пойкилоофитно-интерстальной структурой, 14 – анамезиты, 15 – плагиофировые базальты, 16 – оливин-плагиофировые базальты, 17 – полифировые базальты, 18 – оливинофировые базальты, 19 – покрывные базальты и оксидиты; 20-37 – интрузивные и контактированные породы: 20 – трахидолериты, 21 – габбро-диориты, 22 – лейкократовые габбро, 23 – кварцосодержащие габбро-долериты, 24 – кварцевые габбро-долериты, 25 – безоливиновые долериты, 26 – безоливиновые габбро-долериты, 27 – оливинсодержащие габбро-долериты, 28 – оливиновые и оливин-биотитовые габбро-долериты, 29 – троктолитовые долериты и троктолиты, 30 – покрывные габбро-долериты и долериты, 31 – меланократовые троктолиты, 32 – плагиоклазовые оливиниты и перидотиты, 33 – такситовые габбро-долериты, 34 – контактовые долериты, 35 – микродолериты, 36 – контактированные породы, 37 – эруптивные брекчии; 38-55 – метаморфические породы: 38 – биотит-микроклиновые и микроклиновые породы, 39 – биотитовые, пироксеновые, хлоритовые альбититы, 40 – хлорит-альбитовые породы, 41 – пренит-альбитовые породы, 42 – адинолы, 43 – альбит-муковитовые породы, 44 – брусчитовые мраморы (а) и кальцифилы (б), 45 – пироксеновые роговики, 46 – платноклаз-пироксеновые и пироксен-плагиоклазовые роговики, 47 – роговики гранат-пироксеновые (а) и ангидрит-пироксеновые (б), 48 – биотитовые роговики и метасоматиты, 49 – роговики нерасчлененные, 50 – скарны гранатовые, пироксен-гранатовые, везувиан-гранатовые (а) и магнетитовые (б), 51 – скарны нерасчлененные, 52 – серпентиниты, 53 – серпентин-карбонатные породы, 54 – ангидрит-гранат-хлорит- и пироксен-прениитовые породы, 55 – полевошпатово-прениитовые породы; 56 – границы никеленосных интрузий; 57 – зоны повышенной трещиноватости пород

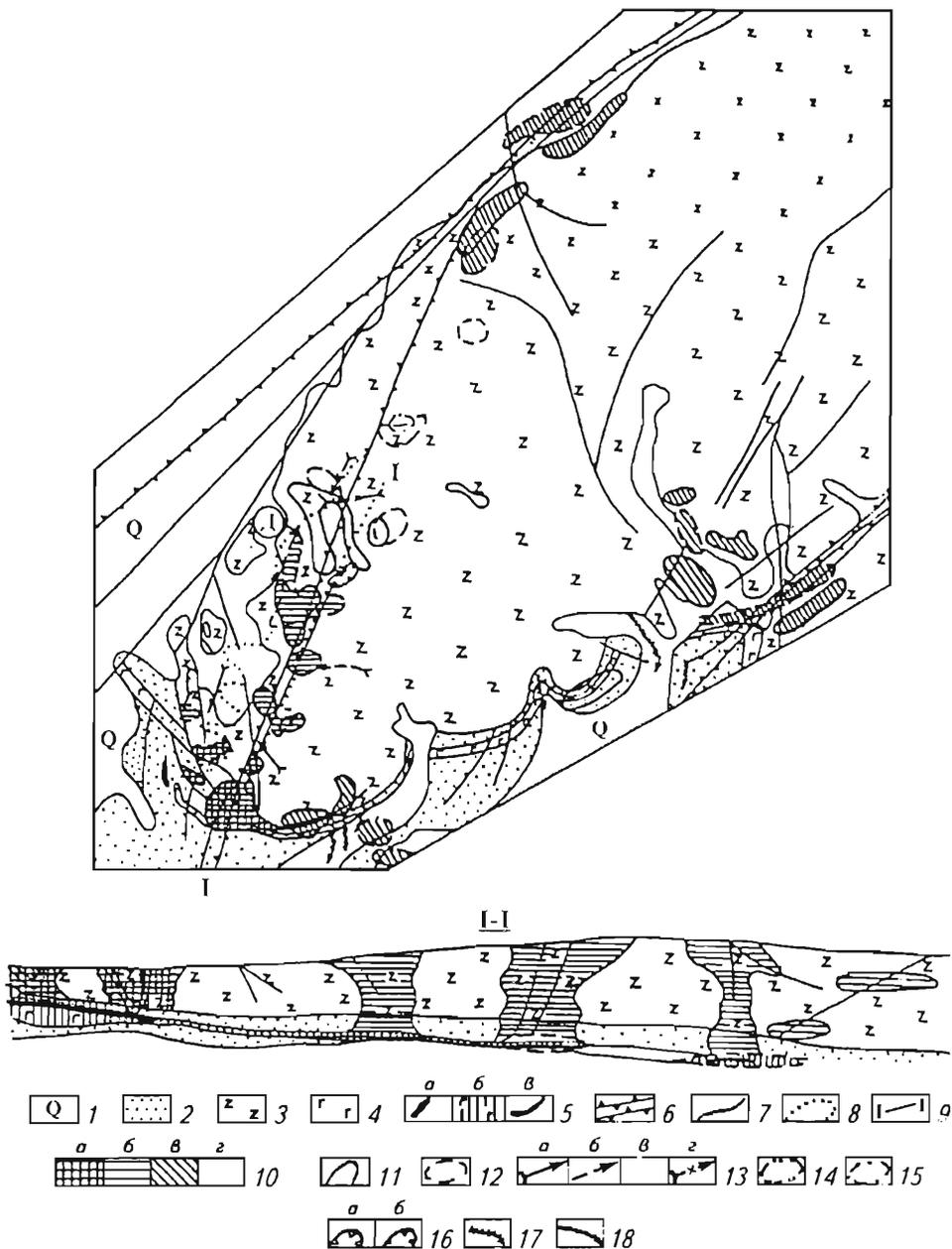
В Норильском промрайоне в Талнахском, Норильском, Имангдинском, Черногорском, Моронговском интрузивных массивах содержание МПГ в рудах этого типа достигает промышленных значений (более 5 г/т). Рудные тела мощностью от первых сантиметров до первых десятков метров – платиноносные малосульфидные пластообразные горизонты хромитовых такситовых габбро и лейкогаббро, габбро-диоритов и покрывных долеритов, расположенные значительно (до 200 м) выше залежей сплошных и вкрапленных в интрузиве сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд. Последние в интрузивах моронговского и фокинского типов отсутствуют. Отличительной чертой горизонтов малосульфидного платинотельного оруденения является постоянное колебание мощности, протяженности, средних и средневзвешенных содержаний МПГ. Поэтому ранее мы и предложили такие горизонты называть “прерывистыми” или “дырчатыми” пластами [70].

В пределах наиболее значимых рассматриваемых ниже объектов этот тип руд тяготеет к расположенным в пределах прикровельного и верхнего горизонтов зонам максимальной петрографической (и минеральной) неоднородности с широким распространением хромита, хлор-, фтор- и водосодержащих минералов. Максимумы мощностей платиноносных лейкогаббро (анортитовых габбро, почти анортозитов) обычно приурочены к прогибам в подошве массивов, нередко – к зонам разломов.

Верхнеталнахское платинотельное месторождение тяготеет к такситовым лейкогаббро прикровельного горизонта Верхней Талнахской интрузии.

Рис. 40. Геолого-геохимическая модель
Хараелакского промышленно-никелеосного рудного района

1 – верхнечетвертичные и современные отложения; 2 – осадочные породы; 3 – вулканиты; 4 – недифференцированные интрузии; 5 – дифференцированные массивы норильско-талнахского типа (а – на схеме, б – на разрезе, в – рудные залежи на разрезе); 6 – тектонические нарушения глубинные магмо- и рудоконтролирующие; 7 – геологические границы; 8 – площади распространения ветвей промышленно никелеосного массива норильско-талнахского типа, в том числе Денговская прогнозируемая



авторами рудоносная ветвь (Д); 9 – линия геолого-геохимического разреза; 10 – аномальные геохимические поля концентрирования, интерпретируемые как: а, б – промышленно-никеленозные (а – явные, б – предполагаемые), в – никеленозные и слабоникеленозные (явные и предполагаемые), г – неясного генезиса; 11-14 – контуры аномальных геохимических полей: 11 – в коренных породах (ЭГП), 12 – в рыхлых отложениях (ГГП), 13 – в торфах и растениях, 14 – в природных водах, 15 – потоки концентрирования в донных осадках (а-г – аналогично 10); 16 – аномальные геохимические поля среднего-высокого концентрирования: а – в водах, б – в коренных породах; 17, 18 – потоки халькокопирита (17) и хромсодержащего авгита (18) в шлихах

занимая в различных ветвях от 20 до 50% их площади. Мощность рудоносного горизонта достигает 47 м (в южной части Северо-Восточной ветви). Первый максимум расположен у выхода Верхней Талнахской интрузии на дневную поверхность (рис. 41), что в принципе делает возможной открытую добычу малосульфидных платинометаллических руд, для чего авторами предлагается создать карьер “Талнах”. Второй максимум находится вблизи осевых линий Северо-Западной и Хараслахской ветвей. В среднем мощность платиноносного горизонта составляет 1,96 м, а средневзвешенное содержание МПГ при этом – 5,94 г/т (табл. 47).

Норильское платинометаллическое месторождение установлено в пределах восточного утолщенного борта и северной головной зоны интрузии Норильск-1. При чрезвычайно сложной форме оно располагается в нижней части такситовых лейкогаббро прикровельного горизонта. В юго-западном борту карьера “Медвежий ручей” С.Ф.Служенкиным и Д.М.Туровцевым [64] установлено трехчленное строение платиноносного горизонта (снизу вверх): такситовые лейкогабброиды, содержащие МПГ в количестве до 4,5 г/т; эруптивные брекчии (до 5,6 г/т МПГ);

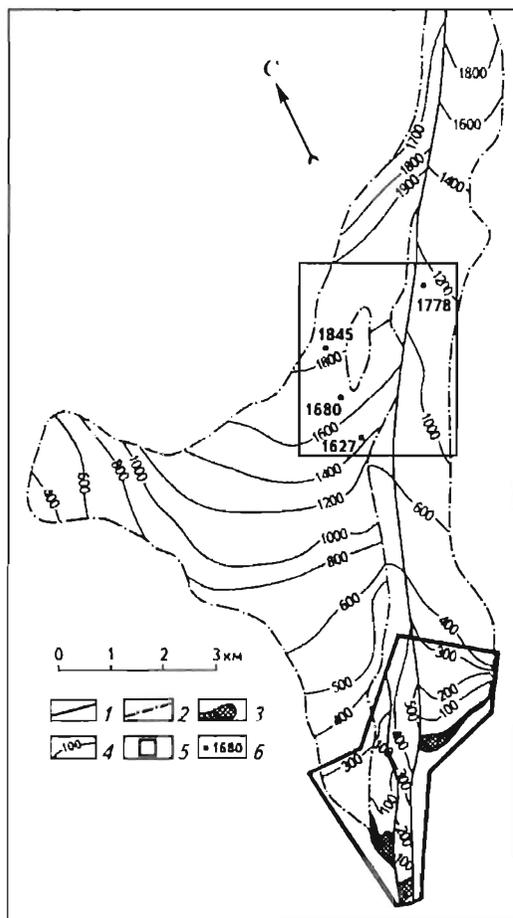


Рис. 41. План изоглубин залегания малосульфидных платинометаллических руд (платиноносного горизонта) в пределах Талнахского рудного поля

1 – разломы; 2 – контур Верхней Талнахской интрузии; 3 – выходы интрузии под рыхлые отложения и на поверхность; 4 – изоглубины глубины залегания платиноносного горизонта по отношению к дневной поверхности; 5 – контур площади возможной отработки платиноносного горизонта открытым способом; 6 – буровые скважины

Содержания МПГ (в г/т) и серы (в %) по разрезам платинометалльного месторождения таллахского подтипа верхнеталлахского типа (Порняльский район)

Разрез	Pt	Pd	Rh	S
1	<u>0,02-7,00</u> 1,92	<u>0,02-17,00</u> 5,28	<u>0,02-0,85</u> 0,07	0,10
2	<u>0,25-11,50</u> 2,38	<u>0,05-27,50</u> 5,71	<u>0,02-0,95</u> 0,29	0,10
3	<u>0,01-0,40</u> 0,36	<u>0,02-1,95</u> 0,56	<u>0,01-0,15</u> 0,03	<u>0,18-0,60</u> 0,36
4	<u>0,05-2,15</u> 0,30	<u>0,20-6,80</u> 0,89	<u>0,02-0,30</u> 0,08	<u>0,50-0,90</u> 0,68
5	<u>0,20-7,50</u> 0,92	<u>0,10-27,90</u> 3,92	<u>0,02-0,80</u> 0,12	<u>0,10-1,60</u> 1,10
6	<u>0,06-2,60</u> 1,13	<u>0,18-5,90</u> 2,67	<u>0,01-0,26</u> 0,06	<u>0,10-0,70</u> 0,25
7	<u>0,25-4,95</u> 2,15	<u>0,34-12,60</u> 5,02	<u>0,01-0,35</u> 0,16	<u>0,60-0,75</u> 0,68

Примечание. В числителе – пределы колебаний, в знаменателе – средневзвешенное значение.

угли, углистые аргиллиты и апоаргиллитовые роговики (до 6,5 г/т МПГ). При средней мощности горизонта 6,02 м средневзвешенное содержание МПГ в нем составляет 5,43 г/т.

Имангдинское платинометалльное месторождение приурочено к входящим в состав прикровельного горизонта (2-3% сульфидов) пикритовым (Pt – до 1,5 г/т, Pd – до 2,6 г/т, Rh – до 0,05 г/т), троктолитовым (соответственно 1,50; 2,16 и 0,18 г/т), такситовым (0,48; 0,64 и 0,03 г/т) долеритам и лейкогаббро (0,89; 2,39 и 0,08 г/т). Мощность горизонта уменьшается от головной (10-15 м) к тыловой зоне (1-7 м). Средняя мощность верхнего платиноносного горизонта – 2,1 м, средневзвешенное содержание МПГ – 2,26 г/т. Породы, слагающие платиноносный горизонт, обогащены глиноземом (до 21,03% в лейкогаббро), хромом, калием и натрием (соответственно до 1; 1,72 и 2% в верхних пикритах и такситах).

Именно для Имангдинского массива авторами [70] впервые были установлены две разновидности анортозитового тренда: рудно-анортозитовый (AlCaNaTiFe^{3+} (SiK) \Leftrightarrow $\text{NiMgCoFe}^{2+}\text{MnCu}$ (PdPtRh)) для нижних сульфидных платиноидномедно-никелевых руд и анортозитовый платинометалльный ($\text{Fe}^{2+}\text{MnMg}$ (PCoNiCu) \Leftrightarrow $\text{AlNaCaFe}^{3+}\text{K}$ (RhPtPdCrS)) для верхнего малосульфидного платиноносного горизонта (рис. 42). Из рассмотрения этих трендов вытекает одно чрезвычайно важное заключение: *сохранение при формировании верхнего платиноносного горизонта связи платиновых металлов с серой далеко не всегда означает такую же связь с цветными металлами Ni, Co и Cu*. Именно тогда нами была показана важнейшая роль анортозитового тренда в становлении платинометалльного оруденения.

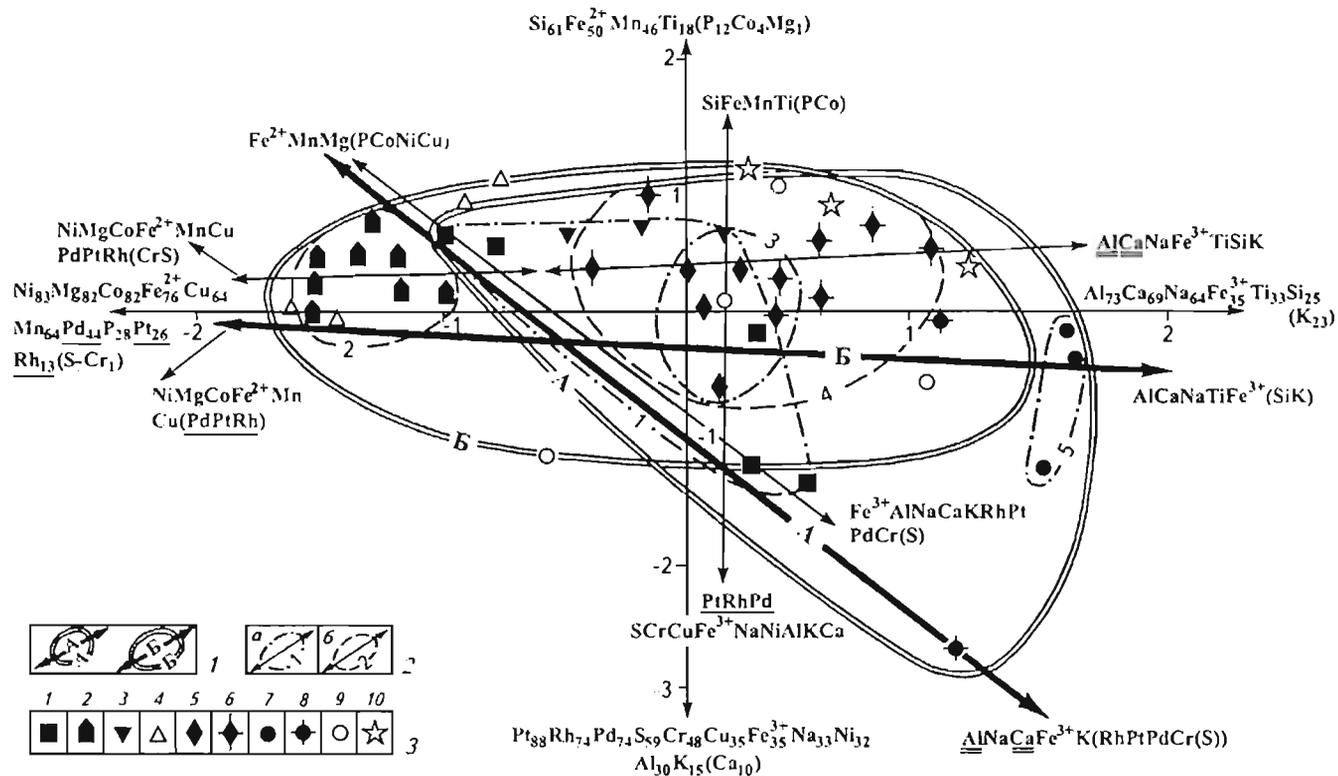


Рис. 42. Петрогенетическая диаграмма составов пород Имангдинских рудопоявлений (n = 56, m = 19 – Si, Ti, Al, Fe³⁺, Fe²⁺, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, S, Cr, Ni, Cu, Co, Pd, Pt, Rh)

1 – фигуративные поля составов пород с платинометалльным рудопоявлением талнахского подтипа верхнеталнахского типа (А) и с сульфидным платиноидно-медно-никелевым рудопоявлением норильско-талнахского типа (Б) и проявленные в них тренды; 2 – фигуративные поля составов отдельных разновидностей платиноносных пород и определяющие их тренды: а – верхнеталнахского (1 – верхние пикриты, 3 – верхние такситы, 5 – лейкогаббро) и б – норильско-талнахского (2 – пикритовые долериты, 4 – такситовые долериты); 3 – типовые фигуративные точки составов платиносодержащих руд верхнеталнахского (1, 3, 5, 7, 8) и норильско-талнахского (2, 4, 6, 9) типов: 1 и 2 – пикритовые долериты, 3 и 4 – троктолитовые долериты, 5 и 6 – такситовые долериты, 7 – лейкогаббро, 8 и 9 – оливиновые долериты, 10 – контактовые долериты

Моронговское платинометальное проявление охватывает ряд горизонтов интрузий одноименного типа: гор Моронго, Путанной, Пегматитовой и Руинной. Они почти на 80% сложены обогащенными оливином породами: троктолитовыми долеритами и троктолитами. Небольшое (1-3%) количество сульфидов приурочено к различным горизонтам (мощность 0,5-20 м) рассматриваемых массивов мощностью 67-380 м. Как правило, в таких горизонтах содержания платиновых металлов непропорционально велики относительно цветных. Так, в слабо сульфидизированных габбро-пегматитах верхнего горизонта интрузии г. Пегматитовой содержание Pd достигает 1,7 г/т, а Pt – 0,3 г/т, а в почти бессульфидных оливинсодержащих долеритах среднего горизонта гор Руинной и Моронго содержание Pd составляет соответственно 0,88 и 0,14 г/т, а Pt – 0,12 и 0,052 г/т. В габбро-долеритах верхнего эндоконтакта Моронговской интрузии установлено содержание МПГ, г/т: Pd – 13,15, Pt – 5,21, Rh – 0,39, Ru – 0,09, Ir – 0,013 [63], а в базальтах нижнего экзоконтакта содержание МПГ достигает 0,88 г/т. Подобный разброс количеств МПГ по разрезу интрузии г. Моронго, составляющий 900 раз для палладия и 500 – для платины, бесспорно говорит о присутствии ряда платиноносных горизонтов.

Аналогичные прерывистые малосульфидные горизонты, характеризующиеся повышенной (до 9,5 г/т) платиноносностью, установлены и в полях развития интрузий Норильск-II и г. Черной. В настоящее время строится карьер по отработке малосульфидных платинометаллических руд.

Таким образом, верхний платиноносный горизонт тяготеет к нижней части такситовых долеритов прикровельного горизонта, располагаясь на границе анортитовых лейкогаббро с подстилающими габбро-долеритами или габбро-диоритами верхнего горизонта рудоносных интрузивов. Обычным для рассматриваемого горизонта является наличие линз верхних пикритов или такситов. Первые при их высокой магнезиальности (до 22% MgO) и очень низких количествах никеля и меди характеризуются повышенными концентрациями Cr₂O₃ (до 1,2%) и МПГ (до 8,6 г/т). Это весьма разительно отличает верхние пикриты от нижних, в которых, как правило, прямой корреляции между содержаниями хрома и МПГ не отмечается. Хорошим примером служат высокохромистые (более 1% Cr₂O₃) пикритовые долериты Черногорской интрузии, содержащие только бедное вкрапленное сульфидное платиноидно-медно-никелевое оруденение.

В рассматриваемых рудах коэффициент концентрации Pt достигает 2500, а Pd – 16000. При этом отношение МПГ/S в 2-20 раз превышает таковое во вкрапленных и прожилково-вкрапленных сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудах. Как и в последних, МПГ образуют самостоятельные минералы, твердые растворы в сульфидах, арсенидах и сульфоарсенидах, а также входят в решетку породообразующих силикатов.

Список платиновых минералов и неназванных фаз, установленных и изученных С.Ф. Служеникиным [82], включает изоферроплатину, тетраферроплатину, туламинит, атокит, рустенбургит, паоловит, соболескит, котульскит, монцит, мерепскит, палладоарсенид, маякит, стибнопалладинит, мертинит, гуашилинит, винсентит, хараелахит, куперит, брэггит, висоцкит, сперрилит, холлингвортит, Pt₂Fe,

$Pd_2(Sn,As)$, $Pd_2(As,Sb)$, $(Pd,Ni)_2As$, Pd_5As_2 , $Pd_3(As,Sb,Sn,Tc)$, $Pd_3(As,Sb,Sn,Tc)_2$. При этом С.Ф.Служеникин [82] отмечает, что в верхнем платиноносном горизонте Талнахского месторождения ведущим платиновым минералом является сперрилит (15% всех зерен), а Норильского месторождения – платиновый атоцит, железо-платиновые сплавы и сперрилит.

В интрузии г.Путанной в плагиоклазе из троктолитов установлено содержание Pt – 0,03 г/т, Pd – 0,52 г/т и Rh – 0,022 г/т, а в оливинс – соответственно 0,73, 0,05 и 0,013. В пересчете на породу (троктолит) оливинс содержит 68% Pt, 52% Pd и 29% Rh, а плагиоклаз – соответственно 32, 48 и 53% (от общего количества МПГ в породе). В оливиновых долеритах клинопироксен содержит по 7% Pt и Pd от их количества в породе.

Количество платиноидов в платинометаллических рудах верхнесталнахского типа колеблется от 0,2 до 64 г/т при среднем 5,77 г/т и средневзвешенном по отдельным разрезам до 8,37 г/т (см. табл. 47). *Эти параметры позволяют весьма высоко оценить платинометаллогенический потенциал рассмотренных руд – 4-6 тыс. т; 20-30% из них на южных флангах Талнаха (на месторождениях Норильского и Иманджинского рудных узлов) пригодны для обработки открытым способом.*

Платиносодержащая хромитовая и апатит-магнетитовая формации в регионе связаны с ийолит-карбонатитовыми массивами широко известного маймеча-котуйского флогопит-apatит-платиноносно-редкометалльно-железородного комплекса щелочно-ультраосновных пород и кимберлитов и предполагаются в связи с близким по составу уджинским комплексом (рис. 43) [2, 22]. Авторы полностью разделяют точку зрения Л.С.Егорова [22] о семифазном формировании подобных массивов: пироксенит-дунитовая → кугдит-мелитолитовая → мельтейгит-щелочно-пикритовая-мелансфеллитовая → ийолитовая (с пегматитами) → нефелин-сисситовая → фоскоритовая → карбонатитовая. Для Гулинского массива намечены [33] Ir–Ru–Os специализация дунитов (0,089 г/т) и хромитов (0,313 г/т), палладиевая – клинопироксенитов (0,076 г/т) и платиноносная – агпаитовых нефелиновых сисситов (1,2-3,1 г/т), серпентинитов (3,0 г/т) и флогопитизированных порфиритов (1,3 г/т). В дунитах установлены самородный осмий и повышенные содержания золота. В целом перспективы коренной платиноносности дунитов и хромитов представляются пока неясными, как и оливинитов массива Кугда, в которых Г.Г.Моором (1956) обнаружен палладий в количестве 6 г/т. Также недостаточно очевидными авторам представляются перспективы золото-платиноносности Крестовской интрузии [8], расположенной юго-западнее Гулинской о циклолита и содержащей, по А.М.Сазонову, в клинопироксенитах и мелилолитах до десятков граммов на тонну золота и МПГ (преимущественно платины и иридия).

Широкое развитие в пределах Маймеча-Котуйской провинции пород, с которыми связаны повышенные содержания платиновых металлов, и приуроченность к некоторым массивам россыпей МПГ дают веские основания считать необходимым продолжение оценки перспектив платиноносности открытой Г.Г.Моором и Ю.М.Шейнманном провинции щелочно-ультраосновных пород, первые находки платиноидов в которых были сделаны ими же [44].

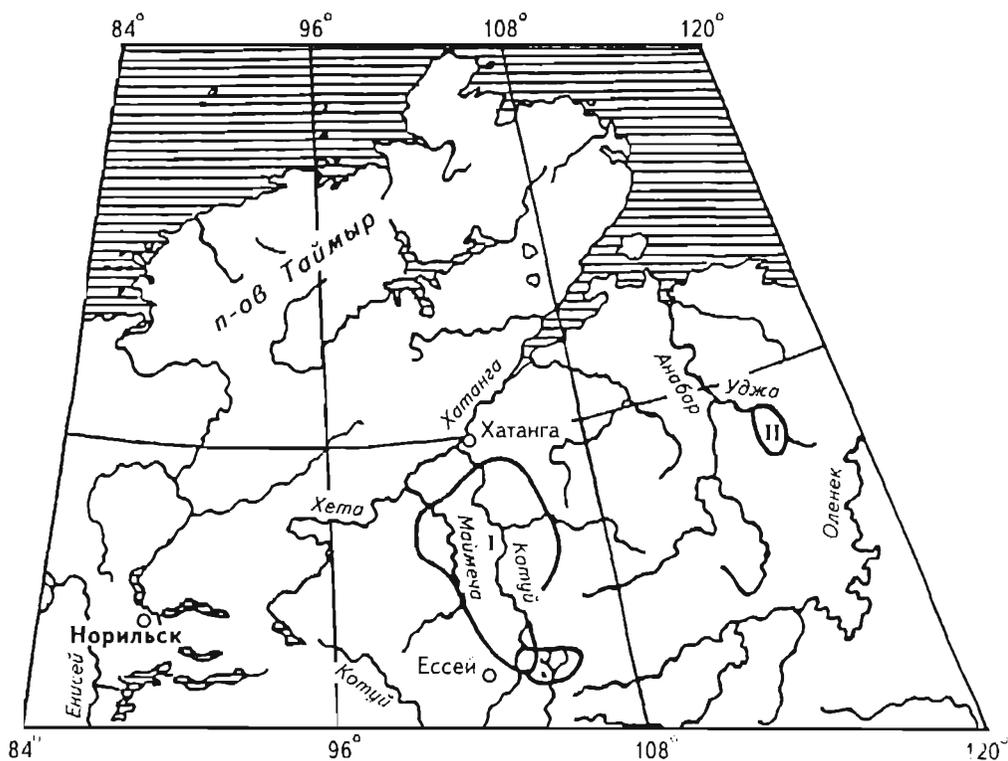


Рис. 43. Схема размещения на севере Сибири щелочно-ультраосновных пород, карбонатитов и кимберлитов Маймеча-Котуйской (I) и Уджинской (II) провинций [22]

Для расположенных севернее массивов Томтор и Богдо данными о содержании МПГ мы не располагаем. Однако сведения о широком распространении в них сульфидов позволяют считать необходимым специальное изучение платиноносности этих плутонов. Не исключена возможность, что при отработке томторских руд на редкие металлы и редкие земли в некоторых концентратах окажутся повышенные количества извлекаемых платиновых металлов.

Платиноидные проявления (анабарский тип габбро-анортозитовой формации, аллареченский тип дунит-гарибургитовой железистой формации) иридий-палладий-платиновой специализации установлены А.А.Кузнецовым в древних толщах Анабарского щита [64]. Причем для Западно-Анабарской минералогической субпровинции (Ламуйская и Монхоолинская зоны) присуща золото-палладий-платиноносная (с Cu, Ni, U, Th, Mo, Mn), а для Восточно-Анабарской (Билляхская и Харапская зоны) характерна иридий-платино-палладий-золотоносная (с TR, Ce, La) специализации (рис. 44). Авторам представляется, что в данном случае повышенные содержания МПГ (до 4,2 г/т Pt, до 0,11 г/т Pd, до 0,25 г/т Ir) связаны, как правило, с разновидностями габбро-анортозитовой формации (анортозитовая, габбро-норит-анортозитовая и др.). Анортозитовая специализация вмещающих пород подчеркивается А.А.Кузнецовым и для Маганской минералогической

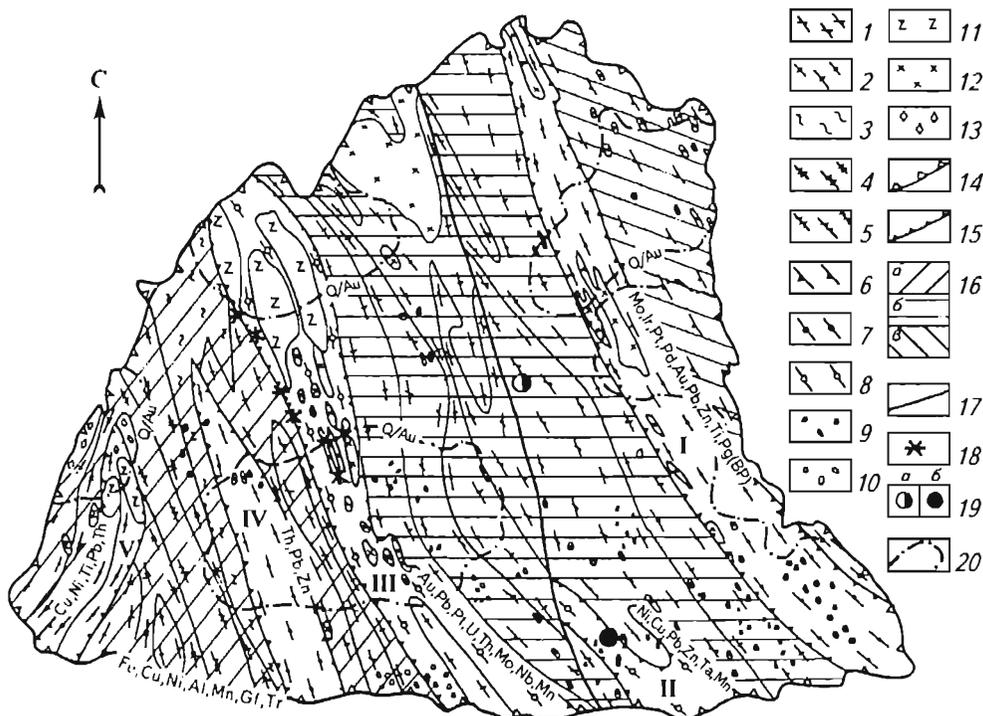


Рис. 44. Схема минерагенического районирования Анабарского щита (по А.Н.Вишневскому)

Формации гранулитовых раннеархейских метаморфических комплексов: Анабарский комплекс: 1 – кварцит-эндрбитовая, хемогенно-вулканогенная (базальтовая); 2 – эндрбитовая (вулканогенная – андезит-толентовая); Маганский комплекс: 2 – эндрбитовая (вулканогенная – андезитовая); 3 – чарнокитовая (вулканогенная – андезиториолитовая); 4 – гнейсоэндрбитовая (терригенно-вулканогенная – андезитовая); 5 – мрамор-гнейсоэндрбитовая (карбонатно-терригенно-вулканогенная – андезитовая); Хапчанский комплекс: 6 – мрамор-гнейсовая (карбонатно-терригенная). Формации позднеархейских-раннепротерозойских диафторитов по раннеархейским гранулитовым комплексам: 7 – гранитогнейсовая (высокотемпературная амфиболитовая фация); 8 – гнейсосланцевая (средне-низкотемпературная эпидот-амфиболитовая фация). Магматические формации: 9 – метаультрабазит-базитовая (раннеархейская); 10 – мигматит-гранитовая, в том числе чарнокитовая (раннеархейская-позднеархейская); 11 – анортозит-габбро-норитовая (позднеархейская); 12 – гранодиорит-гранит-сиенитовая (позднеархейско-раннепротерозойская); 13 – гранитовая, в том числе пегматитовая (раннепротерозойская). Границы: 14 – Анабарской минерагенической провинции; 15 – структурно-металлогенических зон: Билляхской (I), Харапской (II), Моихоолинской (III), Ламуйской (IV), Чурбукулахской (V); 16 – минерагенические области Анабарской провинции: а – Центрально-Анабарская, б – Маганская, в – Хапчанская; 17 – Анабарский глубинный разлом; 18 – проявления урана; 19 – проявления золота россыпного (и) и коренного (б); 20 – орсолы рассеяния

области, и для габбро-норит-анортозит-иотунит-мангеритовой протонитрузивной серии. При проведении ГГП-50 в пирротине из сульфидизированных метаультрамафитов р.Мэркю в близцентральной части Анабарского щита были обнаружены два микрозерна “минерала предположительно из группы платины” (Кривошеев и др., 1990). Изначальная благороднометаллическая специализация древнейших пород протокоры Земли доказана А.А.Кузнецовым впервые.

Черносланцевая платиносодержащая формация представлена суходождским и таймырским типами. Последний включает углеродистые терригенные сероцветные породы кембрийско-силлурийского возраста с микроскопическим золотом и повышенной платиноносностью. Суходождский тип – рифейские углеродистые терригенные и карбонатно-терригенные сероцветные образования с высокими количествами золота и платиноидов. Месторождения и рудопроявления второго типа развиты в пределах Северной Земли и Таймыра (Васильев, Фокин, 1994; Самойлов, Ваннын, Тимкин, 1999). Характерным представителем является рудопроявление “Жильный” в верховьях р. Чукчи Шренк-Фаддевской зоны Таймыра (рис. 45).

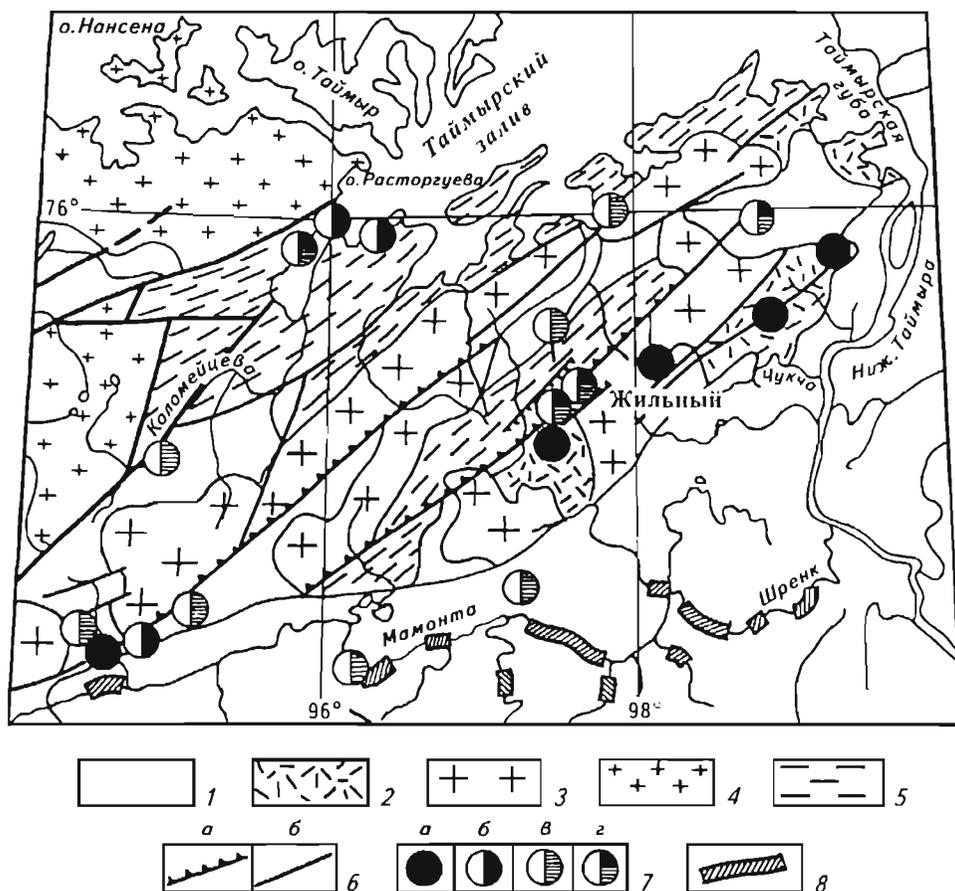


Рис. 45. Расположение платиноидно-золоторудных проявлений в южной части Таймыро-Североземельской провинции

1 – формации мезокайнозойского чехла; 2 – терригенно-вулканогенная формация верхнего протерозоя; 3, 4 – гранитоиды верхнего палеозоя (3) и протерозоя (4); 5 – углеродсодержащие формации верхнего протерозоя; 6 – разрывные нарушения: а – Пограничный разлом, б – прочие; 7 – золоторудные проявления: а – золото-кварцевое типа в метасоматитах, б – золото-сульфидного и золото-кварцевого типа в углеродистых сланцах, в – золото-сульфидно-кварцевого типа, г – полихронные и полигенные платиноидно-золоторудные в углеродистых толщах; 8 – золотые россыпепроявления

Рудопроявление тяготеет к зоне вулканогенно-терригенных рифейских образований с широким развитием металоносных черносланцевых толщ, блоков карбонатных пород и расположением восточнее Чукчинского поля вулканитов в области регионального (Пограничного) разлома. Золотос с МПП оруденение является составной частью кварцево-жильных образований и зон окварцевания дислоцированных сульфидизированных сланцев.

Платиноидно-золоторудное жильное поле приурочено к сводовой части антиклинальной структуры северо-восточного простирания, образованной флишными отложениями верхней части разреза протерозойского комплекса интракратонного трога. Ее крылья сложены серыми и зеленовато-серыми кварц-серицитовыми песчаниками и алевролитами. Ядерная часть складки выполнена углеродистыми пиритизированными сланцами. Платиноносно-золотоносные жильные образования сгруппированы в линейную зону северо-восточного простирания, протягивающуюся вдоль основного разлома на 10-12 км при ширине до 2 км. Морфология многих жил полностью соответствует их складчатому формированию и определяется различной ориентировкой пликативных дислокаций вмещающей толщи. Форма большинства жил – седловидная и линзовидная. Мощность некоторых из них достигает 3-5 м в раздувах при фрагментарной протяженности в сотни метров. Редки секущие субширотные жилы мощностью около 0,8-1,0 м при протяженности до 100 м и более. Насыщенность жильным материалом в пределах видимой части зоны составляет 3-5% от общего объема пород; количество сульфидов в жилах – 1-3%. Ширина выходов платиноносно-золотоносных сульфидизированных черных сланцев в зоне наибольшего количества кварцевых жил может достигать 800 м.

Золоторудная минерализация в малосульфидных жилах и в зонах окварцевания и сульфидизации черносланцевых отложений тяготеет к халькопиритовой, халькопирит-арсенопиритовой и пирит-полисульфидной ассоциациям. Жилы минерализации первого типа максимально золотоносны – среднее содержание около 5 г/т (без учета аномальных проб 60 и 30 г/т), золото преимущественно находится в виде свободных выделений в кварце. Жилы двух других минеральных типов включают также пирротин, галенит, сфалерит, козалин, алтант, алексит и другие минералы, средняя концентрация золота в них составляет 0,8-1,3 г/т, и большая часть его выделений находится в сростании с сульфидами. Размерность 30-40% выделений золота более 100 мкм (до 1-5 мм); пробоность золота 830-912. Основные примеси – серебро, реже медь. По материалам весьма неравномерного штучного опробования и спектрозолотохимического анализа проб количество золота обычно составляет первые граммы при максимуме 50-60 г/т. Среднее содержание золота составляет 1,32 г/т (109 проб). Опробование зоны пиритизации в сланцах выявляет постоянное повышение содержания золота (десятые и сотые грамма на тонну, редко первые граммы). Крупнокристаллические выделения пирита содержат до 0,5 г/т золота.

Рассмотренное оруденение достаточно уверенно может быть отнесено к черносланцевой рудной формации. Выявлены также отчетливые признаки поздних

гидротермальных процессов, обусловивших повторное перераспределение полезных компонентов. В аналогичных золоторудных объектах о.Большевик архипелага Северная Земля А.Г.Самойловым с соавторами (1999) определено содержание МПГ, г/т: Pt – 0,48-14,6, Pd – 1,91-26,0, Rh – 0,07-2,3, Ru – 0,069-0,77 и установлены самородная платина (86% Pt и 2% Os) и металлический твердый раствор OsRuIrPt. Приведенные данные позволяют говорить о перспективности оруденения в формационном и типовом (углеродсодержащие комплексы) плане. Широкое развитие минерализации в разноориентированных кварцевых жилах и прожилках, а также – зонах гидротермально-измененных пород дает основание предполагать наличие в пределах Жильенской рудоносной структуры платиноидно-золотоносного линейного штокверка сухоложского типа.

Платинометальная россыпная формация представлена анабаро-оленинским, вилуйским, норильским и гулинским россыпными типами.

Первый из них представлен продуктами разрушения выше рассмотренных платиноносных толщ Анабарского щита. Россыпи, относимые к этому типу, установлены на его северо-восточном склоне, в них обычно преобладает золото.

Вилуйский тип платиносодержащих золотоносных россыпей распространен чрезвычайно широко в южной части региона, где образует самостоятельную одноименную провинцию. Он установлен также в прилегающих районах Ленской платиноносной провинции (по А.В.Округину и др. [64]). По Н.К.Высоцкому [7], “платина является здесь в виде примеси к золоту, россыпи которого сосредоточены в долине р.Вилуя между устьем р.Ахтаранды и г.Вилуйском на протяжении 1036 верст по реке, золотоносные также нижние течения большинства притоков, впадающих в Вилуя... Весь этот район примыкает к юго-восточной окраине сплошного распространения траппов...” (ч. 5, с. 211). По его же данным зимой 1918-1919 гг. было продано 244,5 кг золота и 16,3 кг платины.

Район сложен преимущественно слабометаморфизованными осадочными отложениями кембрия-юры, причем палеозойские породы прорваны интрузиями долеритов; осадочные и интрузивные породы перекрываются третично-четвертичными осадками. Платиносно-золотоносной является толща осадочных отложений юрско-постплиоценового возраста и современных речных наносов включительно мощностью около 213 м (Зверев, 1926). Пойменная терраса шириной до 7,42 км сложена песчано-глинистыми отложениями, подстилающимися песчано-галечными с преобладанием кварцевой гальки конгломератами. Мощность речных кос, отмелей, островков и современных наносов – главного объекта старательской добычи – не превышает 5,86 м (средняя 1,4-2,1 м) при ширине Вилуя 426-745 м и глубине реки 1,4-4,2 м. Мощность платиносно-золотоносных прослоев составляет, как правило, около 10 см, достигая 70 см. Промышленные содержания золота и платины колеблются от 533 до 2775 мг/м³ и даже достигают 12,6 г/м³ (примесь платины 15-25%, в среднем 17-22%). Н.К.Высоцкий [6] приводит следующий состав вилуйской платины, %: Pt – 62,9-67,68; Pd – 0,1-1,0; Fe – 7,3-11,69; Rh – 3,2-4,44; Ir – 0,15-4,4; Ru – до 2,32; OsIr – 10,58-12,4; Au – до 2,6; Cu – 0,1-0,4; Ni – до 0,4; песок – до 17%. *То есть платина богата родием, рутением и осмистым иридием.*

Из платиновых минералов в Вилюйской провинции и на северо-восточном склоне Анабарского щита (анабаро-оленекский тип) установлены [64]: железистая платина (в том числе родий-, иридий- и палладийсодержащая), самородная платина, хонгшит, рутениридосмин, иридосмин, ферроплатина, туламинит, осмирид, платосмиридий, платрутениридосмин, иридийсодержащий ругений, осмиридий, платрутеносмиридий, иридийсодержащая платина, самородные иридий и осмий (табл. 48). Преобладает железистая платина в однородных зернах с мельчайшими (менее 3 мкм) включениями сульфидов палладия, платины, меди, никеля, железа. Из таблицы видна определенная близость (родисто-платино-золотой ряд) состава россыпей вилюйского и анабаро-оленекского типов, что однако не свидетельствует об их полной аналогии. Последняя предполагает единство коренного источника, что в данном случае далеко не очевидно.

Размер зерен платиновых минералов обычно не превышает 0,5 мм. Большая (~80%) их часть отмывается во фракции менее 0,16 мм. Максимальное количество относительно крупной платины установлено в средней части Сунтарской петли.

Необычный состав вилюйской платины и отсутствие связи с коренными источниками не позволяют однозначно определить их генезис. Авторы, вслед за Н.К.Высоцким [7], В.Н.Зверевым (1926), считают большую часть этих россыпей связанной с траппами, причем с неконгдоконским троктолит-феррогаббро-долеритовым типом интрузий. Их высокожелезистый состав, приуроченность к ним платиноидных проявлений малосульфидного типа, в которых нередко преобладает платина, делают этот вывод достаточно обоснованным.

Предположение о связи Вилюйских россыпей с проблематичными древними золотоносными конгломератами высказывали Ю.Н.Трушков с соавторами (1975), А.В.Округин и А.А.Ким [64]. Однако последние не исключают также связи вилюйских россыпей с хромититовыми рудами древних расслоенных ультрамафитовых-мафитовых массивов. Близкой точки зрения придерживаются Л.В.Разин и Э.Д.Избсков [37]. *В целом изученность россыпей вилюйского типа представляется авторам совершенно недостаточной.*

Норильский палладийско-платиновый тип связан с разрушением массивов норильско-талнахского типа и так же, как все типы россыпей Северо-Сибирского региона, изучен недостаточно. В 1933-1940 гг. в районе месторождения Норильск-I на руч. Угольном Л.А.Саввой были установлены два незначительных россыпных объекта, один из которых был полностью отработан с получением около 100 кг МПГ, а второй начал разрабатываться в 1994 г. Б.Н.Зимоглядовым (1974), была выявлена шликерная платина в бассейне рек Рыбной и Кета-Ирбо, а также на Талнахе. Состав норильской россыпной платины по Б.Н.Зимоглядову следующий, %: Pt – 46,47, Pd – 12,17, Cu – 2,94, Ni – 1,80, Au – 0,65. Выявлены железистая платина, самородная платина, тетраферроплатина, норильскит, палладийсодержащая платина, станноплатинит, станопалладинит. В.Д.Крюковым и А.В.Тарасовым [9] обоснованы основные факторы формирования в районе платиноносных россыпей:

северные фланги месторождения Норильск-I значительно эродированы; жилы и пологопадающие тела сплошных сульфидных руд северного мыса г. Рудной

Химический состав (в % мас.) разновидностей платиновых минералов из россыпей вилъюского и анабаро-оленьского типов [64]

Минерал	Pt	Ir	Os	Ru	Rh	Pd	Fe	Ni	Cu	Сумма
<i>Вилъюский тип (одноименная провинция)</i>										
Железистая платина	88,86	0,26	0,65	0,11	1,35	0,52	7,01	0,24	0,44	99,44
	80,35	4,39	0,04	0,09	3,24	0,26	9,28	0,36	1,04	99,05
Rh-железистая платина	70,47	0,18	0,49	1,55	12,08	0,78	11,77	0,35	0,78	98,45
Pd-железистая платина	69,55	0,06	0,39	0,77	1,44	10,31	14,10	0,30	1,41	98,33
Ферроплатина (PtFe)	72,39	1,94	0,09	0	2,54	0,18	12,07	4,50	4,62	98,33
Туламнит (Pt ₂ FeCu)	74,52	0,80	0,49	0	0,40	0,18	9,58	1,02	11,94	98,93
Самородная платина	85,32	0,29	0,14	0,97	8,74	0	4,49	0,23	0,05	100,23
Рутениридосмин	4,40	28,39	28,83	33,08	1,93	0,09	0,48	0,10	0,14	97,44
Иридосмин	2,37	34,07	53,58	8,53	0,61	0	0,26	0,08	0,10	99,60
Осмирид	2,62	63,25	29,80	2,88	0,70	0	0,34	0,11	0,18	99,88
Платрутениридосмин	11,59	34,62	35,84	14,39	0,94	0	1,19	0,03	0,11	98,71
Иридитый рутени	4,83	41,40	11,13	35,63	2,92	0	0,26	0,03	0,06	96,26
<i>Анабаро-оленьский тип</i>										
Железистая платина	87,26	1,11	0,15	0,02	1,52	0,15	9,17	0,10	0,85	100,33
Rh-железистая платина	74,72	0,37	0,19	1,86	10,96	0,13	10,90	0,19	1,34	100,66
Pd-железистая платина	65,66	0,19	0,10	0,05	0,95	12,82	15,30	0,20	2,52	97,79
Иридитая платина	61,86	23,63	2,57	5,38	2,23	0,20	4,39	0,28	0,40	100,94
Самородная платина	88,36	2,08	1,54	0,16	2,01	0,08	5,56	0,09	1,06	100,94
Рутениридосмин	1,89	35,94	39,98	21,89	0,05	0,04	0,26	0,08	0,08	100,21
Иридосмин	0,31	25,64	71,72	2,48	0,06	0,15	0,17	0,05	0,06	100,64
Платосмиридий	10,18	62,52	21,34	3,47	1,10	0,19	0,40	0,10	0,73	100,03
Платрутеносмиридий	8,69	54,32	24,73	9,07	0,92	0	0,28	0,06	0,06	98,13

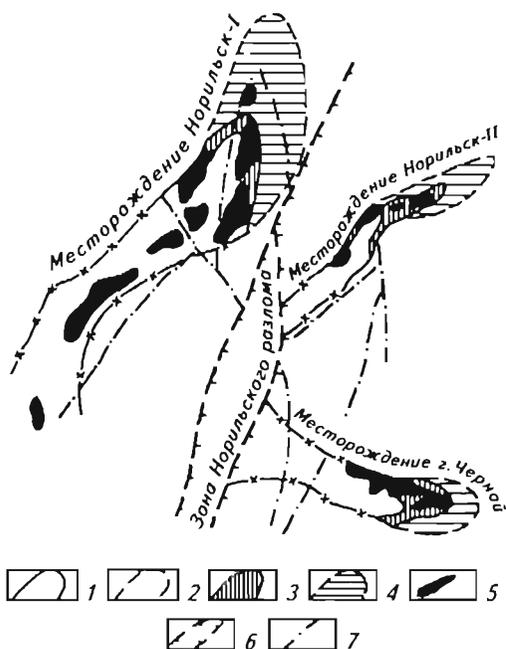


Рис. 46. Палеорекострукции Норильского рудного узла в связи с возможным формированием платиноносных россыпей (по В.Д.Крюкову и А.В.Тарасову, 1991)

1, 2 – контуры платиноносных интрузий, обнажающихся на поверхности (1) и по данным бурения (2); 3 – площади платиноносных горизонтов, вскрытых эрозией; 4 – предполагаемые площади развития платиноносных интрузий в период их формирования; 5 – блоки максимальных концентраций линейных запасов МПГ (схематично); 6 – Норильско-Хараслаховский разлом; 7 – сбросы

содержали уникально высокие (до 1 кг/т и более) концентрации МПГ. Морфоструктурные реконструкции показали внутриконтурность этих залежей (рис. 46) и то, что третья часть современной площади рудных тел срезана эрозией;

эрозия и залегание непосредственно под четвертичными отложениями характерны и для южной части Талнахского, северной части Иманджинского, а также месторождений Норильск-II (примерно четверть), Черногорского (примерно треть), Зуб-Маркшейдерского и слабо рудоносных интрузий Горстрой, оз.Долгого и др.;

единство рудно-магматической системы, объединяющей ранее Норильское и Талнахское рудные поля, позволяющее предполагать значительные объемы платиносодержащих руд и пород, которые “были впоследствии эродированы и переотложены в пределах современных долин” (Крюков, Тарасов, 1971, с.128).

Названные авторы предполагают россыпи МПГ на крыльях рифтогенного Енисей-Хатангского прогиба и в южной части Таймырской складчатой области. Если эти пред-

положения подтвердятся, то не исключена возможность открытия в пределах региона платиноносных россыпей с запасами, сопоставимыми с ранее установленными для Уральской провинции [7] или даже превышающими их.

Открытые Ю.М.Шейнманном россыпи гулинского типа впервые были описаны Г.Г.Лопатиным, Л.А.Лопатиной, Н.Г.Науменко, А.П.Лихачевым (1987), впоследствии – В.Г.Лазаренковым с соавторами [31], А.М.Сазоновым с соавторами [78], О.М.Гриневым и Г.Г.Лопатиным (1992) и К.Н.Маличем (1999).

Россыпи развиты в пределах Гулинского массива по притокам р.Маймечи, ркам Гулэ, Ингарингда, Сабыда, Восточная, а также по руч. Буор-Юрях в Бор-Уряхинском интрузиве. Разрез долин (в среднем течении), заключающих россыпи, следующий (Науменко, 1996): почвенно-растительный слой (мощность 0,1-0,2 м) → делювиально-пролювиальные суглинки со щебнем, дресвой, мелкими

глыбами (0,3 м) → озерно-биогенные илистые суглинки со щебнем, дресвой и торфом (0,1 м) → современные аллювиальные пески, льдистость до 15% (0,7 м) → современные аллювиальные галечные, валунно-галечные, галечно-гравийные отложения, льдистость 10-15% (6,4 м) → верхнечетвертичные аллювиальные галечные, галечно-валунные (до 0,3 м) отложения с прослоями песка мощностью до 2 м, льдистость ~10% (7,9 м). Наиболее продуктивные пласты заключены в песчано-галечниковом глинистом с валунами слос.

Среди платиновых минералов и золота А.М.Сазоновым с соавторами (1994) установлены самородный осмий, иридосмин, рутениридосмин, осмиридий, платосмиридий, изоферроплатина, эрлихманит, лаурит, ирарсит, толовкит, самородное золото, электрум, кюстелит, купроаурум. К.Н.Маличем (1999) выявлена также серия поликомпонентных твердых растворов системы Ru-Os-Ir-Pt-Fe, предельные химические формулы которых – $Pt_{0,53}Ru_{0,18}Fe_{0,16}Os_{0,09}Rh_{0,04}Ir_{0,03}Ni_{0,01}$ и $Ru_{0,32}Pt_{0,25}Os_{0,19}Ir_{0,12}Fe_{0,08}Rh_{0,03}Ni_{0,01}$. Размер зерен платиновых минералов достигает нескольких миллиметров, чаще значительно меньше.

Происхождение россыпи – флювиальное, возможно, флювиогляциальное.

Общие прогнозные ресурсы Р₃ платиноидов и золота в россыпях Гулинского района оцениваются в 20 т (Малич, 1999). При использовании специальных обогатительных модульных установок эти месторождения в принципе могут быть освоены.

Платиносодержащая техногенная формация представлена хвостами обогащения (норильский техногенный тип), пирротиновыми и магнетитовыми концентратами (талнахский техногенный тип).

К первому типу отнесено хвостохранилище № 1 Норильской обогатительной фабрики (НОФ) площадью более 6 км², образовавшееся при переселе руд Норильского и Талнахского месторождений в 1948-1975 гг. и складировании хвостов их обогащения. Результаты их геохимического опробования и бурения трех скважин общей глубиной 32 м позволили изучить закономерности распределения платиновых металлов (рис. 47) в хвостохранилище. Содержание палладия составляет 0,02-5,8 г/т (в среднем 1,2 г/т), платины – 0,02-2,1 (0,14), иридия – до 0,044, родия – 0,01-0,24, рутения и осмия – до 0,05, золота – до 1,4, никеля – до 0,6, меди – до 0,8 г/т. Неоднородность распределения содержания МПГ обусловлена различием их количеств в обрабатываемых рудах, эффектом просадки, рельефом местности и постоянной гидромеханиче-

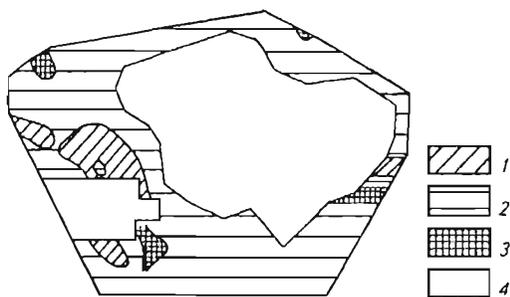


Рис. 47. Распределение суммы содержаний Pt и Pd в Норильском техногенном платиносодержащем месторождении (норильский техногенный тип)

1-3 – сумма содержаний Pt и Pd: 1 – менее 1 г/т, 2 – 1-3 г/т, 3 – менее 3 г/т; 4 – непрообанная площадь месторождения

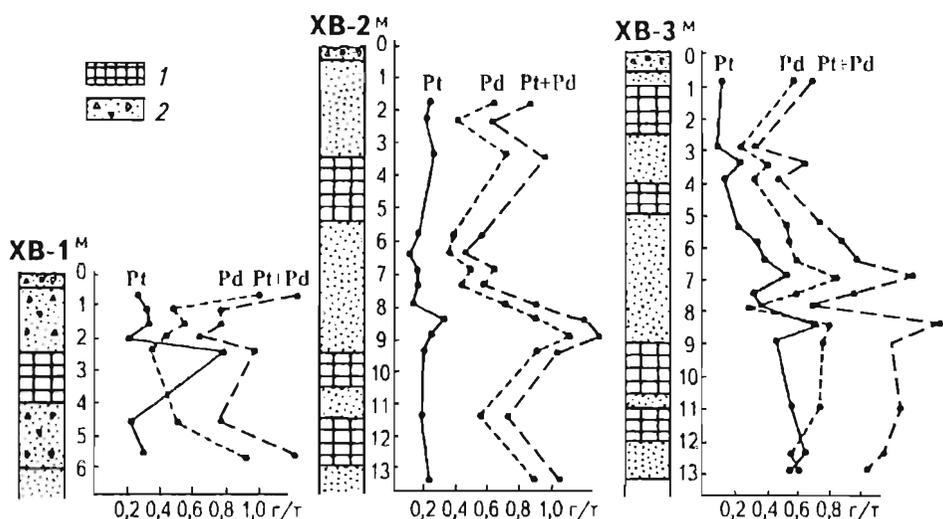


Рис. 48. Распределение содержаний Pt и Pd по разрезам скважин, пробуренных на Норильском техногенном платиносодержащем месторождении отвальных хвостов

1 — кристаллический лед; 2 — намывной грунт

ской переработкой вещества хвостов в бассейне размывающего хвосты руч. Развездочного, а также технологией намыва хвостохранилища и колебаниями дневной поверхности. Наблюдаемое по разрезам скважин (рис. 48) увеличение концентраций платины и палладия с глубиной, четкая приуроченность их наибольших значений к границам кристаллического льда (свособразного плотика) и намывного грунта позволяет говорить о локализации на глубине горизонтов с более высоким количеством МПГ. Абсолютно вероятным представляется и развитие в хвостохранилище зоны таликов с ярко выраженным эффектом просадки и резким повышением (возможно, в десятки раз) концентраций платиновых металлов в придонных частях месторождения. Значительное количество МПГ присутствует в минеральной форме (табл. 49), а основные запасы (87% Pt, 74,8% Pd) сосредоточены в классе — 0,140 мм. Гравитационное обогащение лежалых хвостов позволяет получить отвальные хвосты-II и гравитационный концентрат, содержащий 22,1 г/т Pt; 33,5 Pd, 2,0 г/т Rh, а также 2,07% Ni при извлечении их соответственно 65, 56, 44 и 28% [3, 62]. Проведенные технологические испытания на центробежных сепараторах показали возможность получения из лежалых хвостов платинометалльного концентрата, содержащего МПГ в количестве до 20 кг/т, причем большая часть платиновых металлов сосредоточена, обычно, в немагнитной фракции (табл. 50).

Прогнозные ресурсы P_3 МПГ лежалых хвостов превышают 800 т, полученный платиновый концентрат пригоден для повторного введения в технологическую цепь Норильского комбината. Инвестиции в переработку лежалых хвостов могут дать сотни процентов годовой прибыли. Отработка техногенного сырья с использованием отвальных хвостов в стройиндустрии приведет к улучшению

Средние химические составы минералов благородных металлов (в %) в Норильском техногенном месторождении

Минерал и его кристаллохимическая формула	Количество анализов	Pd	Pt	Fe	Cu	Ni	Sn	Sb	Te	Bi	S	As	Сумма
Тетраферроплатина – PtFe	31	0,71	77,80	15,30	2,76	3,38	-	-	-	-	-	-	99,9
Изоферроплатина – Pt ₃ Fe	8	1,74	87,10	9,98	0,18	0,41	-	-	-	-	-	-	99,4
Паоловит – Pd ₂ Sn	11	60,90	2,88	0,54	-	-	34,38	0,75	-	-	-	-	99,5
Атокит – Pd ₃ Sn	6	41,80	32,30	0,70	0,63	0,27	22,40	1,02	-	-	-	-	99,1
Сперрилит – PtAs ₂	6	54,10	0,92	-	-	-	-	0,12	-	-	0,10	44,1	99,3
Соболевскит – Pd(Bi,Te)	2	34,45	1,15	-	-	-	-	-	1,65	61,8	-	-	99,8
Кабриит – Pd ₂ SnCu	2	48,75	6,00	0,30	14,40	-	27,75	1,80	-	-	-	-	99,0
Мертнит – Pd ₃ Sb ₂	2	69,10	3,85	3,30	21,45	-	-	-	-	-	-	1,2	98,6
Без названия – Pd ₂ Ni ₂ As ₃	1	51,00	-	0,70	-	15,80	-	-	-	-	-	32,5	100,0
Таймырит – (Pd,Cu) ₃ Sn	11	51,20	10,20	0,40	9,40	25,10	1,60	-	-	15,0	-	-	99,5
Брэггит (Pt,Pd)S	1	7,00	77,30	1,70	-	0,90	-	-	-	-	-	0,6	100,9
Нигглиит – PtSn	1	4,60	56,40	1,00	-	-	36,00	1,30	-	-	-	-	99,9
Масловит – (Pt,Pd)(Te,Sn)Bi	1	1,60	34,70	-	-	-	1,10	-	21,70	40,2	-	-	99,3
Урванцевит – Pd(Pb,Bi,As) ₂	1	21,70	-	-	-	-	-	-	-	63,5	-	-	99,8
Рустенбургит – (Pt,Pd) ₃ Sn	1	14,30	63,20	0,60	1,00	0,90	18,00	1,20	-	-	-	-	99,2

Примечания. 1. Состав минералов из коллекции авторов определен Н.С.Рудашевским на приборе CamScan, анализаторе Link-1000 при напряжении 20 кВ и токе 1 мА. Эталоном служили чистые металлы. 2. В состав паоловита, соболевскита, таймырита и урванцевита обнаружен свинец в количествах соответственно 0,1; 0,18; 1,6; 14,6%.

Содержание Pt, Pd, Au и Ag (в г/т) в различных фракциях платиноидного концентрата, полученного из техногенных руд

Концентрат, фракция	Pt	Pd	Au	Ag
Концентрат № 1:	573	134	15,1	44,9
магнитная	732	28	8,9	8,9
электромагнитная	345	145	20,3	60,5
немагнитная	1476	1439	61,0	100,0
Концентрат № 2:	161	42	6,4	9,6
магнитная	190	9,4	4,6	5,6
электромагнитная	163	65	8,9	23,0
немагнитная	275	283	18,3	36,9

Примечание. Анализы выполнены в ЦХЛ Норильского комбината.

экологической обстановки в регионе и Арктике в целом. Это явится началом создания системы рационального природопользования и естественного ресурсосбережения в Норильском промышленном районе.

В районе уже несколько лет ведется отработка ГК “Рутений” современной техногенной россыпи МПГ и золота по р.Щучьей. В ее верховьях находится склад отвальных хвостов Норильской обогатительной фабрики, содержащих 1,7 г/т МПГ и 0,27 г/т Au [81]. Содержание МПГ в россыпи в 2-3 раза больше, чем в хвостах, и достигает иногда десятков грамм на тонну (до 66,65 г/т Pt, 77,81 г/т Pd и 18,56 г/т Au). В россыпи установлены изоферроплатина, тетраферроплатина, таймырит, сперрилит, рустенбургит, атоцит, висоцкит, мертиит, самородное золото и кюстелит; большая часть минералов благородных металлов присутствует во фракции -0,09 мм. Коэффициент извлечения МПГ составляет в среднем 59%, колеблясь от 25 до 67%. За пять лет отработки россыпи из нее получено 186 кг платины, 218 кг палладия, 0,66 кг родия, 0,125 кг рутения, 26 кг золота и 65 кг серебра на сумму 4,5 млн дол. [81].

Талнахский техногенный тип. Разведаны два хранилища пирротиновых концентратов – ПХ-1 площадью 0,4 км² и мощностью 14 м и ПХ-2 с параметрами 1,1 км² и 5,5 м [85]. Запасы пирротинового концентрата в обоих хранилищах составляют более 11 млн т при содержаниях МПГ до 10 г/т и более, Au – до 0,3 г/т, Ag – до 10 г/т, Ni и Cu – до 1-3%, Co – 0,1%.

Платиновые металлы [85] образуют преимущественно (до 68%) собственные минералы: тетраферроплатину, сперрилит, куперит, таймырит, сплавы платины и палладия с оловом, мышьяком, висмутом, свинцом, а также твердые растворы в сульфидах, сульфоарсенидах, арсенидах. По данным [85] для пирротинохранилищ характерно ритмично-слоистое (повышенные содержания МПГ, Au, Ag, Ni, Cu, Co в нижних и пониженные в верхних частях ритмов) и зональное (приуроченность

богатого пирротинового концентрата к бортам и придонным частям хранилищ) строение. Из пирротиновых концентратов МПГ могут быть извлечены с помощью комбинированных методов обогащения и металлургического передела.

Хранилище магнетитовых концентратов образовалось к 1975 г. при переработке на НОФ богатых халькопиритовых руд Талнахского месторождения (Фомичев и др., 2000). В те годы ферроплатина из этих руд по существующей схеме не извлекалась, и количество МПГ в хвостах флотации достигало 26 г/т (Pt:Pd = 1 : 1,2) при содержании кремнезема 10-15%, S – 14-17, Fe – 41-50, Ni – 2,1-2,5, Cu – 1,15-2,0, Co – 0,05-0,09%. В 1999 г. была начата промышленная отработка техногенного месторождения магнетитового концентрата. Причем при лабораторных исследованиях в концентраторах Knelson извлекается до 60% платины, 45% палладия и около 50% золота. Полученный гравитационный концентрат при выходе 0,4% содержит 450 г/т палладия, 550 г/т платины и 85 г/т золота. Измельчение и вторая стадия гравитационного обогащения на концентрационном столе Gemini проводится на НОФ. После этого хвосты второй стадии поступают на медный завод, а конечный вторичный гравитационный концентрат с содержанием 5-7 кг/т благородных металлов направляется на переработку в металлургический цех. По мнению В.Б.Фомичева и др. (2000), внедрение разработанной технологии сделает возможным получение уже в первый год из магнетитовых концентратов до 1200 кг МПГ, до 1500 т никеля и до 1000 т меди.

Дальнейшее развитие Норильской базы платинодобычи может быть достигнуто за счет:

- прироста запасов богатых сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд на флангах и глубоких горизонтах Талнахского и Норильского рудных узлов, прогнозирования поисков и открытия аналогичных объектов на рекомендованных площадях [19, 44, 62-64];

- широкого вовлечения в отработку малосульфидных платинометаллических залежей;

- переработки техногенных месторождений;

- повышения извлечения платиновых металлов из руд путем внедрения наукоемких технологий;

- постепенного увеличения в общем объеме рудной массы вкрапленных и “медистых”, обогащенных платиноидами, руд.

В промышленных рудных полях вероятен прирост запасов богатых руд в отдельных блоках на 5-10%. Следует расширить отработку верхнего платиноносного горизонта на действующем карьере “Медвежий ручей” и предлагаемом нами карьере “Талнах”, для чего составить специальное ТЭО.

Для прогнозирования и поисков глубокозалегавших (до 3 км) богатых руд на ограниченных площадях необходимо выполнить по новой разработанной трехэтапной технологии [19, 21, 63] комплекс геологоразведочных работ, включающий:

- незврявную сейсморазведку и глубинные МТЗ по профилям через 30, 10 и 5 км – 600 км;

пространственно-совмещенные съемки методом заряда (ПСС-МЗ) масштаба 1:200 000 с измерением магнитной составляющей электромагнитного поля кабеля (МПК) – 200 км²;

атмо- и гидро-литоплатиногеохимические съемки по профилям МОГТ – 600 и 1200 проб, сейсмопрофилирование ПМ ВСП – 300 км;

тотальную сейморазведку и специализированные магнитно-теллурические зондирования в поисковом варианте – 100 км²;

структурно-поисковое бурение с геолого-геохимико-геофизическими и минералогическими исследованиями скважин – 90 тыс. м.

Предварительная оценка прогнозных ресурсов МПГ высоких категорий в малосульфидных платинометаллических рудах юго-восточной части Талнахского рудного поля потребует проведения специализированной платиногеохимической съемки масштаба 1 : 5000 по серии мелкоглубинных (до 100 м) скважин на площади 30 км². Разведку Норильского техногенного платинометаллического месторождения следует осуществить путем бурения скважин глубиной до 50 м по сети 100×50 м. Необходимо выполнить достаточно крупномасштабные шлихо-минералого-геохимические поиски россыпей платины в пределах Талнахского, Норильского и Имагдинского рудных узлов на площади 300 км². На проведение всего комплекса предлагаемых работ потребуется 5-7 лет. При его успешной реализации можно рассчитывать на прирост запасов МПГ на 10-15%, что в сегодняшних мировых ценах составляет около 10 млрд дол. В эти же годы следует вернуться к поискам существенно платиноидных руд на перспективных площадях Курейско-Кулюмбинского района и Таймыра.

Южно-Сибирский регион

Охватывает южное орогенное обрамление Северо-Азиатского кратона и некоторые выступы Сибирской платформы, протягиваясь в субширотном направлении от Алтая на западе до западной части Алданского щита на востоке (см. рис. 11). В металлогеническом отношении он совпадает с южной частью Алдано-Североземельского и западной и центральной зонами Амуро-Алтайского поясов; в его пределах выделяются провинции Алтас-Саянская, Енисейского кряжа, Байкальская и западная часть Алдано-Становой. Оригинальной структурой региона является Байкало-Муйский вулканоплутонический пояс [27], протягивающийся более чем на 600 км от западного побережья оз. Байкал до широты рек Бамбуйка и Тулдуць, где он срезается Селенгино-Каларским глубинным разломом. Рассматриваемая структура на севере ограничивается Байкало-Патомским и Кодаро-Удоканским прогибами, выполненными протерозойскими карбонатно-терригенными отложениями. Таким образом, в Северном Прибайкалье тектонически сопряжены два вулканоплутонических пояса: Сармино-Акитканский раннепротерозойский в красной части Сибирской платформы и Байкало-Муйский байкальских складчатых сооружений. Условно в него включены кислые вулканы – скорее всего фор-

мация активной континентальной окраины Баргузинского микроконтинента (Зоненшайн и др., 1990).

В пределах региона устанавливаются [72] три наиболее перспективных в отношении платиноносности области: салаиро-каледонские структуры и докембрийские блоки Алтас-Саянской и Байкальской складчатых областей и протерозойские структуры Алдано-Становой области (рис. 49).

В регионе выявлены месторождения и рудопроявления сульфидной платиноидно-медно-никелевой (печенгский и байкальский типы), малосульфидной платинометаллической (стиллуотерский, или федорово-панский, тип), платиносодержащей ванадий-титаномагнетитовой (чинский тип), нефелиновой (кия-шалтырский тип), полиметаллической черных сланцев и метасоматитов (сухоложский тип), медно-рудной (удоканско-жезказганский тип), золото-железорудной скарновой (алтас-саянский тип), молибден-медно-порфировой (сорский тип), россыпной и техногенной (сибирско-дальневосточный, алтайский и сорский типы) формаций.

Типичным представителем сульфидной платиноидно-медно-никелевой формации байкальского и малосульфидной платинометаллической формации стиллуотерского типов является *Йоко-Довыренское месторождение*, приуроченное к одноименному дунит-троктолит-габбровому массиву [65, 72], расположенному в Северном Забайкалье, протягивающемся на 26 км при ширине выхода ~3,5 км и приуроченному к Сыннырскому рифту. Э.Г.Конниковым и др. (1988) в центральной части массива устанавливаются зоны (снизу вверх): Плагнопериодитовая (мощность ~200 м), Плагiodунитовая (100 м), Дунитовая (870 м), Плагiodунитовая и Троктолитовая (ритмическое переслаивание; 560 м), Троктолитовая и Оливиновых габбро (ритмическое чередование; 430 м), Оливиновых габбро (580 м), Оливиновых габбро-норитов (520 м). Верхние шесть зон образуют расслоенную серию. В нижней зоне – в плагиолерцолитах – закартированы вкрапленные и сплошные руды. Первые прослеживаются на первых сотнях метров при ширине выходов до 80 м. В них установлены помимо никеля, меди и кобальта палладий (до 0,728 г/т), родий (до 0,485 г/т), рутений (до 0,307 г/т), иридий (до 0,025 г/т), золото (до 0,32 г/т), серебро (до 8,44 г/т). Тела массивных руд как бы “вложены” в арсала сульфидной вкрапленности. Наиболее крупная из жил установлена на участке “Озерный” и простирается вдоль подошвы массива на 650 м при мощности 0,7-1,0 м. В этих рудах содержится, г/т: Pd – 3,68; Pt – 0,5; Rh – 0,24; Au – 1,0; Ag – 16; Se – 23; Fe – 14, до 2,1% Ni, 0,64% Cu, 0,1% Co, установлен сперрилит.

Йоко-Довыренское малосульфидное платинометаллическое месторождение (Днстлер, Степин, 1993; Kislov et al., 1993; Kislov, Ovsoev, 1993) рассмотрено авторами [19] ранее и представлено тремя горизонтами: в верхах обогащенной диопсидом дунитовой (0,048 г/т Pt, 0,37 г/т Pd, 0,44 г/т Au) и троктолит-оливин-габбровой (до 10 г/т МПГ и Au) зон, а также в оливин-габбро-норитовой зоне (0,28 г/т Pt, 0,34-0,37 г/т Pd и до 0,44 г/т Au). Второй горизонт, как правило, состоит из линз анортозитов, содержащих гексагональный пирротин, пентландит, халькопирит, кубанит, никелистый пентландит, годлевскит, хизлевудит, талнахит, борнит, халькопирит (в сумме до 7%), а также тетраферроплатину, туламинит, звягнцевит,

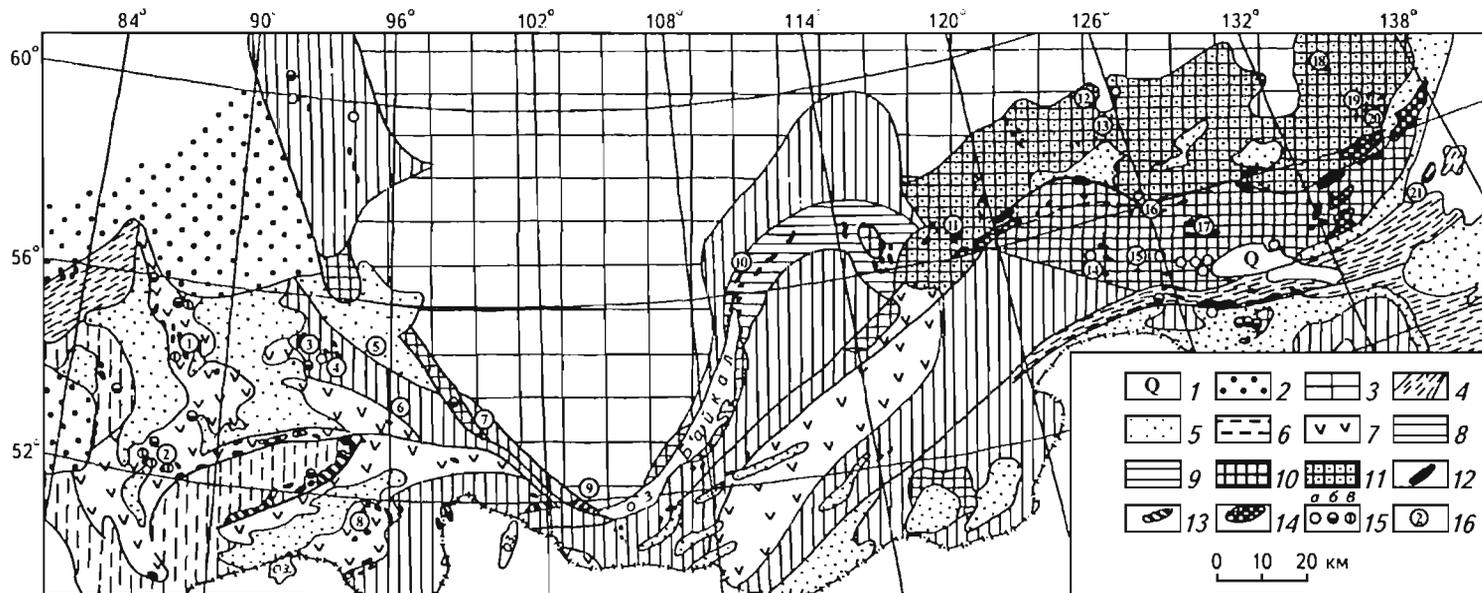


Рис. 49. Схема размещения ультрабазит-базитовых массивов в складчатых структурах Южно-Сибирского и Дальневосточного регионов [72]

1 – четвертичные отложения; 2 – мезо-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты; 3 – чехол Сибирской платформы; 4-11 – складчатые комплексы: 4 – герцинский, 5 – среднепалеозойские и мезозойские комплексы межгорных прогибов, 6 – каледонский, 7 – салаирский, 8 – протерозойский, 9 – протерозойский эвгеосинклинальный Байкало-Муйской зоны, 10 – архейско-нижнепротерозойский, 11 – архейский; 12 – ультрабазит-базитовые массивы; 13 – альпинотипные гипербазиты; 14 – габбро-анортозитовые массивы; 15 – районы проявления различных типов платинометальной минерализации в россыпях: а – сперрилитовой, б – рутениридосминовой, в – ферроплатиновой; 16 – проявления коренной платиновой минерализации в ультрабазит-базитовых массивах (цифры в кружках): 1 – Среднетерсинский, 2 – Аталыкский, 3 – Нижнедербинский, 4 – Аргыджекский, 5 – Кингашский, 6 – Запеевалхинский, 7 – Тактыгойский, 8 – Куртугойский, 9 – Малозадоийский, 10 – Йоко-Довыренский, 11 – Чинейский, 12 – Инагли, 13 – Тасжное месторождение, 14 – Лукинда, 15 – Вселкинский, 16 – Танграк, 17 – Лучанский, Ильдеус, 18 – Кондер, 19 – Сыбах, 20 – Чад, 21 – Феклистов

масленицковит, мончеит. Платиноносный риф прослежен почти на 20 км при мощности около 1 м.

По мнению Э.Г.Конникова и др. [65], повышенные (0,712-0,714) значения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ свидетельствуют о том, что становление массива обусловлено кристаллизацией близкого к коматиту ультрамафитового (до 29% MgO) расплава в глубоких горизонтах неистощенной, частично метасоматизированной магниты.

Типовым является *Среднетерсинское малосульфидное платинотетраэдрическое рудопроявление* [63, 72], приуроченное к одноименному дунит-клинопироксенит-габбровому массиву перидотит-пироксенит-(анортосит)-габбровой формации в байкалидах Кузнецкого Алатау. В его строении принимают участие Душитовая зона (мощность ~1400 м), Верхняя расслоенная серия (дуниты, верлиты, клинопироксениты) и Габбровая зона (~500 м). Платиноносные рифы установлены в дунитах (до 3,7 г/т Pd и 0,5 г/т Pt) и в расслоенной серии (до 2,9 г/т Pt и 0,42 г/т Pd). А.Э.Изохом выявлены различные фазы палладия с сурьмой, мышьяком, медью, теллуром и свинцом, мертиит, палладийсодержащая самородная медь, аурикуприд (до 3,3% Pd), тетрааурикуприд (до 2,7% Pd), а также орселит, хизлевудит, самородная медь, палладистое золото, стибнопалладинит, серия сложных соединений Pd-Ni-As. А.Э.Изох отмечает, что “последние довольно широко распространены... и представляют собой тонкие ламеллы медистой ферроплатины, сперрилит, холлингвортит...” [72, с. 32].

К печенгскому типу нами условно отнесено Кингашское сульфидное платинотетраэдрическое-медно-никелевое месторождение, расположенное в пределах Канского зеленокаменного пояса и приуроченное к одноименному линзовидному массиву (3000×700 м), образованному ультрамафитами – верлитами, дунитами (до 40% MgO), клинопироксенитами, габбро (до 16% CaO и 14-15% Al₂O₃) и кортландитами [25, 65, 72; Шведов и др., 1997]. Выделяются вкрапленные (0,3-1,4% Ni, 0,1-0,7% Cu, 0,005-0,03% Co, ~1 г/т Pd, ~1 г/т Pt, до 3 г/т Au и 20 г/т Ag), массивные (до 10,5% Ni, 8,2% Cu, 0,29% Co, 2,5 г/т Pd, 1,5 г/т Pt, 1,1 г/т Au и 3,7 г/т Ag) и брекчиевидные (до 5,7% Ni, 5,9% Cu, 0,2% Co, 1,5 г/т Pd, 0,5 г/т Pt, 0,61 г/т Au и 3,6 г/т Ag). О.М.Глазуновым, А.Г.Еханиным, Г.И.Шведовым и другими в рудах выявлены соболевскит, мончеит, сперрилит, паоловит, ирарсит, тетраферроплатина, майченерит, фрудит, котульскит, электрум, кюстелит, аурикуприд, тетрааурикуприд, гессит, амальгама золота и серебра. Первым из названных авторов доказана близость отношения Cu/(Cu + Ni) в рудах Кингаша к таковым Печенги и Садберн. *Совершенно очевидны высокие перспективы платино-медь-никеленосности и самого месторождения, и района в целом, ибо возможность открытия новых подобных объектов сомнений не вызывает.*

Генотипом платиносодержащей ванадий-титаномагнетитовой формации является крупное *Чинейское месторождение* [64], тяготеющее к зоне БАМ и связанное с одноименным массивом. В сложении последнего преобладают низко- и высокотитанистые (до 11,0% TiO₂) габбро и габбро-нориты общей мощностью около 3 км. Количество ванадия в высокотитанистых габброндах достигает 1,1%. В западной и юго-восточной частях массива оконтурены Вершинно-Ингамакит-

ское и Верхнечинейское промышленные титаномагнетитовые месторождения. Во вкрапленных рудах первого количество платины достигает 0,15 г/т, а палладия – 0,29 г/т; в массивных рудах второго – соответственно 0,5 и 0,7 г/т. В этом же месторождении развиты и медно-сульфидные руды, содержащие до 0,2 г/т Pt и 2,5 г/т Pd, а в сульфидной фракции количество названных металлов возрастает соответственно до 3 и 10,8 г/т, присутствует также золото (до 3,8 г/т), серебро (до 88 г/т) и родий (0,3 г/т). В этом типе руд Б.И. Гонгальским и Н.А. Криволицкой (1993), Н.Н. Морозовой и В.Д. Бегизовым (1978), Э.Г. Конниковым и др. (1978, 1987) установлены меренскит, майченерит, садберит, фрудит, сперриллит, медистая платина, платина, полларит, потарит, маякит, соболевскит, паоловит, изомергинит, мертнит, стибнопалладинит, фазы Pd-As-Te, Pd-Se, Pd-Ag-Sb и Pd-As-Te, стибнособолевскит. МПГ содержатся также в никелине (0,42% Pt и 0,09% Pd), маухерите (0,41 и 0,41-1,09%) и золото-серебряных сплавах (до 0,3% Pd). Наиболее богаты платиноидами (до 130 г/т) жильные экзоконтактовые руды.

Прогнозные ресурсы P_3 платиновых металлов Чиньского месторождения превышают несколько сотен тонн. Технология, апробированная на месторождениях пудожгорского типа, может быть применена и при отработке рассматриваемого объекта, которая начнется в ближайшее время. При этом совершенно необходимо уже в ТЭО предусмотреть полупное извлечение платиноидов, чтобы они просто напрямую не ушли в отвалы.

Типовым объектом платиносодержащей нефелиновой формации является *Кня-Шалтырское уртитовое месторождение*, на котором работает Ачинский глиноземный комбинат. В нефелиновых сиснитах этого объекта установлено 0,825 г/т Pd и 0,04 г/т Au, в уртитях содержится 0,049 г/т Rh. В полевошпатовых уртитях Горячегорского массива этой же щелочно-габбронидной формации А.М. Сазоновым [11, 51] выявлено 2,9 г/т МПГ, в нефелиновых сиснитах Учкурупского интрузива – 1,8 г/т и березинтах массива Андриюшкиной речки – 0,5 г/т. Главная доля платиноидов приходится на палладий при близких количествах платины и родия. В полевошпатовых уртитях и нефелиновых сиснитах обнаружен родий (4 г/т). Количество сульфидов в породах Кня-Шалтырского массива достигает 10%. В них названным автором обнаружены изоферроплатина, тетраферроплатина, сперриллит, рутениридосмин и ряд минералов золота и серебра – самородное золото, электрум, кюстелит, амальгама золота и серебра, амальгама золота, тетраурикуприд, акашит, агвиларит, гессит, смитит, а также самородные никель, железо и медь. Платина обнаружена в кюстелите (0,5%), галените (0,23%), теннантите (0,34%), пирссите–полибазите (0,7%), палладий – в кюстелите (2,34%), родий – в самородной меди (0,4%). Платиновые металлы устанавливаются и в продуктах обогащения (0,3 г/т Pd, 3,86 г/т Pt, 1,97 г/т Rh в гравиконцентрате; 280-310 г/т МПГ, Au и Ag в некоторых флотоконцентратах) и металлургического передела (11 г/т Pd, 9 г/т Rh, 1,4 г/т Ru в анодном сплаве, 13 г/т Pd и 20 г/т Rh в медистых осадках и 18 г/т Pd и 19 г/т Rh в фильтроосадках). Естественно, неисвлечение МПГ приводит к тому, что они накапливаются в спецотвалах (0,019-0,081 г/т Pd, 0,009-0,027 г/т Pt) и белитовом шламсе (0,055-0,097 г/т Pd, 0,022-0,04 г/т Pt, 0,007-0,013 г/т Rh). Использо-

ванис для аналитического обогащения руд Кия-Шалтыра метода адгезионной флотации в целом дало положительные результаты и позволило сделать вывод о нахождении части благородных металлов в сланцевой составляющей [11]. При переселе руды получают продукты (выход 5-5,5%), содержащие 20-29 г/т МПГ, Au и Ag, при переработке отвалов эти цифры составляют соответственно 3-3,4% и 45 г/т. Переобогащение продуктов приводит к получению концентрата (выход 1,1%), содержащего 99 г/т МПГ, Au и Ag. В коллективном продукте обогащения шламов количество этих металлов при выходе 3,1% составляет 13 г/т. Авторы [11] отмечают, что при начальной массе пробы в 1 т и успешной доводке черновых концентратов из них можно извлечь 20-35% МПГ, 20-25% Au и 30-45% Ag; прогнозные ресурсы R_3 извлекаемых благородных металлов в нефелиновых рудах и бслитовых шламах рассматриваемого объекта составляют приблизительно 150 т платиноидов, около 280 т золота и 290 т серебра; организация попутного производства может привести к ежегодному получению 20 т благородных металлов, что "в значительной мере повысит рентабельность работы предприятия и будет способствовать рационализации использования недр" (с. 214). Авторы настоящей монографии считают, что попутное извлечение благородных металлов на Ачинском глиноземном комбинате переведет его из банкротствующего состояния в высокорентабельное передовое предприятие отрасли.

Характерными объектами сухоложского типа являются месторождения Сухой Лог (золото-платиноидно-углеродисто-сульфидно(\pm теллуридно)-лиственитовая формационная группа, по [28]), Олимпиада (золото-платиноидно-сульфидно-теллуридно-аргиллизитовая) и Зун-Холба (золото-платиноидно-кварц-сульфидно-березитовая формационная группа), относящиеся к платиноидно-золоторудной субформации полиметальной черных сланцев и метасоматитов формации.

Месторождение Сухой Лог [64] приурочено к сложной синклиной структуре в Байкало-Патомском нагорье в пределах Бодайбинского синклинария, образованного среднерифейскими породами баллаганакской, дальнестайгинской и жуинской серий [28, 62-64 и др.], в разрезе которых существенную роль играют углеродистые терригенные и карбонатно-терригенные отложения. Стратифицированные образования возникли при становлении окраинно-континентального перикратонного морского бассейна, обремененного своим заложением субмеридиональному внутриконтинентальному рифтогену. По [28] "зона палеорифта характеризуется пониженной (36 км против 45 км) мощностью земной коры, предполагаемым базитовым составом дорифейского фундамента, широким развитием высокопроводящих коровых горизонтов, в контурах которых и расположены рудные объекты благородных металлов" (с. 129). Рудные тела тяготеют к зоне высокой тектонической напряженности с развитием наиболее обогащенных углеродом пород в ядерной части запрокинутой антиклинальной складки. Зона платиносодержащих руд – интенсивно березитизированных углеродсодержащих пород мощностью 50-250 м с платиноидно-золото-кварцевой минерализацией – охватывает основной золото-рудный, а также надрудный и частично подрудный горизонты [28, 61, 64]. В рудах установлены самородная платина, твердые растворы системы Pt-Fe-Cu и теллуридо-

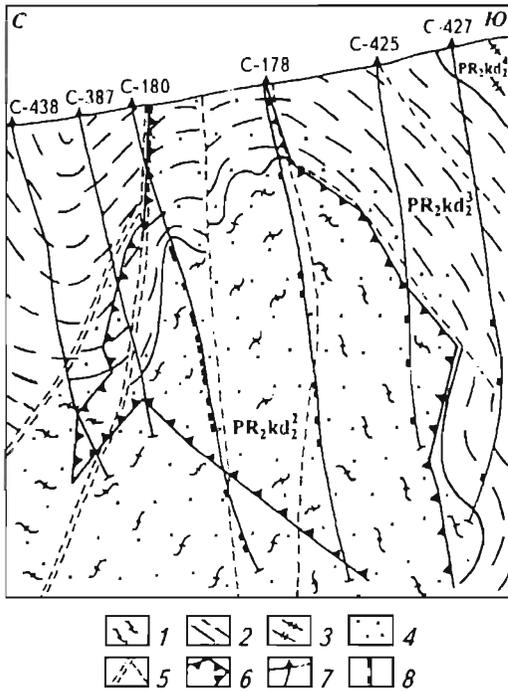


Рис. 50. Геолого-структурный разрез в плоскости золоторудного тела 4 Олимпиадинского месторождения [29]

1-3 – осадочно-метаморфические сланцы (PR₂): 1 – кварц-карбонатно-сланцевые, 2 – кварц-графитовые, 3 – кварц-сланцевые; 4 – метасоматически проработанные породы; 5 – разрывные нарушения и тектонические зоны различных порядков; 6 – контур золоторудного тела; 7 – скважины колонкового бурения; 8 – интервалы опробования с содержанием Pt > 0,1 г/т.

ограничено Татарским и Тырындинским разломами северо-западного направления и приурочено к осложняющей магматогенное сводовое поднятие куполовидной структуре. Само месторождение локализовано в складчато-разрывных структурах северо-восточного простирания в породах среднекординской подсистемы (PR₂kd₂ на рис. 50) и приурочено к горизонту карбонатно-терригенных образований (мощность десятки–первые сотни метров), метаморфизованных в зеленосланцевой фации. Рудовмещающие породы содержат 3-5% углерода [28]. Вкрапленные платиноидно-золотые руды тяготеют к замкам складок, к контакту сланцевой и карбонатной пачек. Они представлены карбонатно-кварц-биотит-хлорит-цоизит-каолинит-гидрослюдистыми метасоматитами (скарны, грейзены, березиты, ариллизиты) с вкрапленностью и прожилками пирротина, арсенопирита, антимонита,

висмутид Pd и Ag, а также вольфрамит, шеелит, монацит, алюмосиликат-фосфат Y, Gd, Dy, теллуриды Au и Ag, Bi и Ag, пирит (пробладевает), самородное золото и целый ряд сульфидов [65]. МПГ в комплексных золото-платиноидных рудах локализуются не только в виде самостоятельных платиновых минералов (0,1-30 мкм), но также в серицит-графитовой массе, в битумоидах, теллуридах, окислах (0,1-9 мкм). Среднесвзвешенное содержание платины колеблется от 0,91 до 1,17 г/т; подрудный горизонт содержит до 1 г/т осмия. *Суммарные прогнозные ресурсы МПГ Сухого Лога сопоставимы с таковыми золота, что позволяет считать рассмотренный объект уникальным золото-платиноидным месторождением.*

Платиносодержащее золоторудное месторождение Олимпиада (рис. 50) находится в пределах центральной части Енисейского кряжа в рифейских кристаллосланцах, прорванных интрузивами гранитоидов и слагающих Центральный антиклинорий рифейской мегасинклинали вблизи рифтогенной структуры. Рассматриваемое рудное поле

сфалерита, золота, шеселита, бертеррита, пирита, халькопирита и другими минералами [28]. Характерной особенностью месторождения является наличие мощной (до 400 м) коры выветривания. В сульфидизированных аргиллизитах и березитах содержится до 24 г/т платины, а в кварц-карбонатно-гидрослюдистых метасоматитах – до 1 г/т палладия [28]. В целом зона платиноидных руд совпадает с таковой золотых, а на флангах и на глубину даже превышает ее.

Месторождение Зун-Холба (рис. 51) локализовано в каледонидах Восточного Саяна и является составной частью Холбинского рудного поля Урик-Китайской золоторудной зоны Гарганского золотоносного района [41], расположенного в северо-восточной части Гарганской архейской глыбы в рамках рифтогенной структуры офиолитового пояса. Оруденение связано со становлением гранитоидов (абсолютный возраст 400-420 млн лет) Холбинского габбро-плагногранитного комплекса. Локализация платиносодержащего золотого оруденения обусловлена наличием купольной рифтогенно-синклинальной зоны. Межкуполюбая синклинальная зона заполнена рудовмещающей сланцево-карбонатной толщей, образованной вулканогенно-терригенными и карбонатными породами ильчирской и монгошнской свит верхнего протерозоя. Ведущими типами руд являются кварц-золото-платиноидно-сульфидный и золото-кварцевый в лиственнитизированных-березитизированных

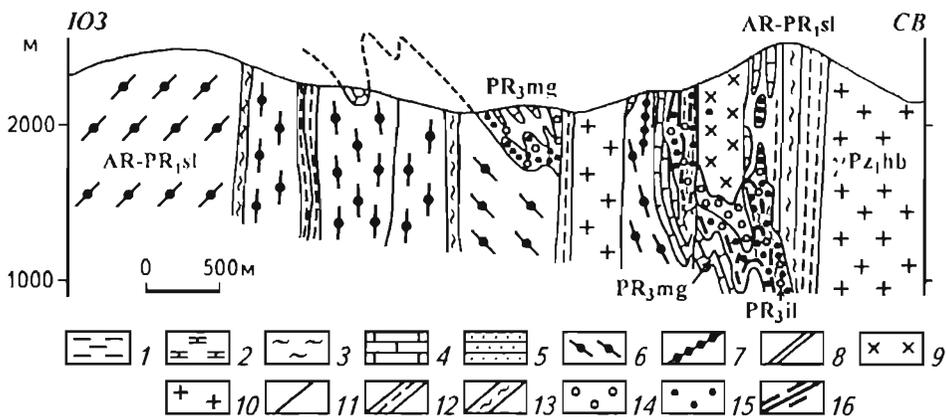


Рис. 51. Геологический разрез через Зун-Холбинское золоторудное поле [29]

Ильчирская свита (PR_{3il}): 1 – черные углисто-кремнисто-карбонатно-глинистые сланцы; 2 – серые, черные мраморизованные известняки с прослоями кварцитсланцев; 3 – зеленовато-серые сланцеватые метазффузивы среднего состава; **монгошнская свита (PR_{3mg}):** 4 – известняки мраморизованные светло-серые, белые мелкозернистые полосчатые; 5 – песчаники; **слюдянская серия (AR-PR_{1sl}):** 6 – хлоритизированные биотитовые гнейсограниты, гнейсогранодиориты, бластокатаклазиты; **зун-холбинский габбро-плагногранитный комплекс (PZ_{1hb}):** 7 – дайки микродиоритов, диабазовых порфиров; 8 – дайки мелкозернистых аплитовидных гранитов; 9 – диориты, гранодиориты биотит-роговообманковые мелкозернистые; 10 – плагнограниты, гранодиориты среднезернистые биотитовые, биотит-роговообманковые; **разрывные нарушения:** 11 – разрывы установленные; 12 – зоны рассланцевания и катаклаза; 13 – зоны дробления и милонитизации; **гидротермально-метасоматические преобразования пород:** 14 – окварцевание; 15 – березитизация-лиственнитизация; 16 – сульфидные, кварцево-сульфидные вкрапленные и жильные руды с золотом и платиноидами

рованных окварцованных углеродисто-кремнистых сланцах, вулканитах и мраморах. Рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, сфалеритом, пирротинном, галенитом, герсдорфитом, арсенопиритом, борнитом, алтаитом, гесситом, петцитом, кубанитом, кюстелитом, козалитом, шесслитом, золотом, серебром, платиной самородной, сперрилитом (0,01-0,3%) [28]. Количество золота в углеродистых сланцах составляет 1-5,7 г/т, а в галените достигает 525 г/т. Максимальные содержание платины (0,01-29,4 г/т) и палладия (до 4 г/т) выявлены в кварц-сульфидно-теллуридных рудах; в кварц-золото-сульфидных рудах установлено до 2,21 г/т Pt и 0,68 г/т Pd, а в коллективной сульфидной фракции – соответственно 27,3 и 0,65 г/т, во флотоконцентрате – 3,87 и 0,017 г/т, в отвальных хвостах – до 0,6 и 0,03 г/т. Э.Г.Конников (1995) считает, что платиновые металлы вынесены из офиолитов.

В северо-восточном Забайкалье в пределах Патомско-Чарского платиноносного района, кроме Сухоложского платино-золоторудного месторождения, установлены рассмотренные Л.Б.Макарьевым отмеченные выше Бульбухтинский, Урага-Холболохский и Сеньский узлы [63]. В первом проявления платины и иридия выявлены в алевролитах и филлитовидных сланцах среднерифейской бугарихтинской свиты с богатой медно-колчеданной минерализацией с повышенными до аномальных содержаниями Au, Ag, As, Cu, Mo и W и тяготеющих к складчато-надвиговой зоне метасоматитах. В рудоносной залежи (мощность около 250 м) локализован платиноносный пласт мощностью около 75 м, содержащий 1,7-2,6 г/т Ir, 1,0-1,8 г/т Pt и до 0,7 г/т Au.

Урага-Холболохскому узлу, охватывающему одноименную раннепротерозойскую грабен-синклинали, присущи среди метаморфизованных карбонатно-терригенных отложений меденосной удоканской серии мощные (до 40 м) пласты платиносодержащих (до 1,55-1,8 г/т Pt) шунгитсодержащих графитовых ($C_{орг}$ до 30%) метаалевролитов и метааргиллитов. Последние насыщены пиритом, халькопиритом, пирротинном, молибденитом и неидентифицированным сульфидом никеля.

Сеньский узел расположен в северо-восточной части Чарского поднятия. Среди остаточной переслаженной коры выветривания (пурпольская свита) и подстилающих раннепротерозойских хлоритизированных, карбонатизированных и сульфидизированных углеродистых пород мощностью 60-85 м Л.Б.Макарьевым [63] околонуено два платиноносных горизонта протяженностью 7,5-10 км. Нижний горизонт – остаточная кора выветривания – содержит 3 г/т Ir на мощность 9 м, а также 10 г/т Pt, 3 г/т Ir и 3 г/т Au на мощность 0,4 м. Верхний горизонт – базальные слои пурпольской свиты – содержит 3,4 г/т Pt и 2,4 г/т Ir. Оба уровня отличаются также несколькими повышенными (до 0,1 г/т) количествами Rh, Ru, Pd.

Типовым месторождением удоканско-жезказганского типа является *Удоканское*, расположенное в Кодаро-Удоканском прогибе западной части Алданского щита. Как известно, в пределах месторождения установлено пять уровней стратиформного медного оруденения: икабийский, читкандинский, александровский, сакуканский и намингинский. Л.Б.Макарьев с соавторами исследовали платиноносность второго-четвертого уровней, содержащих пирит-халькопиритовую вкрап-

ленность. При этом выявлены повышенные содержания палладия (до 3,25 г/т), платины (до 0,05 г/т), серебра (до 675 г/т) и золота (до 3,7 г/т). Мощность отдельных пластов метасоматитов с повышенными содержаниями палладия составляет 0,1-0,5 м при протяженности в десятки метров. Авторы [64] предполагают присутствие самостоятельных минеральных форм палладия или его вхождение в установленные висмут-теллуриды.

Попугное извлечение палладия необходимо предусмотреть в ТЭО отработки Удоканского месторождения, которая неизбежно начнется при планируемом освоении зоны БАМ. Тем более, что Л.Б.Макарьев с соавторами [64] положительно оценивают возможность открытия в пределах региона достаточно масштабных эпигенетических объектов благородных металлов.

Синюхинское золото-железорудное скарповое месторождение [28] может быть рассмотрено в качестве рудотипа одноименной формации (алтае-саянский тип). Оно расположено в пределах Горного Алтая и приурочено к сочленению Катунского салаирского антиклинория и Уйменно-Лебядского герцинского синклинория. Рудное поле сложено вулканитами (лабрадоровые порфириды, туфы с прослоями известняков) и карбонатными породами рифовой постройки размером 1,5×0,8 км при мощности 0,5 км. Рассматриваемые образования прорваны салаирскими плагиогранитами, ордовикско-силурийскими гранодиоритами, кварцевыми диоритами и гранитами, а также верхнедевонскими субщелочными гранитами. Скарны волластонитовые, гиперстеновые и гранатовые образовались на контактах вулканитов и даек с карбонатами. Перекристаллизованные скарны с прожилками магнетита и вкрапленностью гематита и пирита нередко обогащены борнитом, халькопиритом, халькозином с теллуридами, золотом и платиноидами (?). Содержание последних возрастает от магнетитовых (0,007 г/т Pt и 0,023 г/т Pd) к халькопиритовым (0,18 г/т Pt и 0,15 г/т Pd) и борнит-халькозиновым (1,3-7,2 г/т Pt и 5,0-44,0 г/т Pd) рудам. В скарнах содержится 3,2-3,8 г/т Pt и 0,013-0,3 г/т Pd (гематит-магнетитовый палладиево-платиновый минералого-геохимический тип). Количество платины в гравиконцентрате достигает 10 г/т, а во флотоконцентрате – 54 г/т, палладия – соответственно 2 и 40 г/т. В них же содержится повышенное (до 0,17 г/т) количество осмия. Хвосты обогащения концентрируют 0,059-0,69 г/т Pt и 0,016-4,5 г/т Pd. Максимальные содержания платины и палладия отмечаются в рудах со значительной вкрапленностью мелонита [28]. Последний, как известно, образует твердый раствор с меренскимом (Ni,Pt,Pd)(Bi,Te)₂.

Типовыми объектами сорского типа (платиносодержащая молибден-медно-порфировая формация, сульфидный медно-молибденовый минералого-геохимический подтип) являются *Сорское и Жирекенское месторождения*. Первое из них [74] расположено в Бертеневском поднятии Кузнецкого Алатау системы каледонид и тяготеет к центральной части Уйбатской о плутона, прорывающей о рифейские и нижнекембрийские карбонатные отложения. Рудный штокверк приурочен к зоне пересечения тектонических зон широтного и северо-западного простирания и вмещается преимущественно плагиогранитами. Сам штокверк состоит из рудных жил и прожилков мощностью от долей сантиметра до 1 м (преобладает мощ-

ность 5-20 см) и прослежен на глубину до 1000 м. Устанавливаются вкрапленные, вкрапленно-прожилковые и брекчиевидные руды. В них выявлены кварц, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, молибденит, блеклая руда, минералы серебра и золота. Содержание рения в молибдените падает от 100 г/т (верхняя часть штокерка) до 10 г/т на глубинах 800-900 м.

Жирскенское штокерковое месторождение Восточного Забайкалья входит в золото-молибденовый пояс, оконтуренный С.С.Смирновым, и приурочено к апикальной части плутона, сложенного биотит-роговообманковыми гранитами средне-позднеюрского возраста. Широко проявлены дорудная калишлатизация и послерудная аргиллизация. Оруденение тяготеет, как правило, к рядам даек порфириновых пород, обычно не несущих промышленных руд. Среди последних выделяются вкрапленные, прожилковые и брекчиевые (незначительно) руды. В кварцевых жилах и прожилках преобладает молибденит, халькопирит менее распространен. Таким образом, ведущие компоненты (молибден, медь) могут извлекаться попутно.

В молибденитах Сорского месторождения содержание платины достигает 40 мг/т (среднее около 20 мг/т), палладия – до 100 мг/т (около 30 мг/т). В единичных пробах [20] определено по 10 мг/т родия и рутения. Прямые определения осмия отсутствуют. Если предположить, что в молибденитах преобладает ^{187}Os , то с учетом количества рения в молибденитах (среднее 65 г/т) и возраста Сорского месторождения (около 400 млн лет) можно предполагать, что в молибденитах содержится до 0,2 г/т осмия.

Молибдениты Жирскенского месторождения содержат до 300-400 мг/т (среднее 120 мг/т) платины и до 200-300 мг/т (80 мг/т) палладия. Практически во всех проанализированных пробах платина преобладает над палладием. Исходя из вышеприведенных соображений, количество осмия в молибденитовых месторождениях может составлять 2-3 г/т.

Имеющихся данных по содержанию МПГ в молибденитах рассматриваемых месторождений при отмечающихся значительных колебаниях их концентраций недостаточно даже для оценки общих перспектив на платиноиды, а тем более для выявления условий их возможных повышенных скоплений в молибденитах различных генераций и разновидностей. В пользу того, что подобные условия вполне вероятны, указывает, в частности, отмечаемая зависимость содержаний МПГ в молибденитах от формационного типа оруденения, роли глубинного источника, отношения Cu/Mo в рудах, агрегатного состояния в рудоносных растворах и других характеристик. Для решения этих вопросов необходима постановка специализированных исследований с широким привлечением достоверных аналитических данных и увязкой их с генетическими и физико-химическими разработками. В.Гольдшмидтом, К.Петерсом и О.Е.Звягинцевым предполагается, что “в кристаллохимическом отношении сульфиды Re , Pt и Pd образуют смешанные кристаллические структуры и могут входить в кристаллическую решетку молибденового блеска” (Звягинцев, 1936).

Платиноносность колчеданно-полиметаллических (рудно-алтайский тип, сульфидный медно-свинцово-цинковый минералого-геохимический подтип) руд

изучена пока недостаточно. Впервые О.Е.Звягинцевым в полиметаллических рудах Риддер-Сокольного и Филипповского месторождений установлено от 0,1 до 10 г/т платины (чувствительность использованного спектрального метода с предварительным химическим обогащением). Позднее О.Е.Юшко-Захарова [12] с использованием пробирно-спектрального метода в мономинеральных пробах халькопиритов из колчеданно-полиметаллических руд Урала, Кавказа и Рудного Алтая установила только весьма низкие количества палладия и отсутствие платины и родия. С.Т.Баталов и С.Л.Терехович (1966) также пишут о незначительной платиноносности месторождений рассматриваемого типа. Т.С.Тимофеева даже обнаружила платиновые минералы в рудах одного из золото-колчеданных месторождений. А.П.Кривенко с соавторами [12] приводят важнейшие особенности геологического строения месторождений данного типа и содержания в них всех платиновых металлов на основании 2000 элементоопределений. Среди этих особенностей они отмечают:

локализацию оруденения в эвгосинклипальных среднедевонских терригенных и вулканогенно-осадочных образованиях контрастно-дифференцированной базальт-липаритовой формации калинатровой серии; производные субмаринного кислого вулканизма преобладают;

тяготение руд к удаленным фациям базальтоидного вулканизма;

полигенный и полихронный характер оруденения с предположением о важной роли подкорового базитового магматизма в концентрировании цветных, благородных металлов и серы (Смирнов, 1976; Щеглов, 1985);

участие метерных вод (рециклинга) в выщелачивании из боковых пород и последующем переотложении рудных компонентов в субмаринных условиях (Поспелов, Лапухов, 1971; Франклин и др., 1984; Щерба, 1988);

параллелизацию рудоотложения в рудно-алтайских месторождениях с формированием современных металлоносных осадков Красного моря, а также рифтовых зон Восточно-Тихоокеанского поднятия (Щерба, 1988).

Отличия месторождений Березовско-Белоусовского и Лениногорского рудных полей вызваны в первую очередь геотектоническими позициями и степенью динамометаморфизма рудовмещающих пород в Иртышской (Березовское, Иртышское, Ново-Березовское, Орловское месторождения) и Северо-Восточной (Лениногорское, Риддер-Сокольное, Чекмарь) зонах смятия (табл. 51).

Таким образом, несколько более платиноносны свинцово-цинковые и медно-свинцово-цинковые месторождения (Риддер-Сокольное, Иртышское, Белоусовское) относительно медно-цинковых (Ново-Березовское).

Количество МПГ убывает в ряду галенит-халькопирит-сфалерит-барит. В силикатных фракциях определены очень низкие содержания всех МПГ. Не выявлено

* В связи со сложностью проблемы и с тем, что многие рудные колчеданно-полиметаллические поля переходят из России в Казахстан, ниже приводятся все имеющиеся в распоряжении авторов данные.

Пределы колебаний (в мг/т) в штуфных пробах рудно-алтайских колчеданно-полиметаллических месторождений [12]

Месторождение	Количество проб	Pd	Pt	Rh	Ru	Ir	Os
Белоусовское	30	1-53,0	1-47,1	1-16,4	1-31,6	1-16,5	1-2,0
Пртышское	12	1-35,0	1-19,0	1-11,6	1-8,9	1-8,7	1-5,6
Ново-Березовское	12	1-35,0	1-39,5	1-11,6	1-30,0	1-29,0	1-2,0
Риддер-Сокольное	20	1-71,5	1-152,0	He опр.	1-58,7	1-58,6	He опр.

и весьма существенного обогащения платиноидами гравиконцентратов с наличием самородных золота, серебра, меди и висмута. Авторы [12] делают вывод о присутствии МПГ в виде изоморфной примеси в сульфидах. В черновой меди Усть-Каменигорского комбината содержится, г/т: Pt – 0,01; Pd – 0,35; Rh – 0,65; Ru – 0,31 и Ir – 0,38, а в черновом свинце: Pt – 0,005; Pd – 0,15; Rh – 0,003; Ru – 0,004.

На территории Сибири в настоящее время функционируют Алтайский ГОК (Алтайский край, Ново-Золотушинское, Зареченское, Рубцовское, Таловское месторождения), Салаирский рудник (Кемеровская область, месторождения Кварцитовая Сопка и Третий рудник), Ново-Широкинский комбинат (Забайкалье, золото-полиметаллическое месторождение) и Горевский ГОК (Красноярский край, Горевское месторождение). Установленные повышенные содержания МПГ в продуктах последнего объекта [51], а также стабильная платиноносность руд и концентратов Орловского месторождения дают основание рекомендовать опробование на платиноиды руд и различных продуктов обогащения и металлургического передела всех названных колчеданно-полиметаллических месторождений Южной Сибири.

Россыпная платинометалльная формация в регионе представлена тремя ассоциациями – рутениридосминовой, ферроплатиновой и сперрилитовой, наиболее детально изученными А.П.Кривенко (1994) для Алтас-Саянской области. Россыпи последней ассоциации установлены на р.Кувай в Восточном Саяне и реках Гаревка и Ломбанча. А.П.Кривенко считает, что сперрилитсодержащая россыпь р.Кувай связана с габброидным массивом бильчирского комплекса [72]. Рутениридосминовая минеральная ассоциация распространена довольно широко в Западном и Восточном Саяне (реки Золотая, Ко, Большая Бирюса), Енисейском кряже и Кузнецком Алатау и представлена преимущественно гексагональными рутениридосминами и осмиридами, реже рутениридосмином, осмиридом, лауритом, изоферроплатиной, туламином, хонгшитом, эрлихманитом, с единичными зёрнами сперрилита. По А.П.Кривенко устанавливаются россыпи, связанные с хромититами офиолитов (тип А) и близповерхностными хромититами, аналогичными коматинитам (тип Б), и отличающиеся типоморфными признаками сплавов Os-Ir-Ru. Для первого типа эти сплавы характеризуются рутениевым трендом на диаграмме

Os-Ru-(Ir+Pt) и достаточно выдержанным составом фаз при $K_{pRu} > 1$ между их гексагональными и кубическими представителями; лаурит и эрлихманит дают самостоятельные зерна. Второй тип отличается отсутствием упомянутого тренда, величиной $K_{pRu} < 1$ и наличием названных минералов только в виде многофазных включений. Е.Н.Алтухов [64], рассматривая золото-рутениидосминовые россыпи бассейна р.Большой Бирюсы (центральная часть Восточного Саяна), считает, что их источниками могли являться, кроме ультраосновных пород, также платино-содержащие черносланцевые комплексы и метаморфизованные базальтоиды.

Аллохтонные россыпи с преобладающей ферроплатиновой ассоциацией установлены достоверно в регионе только в Кузнецком Алатау и существенно отличаются пресвалированием Pt-Fe сплавов над другими платиновыми минералами [72], близки к аллювиальной россыпи р.Дюранс во Франции и, скорее всего, являются продуцентами дунит-клинопироксенит-габбровых массивов уральского (корякского) типа. Этот предполагаемый источник, по мнению А.П.Кривенко (1994), отличают:

наличие, кроме Pt₃Fe, сплавов Pt-Fe, нередко преобладающих над первыми;

в последнем типе сплавов наряду с другими МПГ и Cu чаще других встречаются иридий и родий, что особенно характерно для названных источников;

в Pt-Fe сплавы оказываются включенными и осмиево-иридиево-рутениевые твердые растворы, имеющие, в отличие от вышеописанной рутениидосминовой ассоциации, осмиевый тренд;

присутствие сульфидных включений с преобладанием среди МПГ родия говорит о значительной летучести среды при их образовании.

Промышленная значимость рассмотренных россыпей требует дополнительного исследования. Приведенные Е.Н.Алтуховым данные о наличии в аллювии верховий р.Большой Бирюсы значительных (~100 т) ресурсов Р₃ МПГ [64], по нашему мнению, нуждаются в проверке. *Однако то, что эти россыпи наиболее значимые в регионе, по мнению авторов, соответствует истине.* Импопирует и предложение Е.Н.Алтухова о необходимости комплексной отработки россыпей Тофаларии, включающих извлечение также тонкого и мелкого золота, а кроме того, скандиевосодержащего магнетита.

Представителем платиносодержащих золоторудных кор выветривания является Олимпиадинское месторождение. Площадь их достигает примерно 45 тыс. м² при мощности в несколько сот метров. В корах, кроме монтмориллонита и гидрослюд, установлены также гидроксиды железа, марганца, мышьяка и сурьмы, кварц, полевые шпаты, мусковит и самородное золото. Из руд с содержанием 7,4 г/т Au выделены гравиконцентраты, в которых выявлено 1,4-1,6 г/т Pd и 2,6-4,4 г/т Ir [19, 51].

По мнению авторов, значительными ресурсами платиновых металлов характеризуются *хвостотвалы отработываемых полиметаллических, медно-мо-*

* K_{pRu} – коэффициент распределения Ru.

либденовых и золоторудных месторождений, в том числе уникальных россыпей Бодайбинского района.

Создание Южно-Сибирской базы платинодобычи возможно за счет:

освоения Кингашского и подобных ему месторождений;

отработки с попутным извлечением платиновых металлов Сухоложского платиноидно-золоторудного месторождения;

извлечения МПГ в качестве попутного компонента из алюминиевых, железорудных, полиметаллических, медно-молибденовых и золоторудных месторождений, а также россыпей Алтас-Саянской области и накопленных огромных хвостотвалов вышеупомянутых объектов.

Первоочередными мероприятиями, обеспечивающими создание такой базы, являются разработка технологий извлечения МПГ из платиносодержащих золоторудных месторождений в черносланцевых комплексах и других объектов. Сделать это крайне необходимо. Вот только один факт, свидетельствующий о такой необходимости. В гравиконцентрате Горевского ГОКа установлены [51] платина (7 г/т), палладий (3,1 г/т) и родий (0,7 г/т). А ежегодно, начиная с 1997 г., 10 000 т концентрата этого ГОКа поставляется на экспорт, т. е. каждый год из России уходит ~70 кг платины, 30 кг палладия и 7 кг родия на общую сумму (в ценах на 10.04.2001 г.) более 2 млн дол. Может быть содержания, приводимые А.М.Сазоновым и др. [51], завышены или вообще ошибочны, но эти данные не могут не настораживать. Нельзя допустить также и того, что содержания платиновых металлов в большом количестве техногенных месторождений Южной Сибири вообще не известны. Очевидно, что исследование платиноносности этих объектов должно стать первоочередной задачей многочисленных акционерных компаний и обществ, владеющих в настоящее время горно-обоганительными комбинатами Южной Сибири.

Дальневосточный регион

Дальневосточный регион охватывает значительную часть территории нашей страны (120-146° восточной долготы) от рек Лены и Индигирки на западе до Тихого океана на востоке и от р. Усури на юге до Северного Ледовитого океана на севере. В металлогеническом плане это – Дальневосточный и восточные части Арктического, Алдано-Североземельского и Амуро-Алтайского платиноносных поясов.

Регион сложен разновозрастными образованиями (архей-кайнозой), образующими древние жесткие массивы, фанерозойские складчатые структуры, мезозойско-кайнозойские вулканогенные пояса и цепи. Принадлежность региона в целом к Тихоокеанскому сегменту нашей планеты определяет развитие здесь океанических, окраинно-океанических, окраинно-континентальных и континентальных комплексов пород.

По геолого-металлогеническим особенностям платиноносности в регионе выделяются Алдано-Приморский, Корьякско-Камчатский и Северо-Восточный районы.

Алдано-Приморский район

В рассматриваемой части региона устанавливаются наиболее древние (в регионе) комплексы пород при преимущественном распространении разломов и линейamentов широтного и северо-восточного направлений. Они тесно связаны с развитыми по южной границе Сибирской и северо-восточной Китайской платформамидолгоживущими зонами тектогенеза (Жирнов, 2000).

В Алдано-Приморском районе выделяются три платиноносные металлогенические провинции: Алдано-Становая, Приморско-Амурская и Сахалинская. Последняя провинция находится в пределах субмеридионального Дальневосточного (часть Тихоокеанского планетарного) пояса. Приморско-Амурская провинция находится на пересечении субширотного Амура-Алтайского пояса с Дальневосточным; Алдано-Становая – на пересечении Амура-Алтайского и Алдано-Североземельского металлогенических поясов. В.Г.Моиссенко и др. [49] в последнее время выделяется весьма перспективная в отношении платиноносности Приамурская ветвь Амура-Алтайского пояса (рис. 52), совпадающая с Приморско-Амурской провинцией в нашем понимании [64].

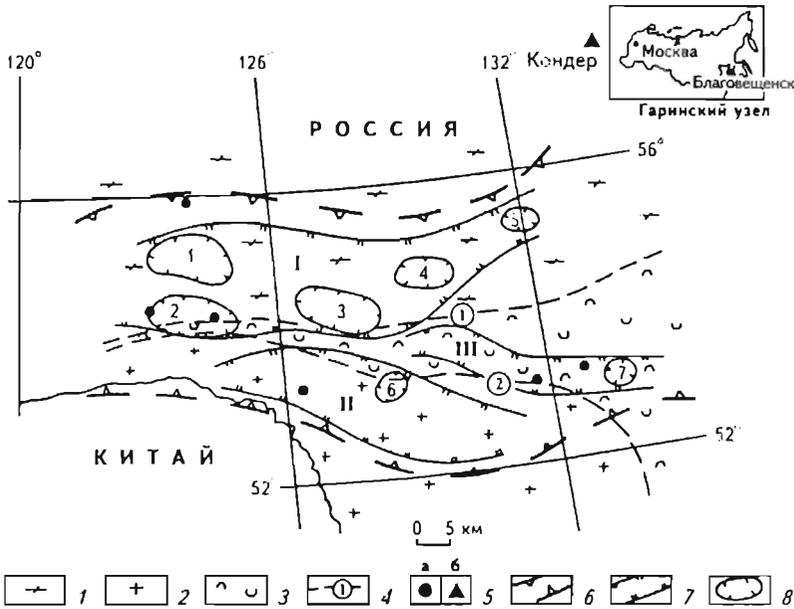


Рис. 52. Платиноносность Верхнего Приморья [49]

I – Становая складчато-блоковая система; 2 – Бурейский срединный массив; 3 – Амуро-Охотская геосинклинально-складчатая система; 4 – границы геоблоков, представленные глубинными разломами (шифры в кружках): 1 – Монголо-Охотский, 2 – Южно-Тукурингрский; 5 – месторождения: а – золота, б – платины; 6 – граница Приамурской ветви Алтае-Амурского платиноносного пояса; 7 – границы платиноносных металлогенических зон: I – Дамбукино-Тындинская, II – Северо-Бурейская, III – Джагды-Селемджинская; 8 – границы потенциально платиноносных рудно-россыпных узлов: 1 – Лукниндинский, 2 – Соловьёвский, 3 – Дамбукинский, 4 – Сугджарский, 5 – Верхнемайский, 6 – Гаринский, 7 – Златоустовский

В **Алдан-Становой провинции** широкое развитие и повышенный интерес представляют массивы дунит-клинопироксенит-габбровой щелочной формации. От интрузивов нижнестагильского (уральского) типа они отличаются тем, что в них выявлены щелочные или (и) субщелочные породы, слагающие оторочки, жилы, шпирсы, дайки. С этими телами, а также с флогопитовыми, апатитовыми и другими метасоматитами ассоциированы крупные иридиево-платиносодержащие хромитовые россыпные месторождения и коренные проявления алданского типа.

Дунит-клинопироксенит-габбровые интрузивы алданского типа развиты на платформах (Кондер, Инагли, Чад, Сыбах и др.) и в эвгеосинклиналях (Феклистовский и др.) и рассмотрены в ряде фундаментальных трудов И.С.Рожкова, Л.В.Разина и др. [60], Л.И.Красного (1960), И.Я.Несрасова и др. [59, 62-65], Г.В.Андреева (1987), Р.А.Октябрьского и др. (1992), В.Г.Лазаренкова и др. (1994, 1996), М.П.Орловой (1991), В.И.Остапчука (1989), В.С.Приходько, Г.П.Пономарева, А.А.Степаншко (1988, 1990, 1994), А.М.Корчагина (1996) и других.

Наиболее ярким представителем является массив Кондер (рис. 53), расположенный в восточной части Алданского щита в пределах Становой складчато-блоковой системы (см. рис. 50). Породы архея и рифея, имеющие мощность около 400 м, прорваны мезозойскими интрузиями. Кондерский интрузив имеет площадь около 40 км². Его ядро диаметром около 5,5 км образовано прорванными дайками косяков хромитсодержащими дунитами и окаймлено перидотитами, клинопироксенитами и щелочными породами, слагающими зоны мощностью ~0,5 км и протяженностью первые километры. При контактовом метаморфизме и метасоматозе образовывались магнетитизированные порфиридные дуниты, оливин-диопсидовые, полевошпатовые, эгирин-диопсидовые метасоматиты, везувиановые, скаполитовые, диопсидовые скарны с гранатом, перовскитом, гумитом, титаномагнетит-биотит-амфибол-клинопироксенитовые метасоматиты (Залищак, 1997). Последние имеют форму штокверка. Метасоматиты представляют собой густую проникающую в различные части дунитового штока сетку, разрушившую в свое время сам шток и ставшую одной из главных причин становления россыпи.

Инаглинский массив расположен в верховьях р.Инагли – правого притока р.Алдан [60]. По материалам [19, 60] он имеет близкую к изометрической форму, строение – концентрически-зональное, площадь ~25 км², в том числе дунитовое ядро с вкрапленностью хромшпинелидов имеет площадь около 15 км². Ядро окружено щелочными породами (шонкинитами, малахитами, ийолитами и мельтейгитами) мощностью ~500 м, а также силлами граносиенитов, сиенит-порфиритов, сиенит-диоритов. Дуниты, верлиты и клинопироксениты образовались в средней юре, щелочные габброиды и сиениты – в позднеюрское–раннемеловое время, сиенит-порфиры – в раннемеловое [19, 60]. А.А.Глаголев, А.М.Корчагин и А.Г.Харченко (1974) считают, что дуниты являются протерозойскими образованиями. Названные авторы приводят для щелочных пород Инаглинского массива данные по радиологическому возрасту – 105-158 млн лет и предполагают, что его формирование было трехфазным: первая – дуниты, вторая – щелочные габброиды, третья – пуласкиты и их пегматоиды.

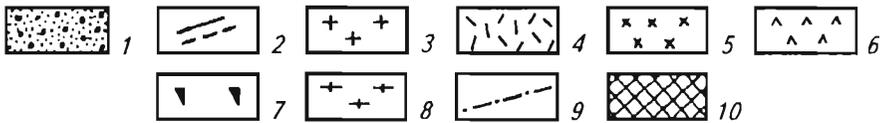
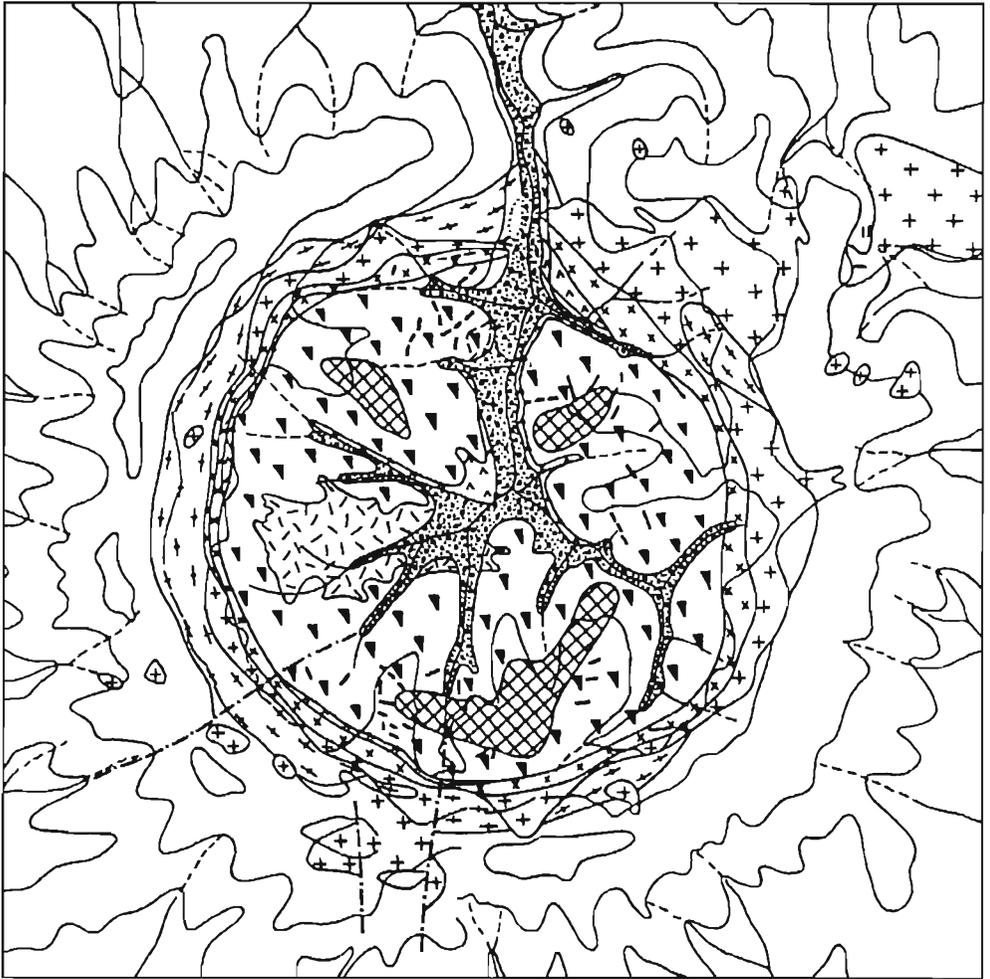


Рис 53. Схема строения массива Кондер и связанного с ним россыпного месторождения алданского типа [60]

1 – платиноносная россыпь; 2 – щелочные сиснит-пегматиты; 3 – диориты; 4 – биотит-пироксеновые породы (ослюденелые пироксениты); 5 – пироксениты; 6 – перидотиты; 7 – дуниты; 8 – доксмбрийские гнейсы, кристаллические сланцы; 9 – дизъюнктивные нарушения; 10 – площади богатых хромитом дунитов

Чадский, Сыбахский и Феклистовский массивы подробно рассмотрены авторами ранее [19].

Хромшпинелиды из дунитов и оливиновых клинопироксенитов представлены субферри- и субальюмоферрихромитами, хроммагнетитами, субальюмохроммагнетитами и хромсодержащими хроммагнетитами.

В Центрально-Алданском рудном районе развиты и отрабатываются более 70 лет многочисленные золотые россыпи и рудные месторождения золота. В одном из продуцентов россыпного золота, Рябиновом многофазном кольцевом щелочном массиве (рис. 54) мезозойского возраста, было выявлено прожилково-

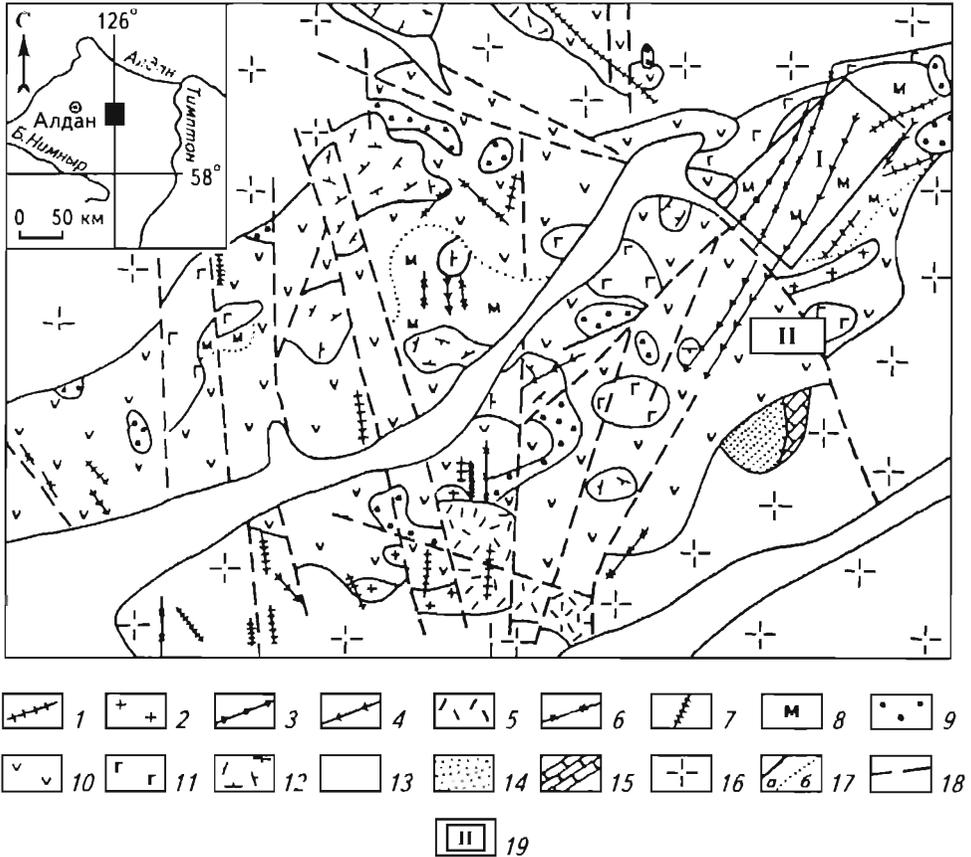


Рис. 54. Местонахождение и схема геологического строения Рябинового щелочного массива (по А.Я.Кочеткову, В.Н.Пахомову, А.Б.Попову (1989))

1 - грорудиты и сельвербергиты; 2 - щелочные граниты; 3 - калиевые пикриты; 4 - щелочные минститы; 5 - лавобрекчии щелочных трахитов; 6 - сиенит-порфиры; 7 - щелочные аплиты; 8 - мусковитизированные сиениты и мусковит-микроклиновые метасоматиты; 9 - скарны и скарноиды; 10 - эгириновые сиениты и лаурвикиты, пуласкиты; 11 - малиниты и меланократовые нефелиновые сиениты; 12 - щелочные трахиты; 13 - аллювий; 14 - юрские песчаники; 15 - венд-кембрийские доломиты; 16 - архейские граниты и гранитогнейсы; 17 - контакты интрузивных (а) и метасоматических (б) пород; 18 - разрывные нарушения; 19 - золоторудные участки: I - Мусковитовый, II - Новый

вкрапленное золото-сульфидное оруденение, содержащее МПГ. Подобные массивы характерны для геодинамических обстановок активной континентальной окраины и рифтогенеза, которые возникли в данном районе в ходе коллизионного взаимодействия в мезозое Алдано-Становой плиты и Монголо-Охотского складчатого пояса.

Рябиновый многофазный щелочной массив [73] имеет сложное близкое к кольцевому строение. Он сложен, по данным А.Н.Угрюмова, Г.П.Дворника (1984), А.Я.Кочеткова и др. (1989), более чем 25 разновидностями интрузивных, вулканических и метасоматических пород. Общей особенностью пород массива является повышенная щелочность при ярко выраженной калиевой специализации. В пределах Рябинового щелочного массива выделено несколько участков с молибденовым, медным и золотым оруденением с повышенными содержаниями серебра, свинца, цинка, висмута и теллура. Промышленные рудные тела обычно обладают сравнительно низкими и равномерно распределенными содержаниями металлов. В настоящее время обрабатываются золотоносные сульфидные рудные тела участков Мусковитовый и Новый [73].

Приморско-Амурская провинция занимает территорию хребта Сихотэ-Алинь и прилегающие территории западного Приморья и юга Хабаровского края. Вдоль западной окраины Ханкайского массива располагаются массивы кортландит-норитовой формации. Эта глубинная формация является специфической для мобильной зоны перехода Тихий океан—Азиатский континент [105]. Такие платиносно-никеленосные кортландит-норитовые массивы, выделяемые в шанучский тип, залегают в богатых серой и органикой породах. В красных частях Ханкайского Среднего кристаллического массива породы рассматриваемой формации приурочены к выходам погран-петровской черносланцевой свиты. В разрезе ее отсутствуют вулканы, а осадки обогащены серой и органикой. Массивы сопровождаются плутонами плагиогранитов с ореолами графит-гранатовых роговиков, а, иногда, метаморфизованных гнейсов. В Приморье интрузии кортландит-норитовой формации в виде мелких штокообразных тел кортландитов или дифференцированных от амфиболовых дунитов в ядре до клинопироксенитов и амфиболовых габбро массивов развиты на разделе рек Одноречье—М.Пойма, в верховьях р.Пояма, на п-ове Сулова, в Пограничном районе. Ультрамафиты содержатщую сульфидную медно-никелевую минерализацию.

С северо-запада Ханкайского массива (Бикинская зона) и вдоль всего Сихотэ-Алиня, а также в юго-восточном Приморье располагаются отдельные выходы щелочной дунит-клинопироксенит-габбровой формации. Эти массивы верхне-среднеюрского возраста подразделяются на два типа: дифференцированные от дунитов до клинопироксенитов и габбро со щелочными фазами и клинопироксенит-верлитовые с линзами дунитов [64]. Первые располагаются, главным образом, вблизи Ханкайского массива и аналогичны массивам алданского типа, развитым в Алдано-Становой провинции, но имеют удлиненную форму. Залегающие в черных сланцах такие массивы (Ариаднинский, Тигровый и др.) имеют богатую ильменитовую вкрапленность. Массивы, располагающиеся в вулканиках и кремни-

стых породах, несут магнетитовое оруденение (Кокшаровский). Платиноносность подобных массивов вполне вероятна.

В западном Приморье известны дунит-клинопироксенит-габбровые массивы уральского типа с хромит-магнетитовым оруденением. Они пространственно совмещены с одновозрастными кортландит-норитовыми массивами, которые несут сульфидную медно-никелевую минерализацию.

В Амурской части провинции наблюдаются золотые россыпи с МПГ. Источником платиноидов, скорее всего, являются редкие массивы дунит-клинопироксенит-габбровой формации небольшого размера: Усть-Депский, Лукинда и др. Также здесь располагаются перспективные в отношении платиноносности черносланцевые толщи. Эти объекты как возможные продуценты платиновых проявлений и месторождений нуждаются в кратком рассмотрении. Лукиндинский массив относится к дунит-троктолит-габбровой формации. С 1958 г. в пределах массива проводились поиски хромитовых и медно-никелевых руд. На участке "Сульфидный" С.А.Щекой (1968) в одном из аншлифов были описаны вросстки платиноидов. Несколько повышенные содержания платины были установлены в сульфидизированных троктолитах и анортозитах (до 0,046 г/т Pt и 0,035 г/т Pd) и в монофракции рассеянного хромита (до 0,45 г/т Pt и 0,033 г/т Pd).

Установлена также платиноносность Вesselкинского (верхнеархейского-раннепротерозойского) лерцолит-вобстерит-габбро-норитового массива, залегающего в докембрийских комплексах Становой складчато-блоковой системы (см. рис. 49). Атомно-абсорбционным анализом в оливин-хромитовых рудах установлено до 1,29 г/т Pd и 0,45 г/т Pt [72].

Возможной платиноносности черносланцевых толщ региона посвящен ряд работ В.Г.Моисеенко, Л.Я.Шмураевой (1996, 1998), Л.И.Гурской с соавторами (1998) и других. Последними [64] рассмотрена платиноносность углеродистых толщ Сетте-Дабана, при этом выделяются иридиевый среднерифейский, иридиево-платиновый (1,5 г/т Ir, 0,7 г/т Pt) верхнерифейский и платино-палладиевый кембрийский углеродсодержащие уровни. И хотя выявленные содержания МПГ не превышают 2-2,5 г/т, они распространены на площади в десятки квадратных километров с тяготением их максимумов к Бурхалинскому глубинному разлому.

В пределах Буреинского массива (Гурская и др., 1988) установили повышенные (до 10 г/т и более) количества МПГ в рифей-кембрийских черных сланцах Кимканского прогиба и Мельгинского блока. Мощность платиноносных углеродистых ($C_{орг}$ до 31,5%) сланцев составляет 2-5 м, протяженность по простиранию – значительная.

Л.Я.Шмураевой (1998) перспективы на платиноиды известного Селенджинского золоторудного района, как и всего Монголо-Охотского складчатого пояса в обрамлении Буреинского массива, оцениваются высоко на основании весьма значительного сходства его золотоносных образований с таковыми Узбекистана, Восточной Сибири, Карелии. Важнейшим признаком служит установленное ранее В.Г.Моисеенко (1979) высокое (до 500 г/т) содержание МПГ в золоте.

В.Г.Моисесенко и Л.Я.Шмураева (1998) в верхнем Приамурье прогнозируют промышленное платинометальное оруденение в расслоенных базитовых массивах докембрия (Лукиндинский, Веселкинский, Генгурак-Сергачинский и др., в офиолитовых комплексах докембрия (Депско-Гарьский массив) и палеозоя (?) (Пиканская группа интрузий) и в черносланцевых флишоидных толщах докембрия и палеозоя. Названные авторы обращают внимание также на сопутствующую платиноносность золоторудных, медно-молибденовых, колчеданно-полиметаллических месторождений и золотоносных россыпей с примесью платины и палладия в золоте и собственными минеральными формами МПГ. Особое внимание обращается на Дамбукинский блок Становой области, в котором минимально проявлена палеозойская активизация, что позволяет выявить важнейшие закономерности размещения докембрийских платиноносных объектов.

В Сахалинской провинции выделяются дунит-гарцбургитовые, троктолит-норитовые и щелочные дунит-клинопироксенит-габбровые массивы. Массивы дунит-гарцбургитовой формации позднепалеозойского возраста залегают в мезозойских вулканогенных толщах. Вулканиты представлены океаническими толщами, превращенными в амфиболиты и спилиты (Семенов, 1982). Эти массивы относятся к альпийскому типу, сложены они серпентинизированными дунитами, гарцбургитами и лерцолитами. С гипербазитами связаны рутениридосминовые россыпи альпийского типа.

На Тонино-Анивском п-ове и в Сусунайском хребте в толщах, по составу и возрасту подобных приморским, выявлены щелочные дунит-клинопироксенит-габбровые массивы, представленные мелкими телами магнетитовых верлитов и клинопироксенитов (з.Сокол).

На п-ове Шмидта и в Восточно-Сахалинских горах (р.Набиль) распространены кортландит-норитовые массивы мезозойского возраста. В первом районе размеры таких ритмично-расслоенных массивов дунит-гарцбургитового состава составляют 20 × (1-3) км (Левенштерновский массив). Дунитовые линзы и слои обогащены хромом; габброиды редки. В Восточно-Сахалинских горах массивы формации представлены мелкими (5-10 км²) пластинообразными телами (Березовский, Песковский, Комсомольский и др.). В них преобладают ортопироксениты, гарцбургиты, вебстериты, нориты, тонко переслаивающиеся с оливиновыми и лейкократовыми разностями. С этой формацией ассоциированы россыпи уральского (корякского) типа.

Таким образом, платиноносный потенциал Алдано-Приморского района представлен в основном россыпными объектами алданского, уральского и альпийского типов с соответствующими коренными проявлениями. Россыпи алданского типа имеют иридиево-платиносодержащую специализацию. Они связаны с щелочными зональными дунит-клинопироксенит-габбровыми массивами и будут более подробно рассмотрены ниже на примере россыпного месторождения массива алданского типа – Кондерского. Дунит-клинопироксенит-габбровые массивы толсового ряда, относимые к уральскому типу, являются продуцентами россыпей существенно платиновой специализации. Россыпи альпийского типа ассоцииру-

ются с массивами альпинотипных гипербазитов дунит-гарцбургитовой формации и несут (платино)-иридий-осмиевую минерализацию.

В Приморье россыпи платиноидов обрабатывались в 1919-1922 гг. и намываются в настоящее время при старательской отработке золота. Наиболее перспективные объекты расположены в Ханкайско-Гродековской зоне (рски Фадсевка, Гладкая, Адими и др.). В большинстве своем россыпи относятся к алданскому типу. Платиноиды представлены железистой платиной и осмиридами.

В Сахалинской провинции золотые россыпи п-ова Шмидта, Восточно-Сахалинских гор, Сусунайского хребта и Тонино-Анивского п-ова содержат в основном МПГ осмиридиевой группы, а в Пионерско-Шельтингской зоне офиолитов Восточно-Сахалинских гор преобладающей является платиновая группа. В последней зоне в россыпях преобладает платина и поликсен, осмистый иридий встречается редко. Россыпи приурочены к участкам долин, перессекающих зональные тела дунитов, гарцбургитов, норитов, вестеритов, ортопироксенитов и габбро, относимых к дунит-клинопироксенит-габбровой формации. В россыпях Рукутамо-Армуданского пояса на Среднем Сахалине наиболее часто встречается осмистый иридий, реже – поликсен, иридосмин и палладистая платина. Эти россыпи приурочены к пересечениям долин с телами дунит-гарцбургитовой формации.

Наибольший интерес, как уже упоминалось, представляют россыпные иридио-платиносодержащие месторождения алданского типа. Коренные рудопроявления МПГ в дунитах и хромититах установлены в Кондерском, Инаглинском, Феклистовском и ряде других массивов [10, 19, 60, 70]. По данным Л.В.Разина [75], число платиноносных сегрегаций хромшпинелидов постепенно возрастает при увеличении глубинного среза, причем содержание платиноидов в них может достигать 70 г/т, в том числе до 7 г/т Ru и 2 г/т Os; средние содержания весьма низки, г/т: Pt – 0,02-0,417, Pd – 0,012-0,055, Rh – 0,002-0,008. Они представлены, как правило, собственными минералами: изоферроплатиной, иридийской платиной, платинистым иридием, осмиридием, иридосмином, куперитом, лауритом, в том числе осмиевым. Наиболее детально минералогия МПГ в рассматриваемых массивах изучена И.Я.Нескрасовым с соавторами [19, 70]. Л.В.Разиным с соавторами (1991) была разработана оригинальная технология переработки платиноносных хромититов, при которой был получен низкотемпературный феррохром, содержащий 47,07% Cr и 27 г/т Pt (извлечение соответственно 66,4 и 71,4%). Сульфатизация хромитовых концентратов привела к переводу в раствор Cr, Fe, МПГ, Ag и Au. Значительная часть последних содержится в нерасгворимом осадке.

Россыпное месторождение Кондер, вероятно, является крупнейшим подобным объектом в стране и в мире. Месторождение приурочено к радиальной речной сети, размывающей Кондерский массив (см. рис. 53). Основная, разрушающая массив, рска – Кондер – образует глубокую каньонообразную долину. Ключи интенсивно врезаются в массив, долины их узкие – 20-300 м, а ручьев – до 1 км в дунитовой части массива [60]. Высота надпойменной террасы 3-8 м. Разрез аллювия с россыпями платины представляется [60] в следующем виде (сверху вниз): почвенно-растительный слой (мощность 0,1 м) → песчано-глинистые отложения

(0,4 м) → песчаные валунно-галечные отложения (0,7 м). Далее вскрываются дуниты Кондерского массива. Аллювий повсеместно платиноносен. Основная россыпь сосредоточена в песчаном валунно-галечном слое. Очевидно, что россыпь сформировалась при разрушении дунитов, содержащих шпидры, гнесда и вкрапленность хромшпинелидов дунитов. Причем максимальным россыпсобразующим потенциалом характеризуются крупнозернистые и пегматоидные фации дунитов, вскрытые в наиболее глубокоэродированных частях массива [86]. В целом мощность платиноносного пласта колеблется от 1 до 7 м, а торфов – от 1,4 до 7 м. Тяжелую фракцию кондерского аллювия (до 3% объема) образуют оливин, хромшпинелиды, диопсид, эгирин, обыкновенная роговая обманка, актинолит, апатит, шпинель, гранаты, сфен, полевые шпаты, кварц, золото, платиновые минералы. Среди последних Л.В.Разиным в первый период изучения россыпи [60] были установлены поликсен, иридиевая платина, осмистый иридий, куперит, брэггит, лаурит. Размеры выделений колеблются от первых микрон до мелких, средних и крупных самородков. Последние составляют 2-25% от общей массы шлиховой платины. Л.Б.Сушкиным [88] отмечено, что за 10 лет отработки месторождения выявлены тысячи средних и мелких самородков, в том числе 10 крупных, из них один массой 3,521 кг.

По данным А.В.Округина и А.А.Кима [10, 64], преобладающим минералом россыпи является изоферроплатина. В ней при повышенных количествах иридия встречаются включения осмиридия и платосмиридия, а также очень мелкие выделения лаурита, эрлихманита, купроиридита, купородита, маланита, холлингвортита, ирарита, платарита, сперрилита, куперита, изомертиита. А.Г.Мочалов с соавторами (1992) отмечают, что в кондерской изоферроплатине содержатся включения 41 минерального вида, причем сосредоточены они в 51,9% зерен минерала-хозяина. Платиновые минералы в общем близки к таковым из россыпи р.Инагли, но изоферроплатина Кондера содержит меньше иридия (на 1%) и осмия (на 0,4%), что приводит к уменьшению включений осмий-иридиевых продуктов распада; палладиевые минералы практически отсутствуют. Названные авторы Pt-минерализацию Кондера относят к (Rh, Ru, Pd)-Os-Ir-Pt типу ассоциации изоферроплатины и осмий-иридиевых твердых растворов с малой примесью сульфидных, сульфохлоридных и арсенидных фаз. Средний состав “сырой” платины Кондера по [75] следующий, %: Pt – 84,4; Pd – 0,4; Rh – 0,6; Ir – 2,1; Os + Ir – 2,2; Au – 0,02; Fe – 9,8; Cu – 0,35; Ni – 0,1. Для сравнения, в природном платиноидном концентрате из дунитов Фсклистовского массива содержится, %: Pt – 84,74-88,99; Pd – 0,40-0,44; Ir – 0,70-0,74; Os – 0,28-0,35 [63].

Проведенная в 1979-1988 гг. разведка привела к оценке балансовых запасов в десятки тонн [77]. Протяженность россыпи при этом составляет 43,68 км, а средняя ширина – 183 м (верхний участок) и 560 м (нижний). В рамках контура балансовых запасов содержится, %: платины – 96,58, иридия – 1,68, осмия – 0,69, рутения – 0,13 и палладия – 0,47. Среднее содержание МПГ в россыпи – 0,2-2 г/м³. Извлечение платины при гравитационно-флотационном обогащении составляет 99,8-99,9%. В 1984-2000 гг. артелью “Амур” отработано более 40% запасов; жи-

дастся, что россыпь будет отрабатываться еще в течение 30 лет при некотором, по нашему мнению, снижении уровня рентабельности. Л.В.Разин считает, что перспективы Кондерской площади не исчерпываются открытыми россыпями, и запасы последних могут быть увеличены по крайней мере в 1,5 раза [62].

Рябиновое месторождение (см. рис. 54) одноименного щелочного массива, развитого в Центрально-Алданском рудном районе, содержащее МПГ, относится к золото-медно-порфировому типу. Этот тип также перспективен на платиноиды, поскольку связь платиноидов с медной минерализацией довольно характерна для порфириковых месторождений в целом [73].

По данным В.А.Коваленкера и др. [73], содержания платины и палладия в изверженных породах Рябинового массива достигают соответственно 10 и 6 мг/т, в метасоматических породах – не превышают 3 и 2,2 мг/т.

Основная рудная минерализация Рябинового щелочного массива (Ким, 1981) развита в серцит-микроклиновых метасоматитах и представлена пиритовым (с тонкодисперсным золотом) и золото-сульфидным (с видимым золотом и повышенными содержаниями меди) типами. В оруденении золото-сульфидного типа преобладающему главному рудному минералу выделяются зоны пиритовой, халькопиритовой и борнитовой минерализации. По данным В.А.Коваленкера и др. [73], наиболее высокие содержания платины и палладия выявлены в пробах из борнитовой зоны (соответственно 80-350 и 70-150 мг/т), а в обогащенном борнитом сульфидном концентрате из борнитовой руды количество платины составило 900 мг/т. Проба из халькопиритовой зоны оказалась обогащена палладием (100 мг/т). Среди минералов МПГ в борнитовой зоне обнаружены эрлихманит и мончит.

Многочисленные платиноносно-золотоносные рудно-россыпные узлы Приамурской ветви Амуро-Алтайского пояса могут быть охарактеризованы на примере Гаринского узла верхнего Приамурья [49]. Узел сложен сланцами верхнего протерозоя, прорванными интрузиями и дайками серпентинизированных гипербазитов раннепалеозойского возраста, перекрытыми терригенными отложениями средне-позднеюрского возраста. В узле выявлены богатые россыпи золота, содержащие 1-5% платиновых минералов. Среди них преобладают рутениридосмин, иридосмин, изоферроплатина, самородная платина, реже встречаются осмирид, самородный осмий, твердый раствор Pt-Ru-Ir-(Rh)-(Os)-Fe и сульфид ряда $\text{OsS}_2\text{-RuS}_2\text{-IrS}_2$. Измеренное в отдельных зернах платиновых минералов отношение $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ в большинстве случаев не превышало 0,12736, в принципе характеризую средний изотопный состав осмия в хондритовом (мантийном) резервуаре. Полученные цифры в целом отмечают три этапа образования платиновых минералов Гаринского узла: позднпротерозойский (1000 ± 80 млн лет), рифейский (620 ± 30 млн лет, преобладает) и раннепалеозойский (445 ± 70 млн лет). Модельные Re-Os датировки обычно превосходят возраст вмещающих гипербазитов. Следует подчеркнуть, что *преобладающая датировка (620 ± 30 млн лет) характерна для платиновых минералов уральских и камчатских россыпей.*

Чрезвычайный интерес представляют находки В.Г.Моиссенко с соавторами [56] “палладистого золота и садбурита в гидротермальных жилах Осемкинского руд-

ного узла, расположенного на правобережье р.Тумнин, стекающей с восточных склонов Сихотэ-Алиня...” (с. 518). Это позволило им выделить специфический жильный палладий-золото-редкометалльный комплекс с золото-вольфрамит-кварцевой и золото-арсенопирит-кварцевой минеральными ассоциациями, связанный, скорее всего, с мафит-ультрамафитовыми интрузиями Аннойского горста Хорского выступа. На основании этих находок В.Г.Моиссенко с соавторами делают вывод о необходимости переоценки на МПГ ряда рудно-россыпных узлов Амурско-Приморского района.

Таким образом, Алдано-Приморский район в целом является потенциально платиноносным, реальные же перспективы связываются с Алдано-Становой платиноносной провинцией.

Расширение Алданской минерально-сырьевой базы платинодобычи предполагается путем прироста запасов россыпной платины на 10-20 т при доизучении Кондеро-Чадской площади и платино-золотых россыпей (20-40 т МПГ), а также исследования и оценки ресурсов МПГ платиноносных мафит-ультрамафитовых массивов Алдано-Становой провинции.

Корякско-Камчатский район

Особенности рассматриваемого района обусловлены его расположением в зоне перехода от континента к океану и сочленения островодужных систем северо-восточного (курильского) и северо-западного (алеутского) направлений [64]. Сравнительно широко здесь развиты базит-гипербазитовые комплексы: дунит-перидотитовой, дунит-клинопироксенит-габбровой, перидотит-пироксенит-норитовой формаций. Эти ультрамафит-мафитовые массивы установлены в полях развития меловых вулканогенных пород и в выступах метаморфогенного фундамента.

Корякско-Камчатский регион входит в состав Дальневосточного (часть Тихоокеанского планетарного) субмеридионального пояса. В рассматриваемом районе выделяется три платинометаллогенические провинции: Олюторская, Центрально-Камчатская и Восточно-Камчатская (рис. 55).

Олюторская провинция является наиболее перспективной в отношении платиноносности и представляет собой типичную эвгеосинклиналь (островную дугу). Ее главный породный комплекс включает раннегеосинклинальные кремнисто-вулканогенные и кремнисто-терригенные формации верхнего мела и палеогена. К позднегеосинклинальным отнесены флишоидные и андезит-базальтовые терригенные формации палеогена. Центрально-Камчатский наложенный вулканический пояс образован в основном орогенными наземными вулканитами – андезит-базальтами миоцен-нижнечетвертичной формации. Породы геосинклинального комплекса смяты в брахиформные и сложные линейные складки, осложненные надвигами, взбросами, сбросами. Морская моласса миоцена представляет орогенный комплекс. В.Г.Батановой и О.В.Астраханцевым (1992) предполагается, что названные толщи представляют аккреционный пакет из Эпильчикского

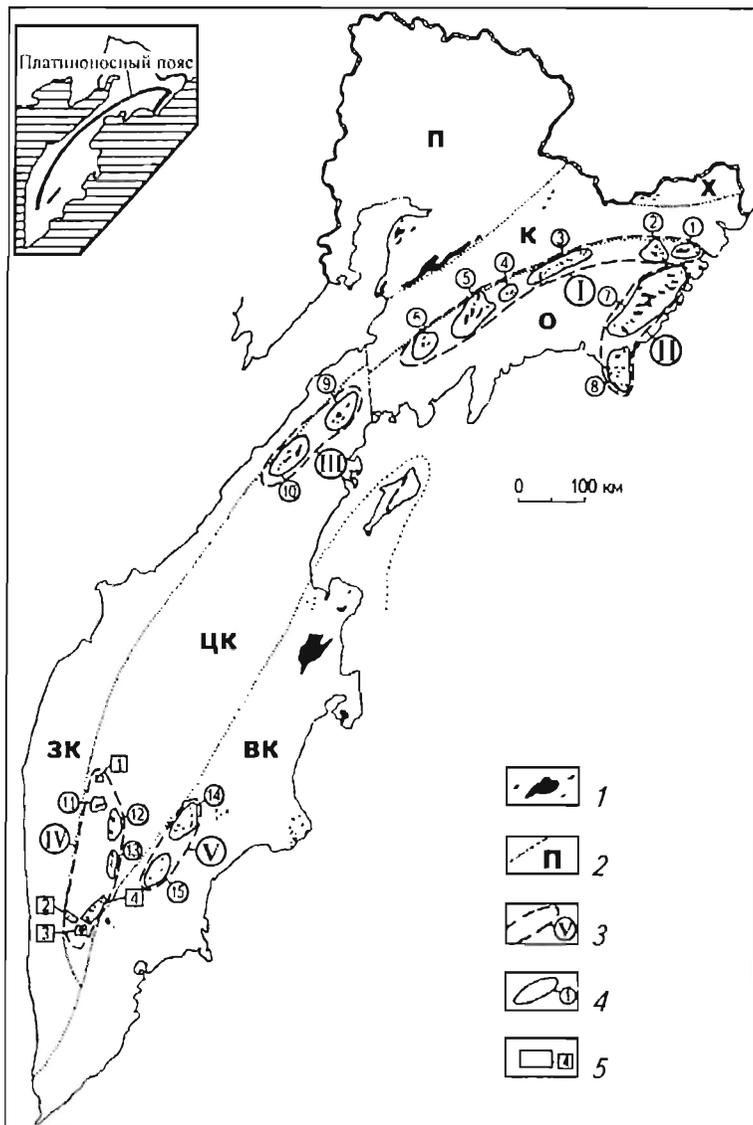


Рис. 55. Схема районирования Корякско-Камчатского платиноносного пояса [64]

I – массивы и мелкие тела мафит-ультрамафитовых формаций (дунит-перидотитовой, дунит-клинопироксенит-габбровой, перидотит-пироксенит-норитовой) нерасчлененные; 2 – границы металлогенических зон: Пенжинской (П), Корякской (К), Хатырской (Х), Олюторской (О), Западно-Камчатской (ЗК), Центрально-Камчатской (ЦК) и Восточно-Камчатской (ВК); 3 – платиноносные зоны: I – Ватыно-Вывенская, II – Беринговская, III – Лесновско-Пусторецкая, IV – Срединно-Камчатская, V – Валагинская; 4 – платиноносные узлы (цифры в кружках): 1 – Итчайваямский, 2 – Эпильчникский, 3 – Верхневывенский, 4 – Нутоятунупский, 5 – Сейнавский, 6 – Встрояямский, 7 – Таманваямский, 8 – Имланский, 9 – Пусторецкий, 10 – Лесновский, 11 – Облуковинский, 12 – Андриановский, 13 – Кунчевский, 14 – Савульчский, 15 – Жупановский; 5 – платиносно-никеленосные поля (1-3), рудная зона (4) (цифры в квадратах): 1 – Шанучское, 2 – Квинумское, 3 – Кувалорогское, 4 – Пснницкая

вулканогенно-кремнистого, Матыскенского кремнистого и Снегового преимущественно вулканогенного покровов.

В Олюторскую провинцию входят Ватыно-Вывенская и Беринговская платиноносные зоны. Протяженность первой в северо-восточном направлении составляет 500 км вдоль одноименного надвига (Батанова, Астраханцев, 1992) при ширине до 30 км. В ее пределах устанавливается около 60 массивов и мелких тел дунит-клинопироксенит-габбровой формации, из которых к настоящему времени наиболее изучен Гальмознанский массив [64, 69].

Беринговская зона протягивается вдоль морского побережья юго-восточнее Олюторской провинции. Ее протяженность 200 км при ширине до 50 км. В нее входят около 40 массивов дунит-клинопироксенит-габбровой формации, образованных преимущественно габбровой ассоциацией с проявлениями россыпных платиноидов [64]. Исследования на эндогенную платиноидную минерализацию в данной зоне не проводились, но прогнозируется платиносодержащее оруденение качанарского и волковского типов.

Центрально-Камчатская провинция состоит из Срединно-Камчатской и Лесновско-Пусторецкой платиноносных зон. Последняя находится в северной части провинции на севере п-ова Камчатка (см. рис. 55) и протягивается в северо-восточном направлении на 200 км при ширине 10-15 км. Зона насчитывает 30 массивов и мелких тел дунит-клинопироксенит-габбровой формации (преобладают габбро). В пределах Лесновско-Пусторецкой зоны установлены россыпи платиноидов, в том числе хорошо известная россыпь р. Пустой; коренная платиноносность не изучена.

Южная часть Центрально-Камчатской провинции образует Срединно-Камчатскую зону, охватывающую площадь одноименного кристаллического массива и его восточного геосинклинального обрамления [64]. На площади Срединно-Камчатского массива развита перидотит-пироксенит-норитовая (кортландит-норитовая), вдоль восточной его границы – дунит-клинопироксенит-габбровая формации.

Платиносно-никельносные коротландит-норитовые породы, распространенные в красных частях Камчатского Срединного кристаллического массива, залегают в мелких мульдах и прогибах, сложенных черносланцевыми толщами. Отмечается, что в их разрезе отсутствуют вулканиты, а отложения содержат повышенное количество органики (до 2%) и серы [105]. Эти данные, а также большая (до 7 км) мощность толщ позволяют считать режим их развития геосинклинальным. Названные массивы представляют собой небольшие (до 30 км²) и мелкие тела габброидов, реже диоритов, коротландитов и переходных по составу пород; возраст 220-80 млн лет по К-Аг датировкам [64]. Все породы метаморфизованы в зеленосланцевой фации. Широко развиты роговая обманка (кальциевая), куммингтонит, антофиллит, магнезальный хлорит – клинохлор, биотит и флогопит. Выделяются Шанучское, Квинумское, Кувалорогское рудные поля, Дукукский рудный узел и Пеницкая рудная зона [64].

Шанучское рудное поле в настоящее время является одним из самых перспективных на никель [64]. Оно расположено в междуречье Шануч-Ича на запад-

ном окончании Хим-Кирганикской рудной зоны протяженностью около 50 км и шириной ~8 км. Оконтурены и изучены Шанучское месторождение, Графитовое и Геофизическое рудопоявления.

Квинумское рудное поле протягивается более чем на 20 км в северо-западном направлении и состоит из трех месторождений, образованных вкрапленными и прожилково-вкрапленными рудами в кортландитах и габбро. Интрузивы протягиваются на первые сотни метров при мощности до 200 м.

Кувалорогское рудное поле площадью 220 км² включает 17 рудопоявлений, прогнозируемых месторождений и точек минерализации, приуроченных к одноименному норит-кортландитовому лополиту площадью около 35 км² и мощностью до 3 км. В строении массива участвуют кортландиты, диориты и грапдиориты. Интерпретация геофизических материалов дает основание [64] на глубине 160-800 м прогнозировать пластообразные, плитообразные или штокообразные залежи богатых руд – средние и мелкие месторождения никеля, содержащие до 6,7 г/т МПГ.

В **Восточно-Камчатской провинции** намечается Валагинская платиноносная зона с установленными телами небольших размеров клинопироксенитового, верлитового и габбрового состава.

Таким образом, Ватыно-Вывенская, Срединно-Камчатская, Лесновско-Пусторецкая, Беринговская и Валагинская зоны составляют платиноносный Корякско-Камчатский пояс (см. рис. 55), объединяющий группу линейно вытянутых мафит-ультрамафитовых массивов площадью от первых единиц до первых десятков квадратных километров. Этот пояс прослеживается в северо-восточном направлении почти на 1800 км при ширине 30-50 км от верховий р. Камчатки до бухты Наталли.

Платиноидный потенциал Корякско-Камчатского района представлен россыпными и коренными эндогенными месторождениями уральского типа, связанными с дунит-клинопироксенит-габбровыми массивами Корякско-Камчатского платиноносного пояса, а также сульфидными платиноидно-медно-никелевыми месторождениями и проявлениями шанучского типа. Последние связаны с интрузиями кортландит-норитовой формации, развитыми в Срединно-Камчатской зоне Центрально-Камчатской провинции.

Ассоциированный с дунит-клинопироксенит-габбровыми массивами уральский (нижнетагильский) тип эндогенной платиносодержащей хромитовой формации на данный момент наиболее хорошо изучен в проявлениях Гальмознанского массива в Ватыно-Вывенской платиноносной зоне Олюторской провинции. Из россыпных месторождений, связанных с рассматриваемой формацией, наибольшее значение в настоящее время имеют россыпи Корякин, также расположенные в Ватыно-Вывенской зоне в составе Сейнав-Гальмознанского рудно-россыпного узла.

Месторождение Шануч площадью около 0,6 км² тяготеет к северо-западной части рудного поля и состоит из двух (Северной и Южной) ветвей, сложенных измененными мафитами. К их меланократовым участкам приурочены два тела сульфидных медно-никелевых руд. Первое из них входит в состав Северной ветви и представляет крутопадающую (70-75°) залежь протяженностью 150-160 м и шири-

ной 50-60 м. Она образована преимущественно (70-80%) массивными и брекчиевидными сульфидными платиноидно-медно-никелевыми рудами, персходящими по простиранию залежи в северо-восточном направлении во вкрапленные разности. Содержание никеля в сплошных рудах составляет в среднем 4,96% (при максимальных 10,0%), меди – 0,7% (4,82%), кобальта – 0,16% (1,5%), платины – 0,39 г/т, палладия – 0,39 г/т, золота – 0,26 г/т, селена – от 20 до 55 г/т и теллура – от 5 до 14 г/т. Благородные металлы накапливаются в мощной (10-12 м) “железной шляпе”, где количество платины достигает 13,2 г/т, палладия – 6,12 г/т, родия – 0,042 г/т, а золота – 5,78 г/т. В массивных (сплошных) и густовкрапленных рудах установлены самородная платина и сперрилит в единичных обособлениях размером до 150 мкм в кобальтине и пентландите, а в прожилково-вкрапленных халькопиритовых эндоконтактных рудах – майченерит. Приуроченная к Южной ветви вторая рудная залежь в отношении платиноносности изучена недостаточно.

Месторождение Шануч – мелкое с богатыми без вредных примесей рудами, представляющими собой естественный природный концентрат, подлежащий металлургическому переделу без предварительного обогащения [64].

Расположенный в среднем течении р.Вывенки *Гальмознанский массив* – типичный представитель зональных массивов [19, 64]. Дунитовое ядро окружено верлитами, оливиновыми и магнетитовыми клинопироксенитами и габбро. Обычными для этого типа массивов являются и габбро-диоритовая оторочка, жильная (лейкогаббро-, тоналит-трондсьмиты) и дайковая (амфиболовые габбро) фации, а также рудно-анортозитовый тренд дифференциации. Метадуниты содержат до 50 г/т МПГ, причем платинометалльная минерализация тяготеет не только к обогащенным хромитом участкам, но также устанавливается и в оливинах в “бесхромитовых дунитах”, в магнетитах клинопироксенитов и магнетитовых клинопироксенитов. А.П.Козлов (2000) выделяет следующие платинометалльные ассоциации: платино-хромитовую (пробладевает), платиноносных дунитов (достаточно широко) и титаномагнетитовых пироксенитов. Платиновые минералы образуют отдельные зерна, скопления (до 2 см) и вкрапления, цементирующие хромшпиннелиды, и представлены изоферроплатиной и тетраферроплатиной (пробладевают), туламинитом, холлингвортитом, самородным осмием, сперрилитом, лауритом, эрлихманитом, осарситом, куперитом, платарситом, ирарситом, редкими самородным иридием, палладоарсенидом, гексаферрумом (Fe_3Ir_2), платинистым иридием, купрородситом, гидроиридием, ксингхонитом, боуитом, кашинитом, штумпфлигом и очень редкими галоидными соединениями платины, придия и железа. В платиноносных дунитах из редких отмечен кашинит, главные и второстепенные минералы полностью идентичны описанной ассоциации. Содержание платиноидов в рудах колеблется от первых десятых до первых сотен грамм на тонну.

Платинометалльные россыпи *Сейнав-Гальмознанского рудно-россыпного узла* площадью около 600 км² (рис. 56) были открыты В.Н.Мелкомуковым [35] и находятся в южной части Корякского нагорья в бассейне р.Вывенки (Ватыно-Вывенская платиноносная зона). Узел контролируется Сейнавским аллохтоном – останцом Ватынского надвига. Аллохтон сложен вулканогенно-кремнистыми отложе-

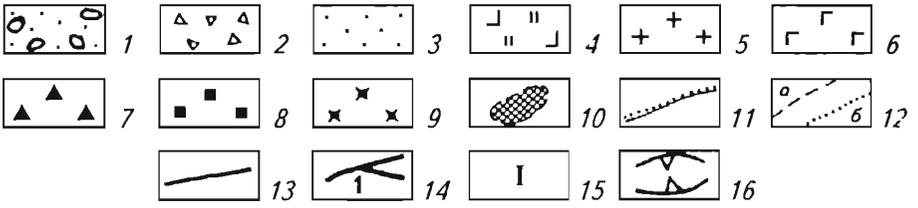
ниями ватынской серии кампанского возраста, островодужными вулканитами ачайваямской свиты мощностью более 1000 м (маастрихт) и интрузиями дунит-клинопироксенит-габбровой формации (Сейнаровский, Гальмознанский массивы). Контакт тектонического покрова меняет свое пологое падение в восточных румбах на западе до крутого на востоке, и как обычно, к аллохтону приурочены мощные (50-70 м) зоны серпентинитового меланжа.

В качестве источников россыпной платины выступают концентрически-зональные дунит-клинопироксенит-габбровые Гальмознанский и Сейнаровский массивы протяженностью 15-17 км и шириной 2-4 км. Дуниты содержат зоны хромитовой минерализации площадью соответственно более 10 и 0,2 км² с зернами платины размером до 1 мм, в них установлено до 47,3 г/т Pt, 0,16 г/т Pd и менее 0,01 г/т Rh. В пироксенитах Сейнавовского массива ильменит-магнетитовые агрегаты содержат до 1 г/т Pd.

В упомянутой выше работе А.П.Козлова (2000) впервые опубликован достаточно полный список платиновых минералов из коряжских россыпей: главные – изоферроплатина, тетраферроплатина, самородная платина; обычные – туламинит, холлингвортит, самородный осмий, сперрилит, лаурит, эрлихманит, осарсит, куперит, платарсит, ирарсит; редкие – самородные иридий и рутений, железистый рутений, палладоарсенит, гексаферрум, платинистый иридий, хонгшиит, купородсит, гидроиридит, ксингтонит, боуит, кашинит, брэггит, аналог кабриита, стибиопалладинит, мертинит-II, генкинит, штумпфлит; очень редкие – амальгама платины, галондные соединения МПГ.

Определенный интерес представляют россыпи рек Пустой и Майора. Первая из них расположена в северной части Пусторецкого узла Лесновско-Пусторецкой платиноносной зоны. Источником россыпи являются магнетитовые пироксениты, содержащие до 1 г/т МПГ (преобладает палладий). В россыпи Н.Д.Толстых с соавторами [112] обнаружены Pt-Fe-Cu-Pd, Au-Pd-Cu и Os-Ir сплавы, куперит-высоцкит, холлингвортит, платарсит, ирарсит, сперрилит, стибиопалладинит, родарсенит, кейтконнит, неназванная фаза Pd₂Tc, твердые растворы сульфидов Pt и Pd, в том числе василит и ряд неназванных фаз. Средний состав шлиховой платины из россыпи, %: Pt – 88,5-100; Ir – 0,1-0,4; Os – 0,1-2; Pd – 0,1-0,5; Rh – 0,2-0,8; Cu – 0,2-1,4.

Источник россыпи р.Майор – интрузив Филиппа площадью ~10 км² – входит в состав Облуковинского узла Срединно-Камчатского кристаллического массива. Важнейшими особенностями массива, по В.А.Полтаеву [64], являются: его расположение в углисто-метатерригенной толще среднего–верхнего палеозоя, широкое проявление метасоматических процессов, наличие в альбитизированных слюдяных клинопироксенитах осколков (0,2×0,25 мм) монокристалла алмаза, а также повышенные содержания золота (6,48 г/т) в верлитах при низких количествах МПГ (Pt – 0,63 г/т, Pd – 0,03 г/т). В долине р.Капитанской и ее правом притоке р.Майор установлена россыпь золота с платиновыми металлами, выявленными в количестве 27 мг/м³ на 8-километровом разведанном участке. В россыпи М.Ю.Подлинским и др. (1999) обнаружены Pt-Fe сплавы с включениями осмия, лаурит–эрлихманит, кашинит–бауит, инаглиит, купородсит, купроиридисит, маланит



(в том числе впервые Со-содержащий малонит), сперрилит, куперит, изоферроплатина.

Выполненное В.А.Полстасвым изучение закономерностей распределения МПГ в породах ряда массивов Корякско-Камчатского платиноносного пояса позволяет констатировать следующее [64]:

максимально обогащенными МПГ являются дуниты, дуниты с хромитом Эпильчикского узла, а также верлиты Сейнавского массива и габброиды Итчайва-ямского узла. Минимальные количества платиновых металлов содержат серпентиниты, промежуточное положение занимают клинопироксениты;

повышенные количества МПГ в массивах приурочены к красным частям дунитовых тел;

платиноидный ряд для большинства типов пород обычно имеет вид $Pt > Pd > Ru > Rh$ при абсолютном преобладании легкоплавких платиноидов;

содержания и соотношения платиновых металлов в породах типичны для таковых зональных массивов уральского (нижнестагильского) типа.

Породы и руды кортландит-норитовых объектов шанучского типа отличаются повышенной платиноносностью. В целом, средние содержания МПГ не превышают первых грамм на тонну, однако имеющиеся данные о параметрах руд дали основание В.А.Полстасву [64] предполагать, что общие ресурсы категории P_3 платиновых металлов могут составить 500 т при преобладании палладия над платиной.

Оценивая перспективы платиноносности норит-кортландитовой формации Камчатки, С.А.Щека с соавторами отмечает: "... крупные размеры отдельных массивов (Дукук, Кувалорог) и лополитообразная форма не исключают обнаружения мощных донных залежей сульфидных руд с платиноидами" [64, с. 73].

Это, а также продолжающиеся выявления новых россыпей и коренных проявлений МПГ (с содержаниями до нескольких десятков грамм на тонну) свидетельствует в пользу высокой перспективности Корякско-Камчатского района.

Для расширения Корякско-Камчатской базы платинодобычи необходимо провести:

доизучение известных платинометалльных россыпных объектов с наращиванием запасов платины;

поиски новых аналогичных месторождений;



Рис. 56. Геологическая карта Сейнав-Гальмознанского рудно-россыпного узла [64]

1-2 – четвертичные отложения: 1 – современные, 2 – верхнечетвертичные; 3-4 – верхнемеловая система: 3 – аяонская свита, 4 – ватынская серия; 5-9 – позднемеловые интрузии дунит-клинопироксенит-габбровой формации: 5 – диориты, 6 – габбро, 7 – верлиты, клинопироксениты, 8 – дуниты, 9 – реоморфные дуниты; 10 – зоны хромитовой минерализации; 11 – контактовые роговики; 12 – геологические границы: разновозрастных геологических тел (а), фацialsные (б); 13 – тектонические нарушения; 14 – платиновые россыпи: 1 – р.Левтыринываям, 2 – руч.Ледяного, 3 – руч.Пенистого, 4 – руч.Ирисового; 15 – гипербазитовые массивы: I – Гальмознанский, II – Сейнавский; 16 – граница Сейнав-Гальмознанского рудно-россыпного узла

комплексную оценку платиноносности многочисленных мафит-ультрамафитовых массивов, в первую очередь дунит-клинопироксенит-габбровой формации в пределах Олюторской (площадь массивов составляет около 20% от таковой зоны, в одном из них – Гальмознанском – установлено до 50 г/т МПГ), а также сульфидных платиноидно-медно-никельсвых месторождений и проявлений Центрально-Камчатской (Шануч, Кувалорог, Квинум и др.) металлогенических зон;

комплексное использование продуктов деятельности современных вулканов, являющихся уникальным возобновляемым платиносодержащим сырьем [44].

Северо-Восточный район

Северо-Восток России – это удаленный и очень обширный по площади регион, состоящий из разных по геологическому развитию областей, занимающий территорию Чукотки и частично Якутии и Магаданской области.

Восточная часть рассматриваемого района характеризуется широким распространением базит-гипербазитовых формаций. Здесь распространены в основном офиолитовые массивы троктолит-норитовой формации: Красногорский, Куюльский, Усть-Бельский, Тамватнейский и другие, характерные для всего азиатского востока [64].

Известны также и дунит-клинопироксенит-габбровые массивы уральского (нижнетагильского) типа. Наибольшее развитие они получили в Пенжинской, Пекульнской и Алучинской зонах. В Алучинской зоне установлены массивы качкарского типа, сложенные клинопироксенитами в центре и габбро по периферии.

Вулканогенно-осадочные и осадочные комплексы Северо-Востока России включают терригенные углеродсодержащие породы, с которыми связаны золоторудные и россыпные месторождения [63]. Углеродсодержащие породы метаморфизованы в условиях низкотемпературных фаций регионального метаморфизма. Содержание $C_{орг}$ в породах [63] варьирует от десятых долей до 5-6% (Ветренское месторождение). Месторождения в черных сланцах региона образуют линейно вытянутые пояса, наиболее крупные из которых Яно-Колымский, Аллах-Юньский и Чукотский. Платиносодержащие золоторудные месторождения в верхоянских и чукотских мезозоидах Северо-Востока России рассмотрены в работах В.И. Гончарова, С.В. Ворошина, В.А. Сидорова и др. [63]. В пределах всех изученных объектов обнаружены содержания платины в количестве до 3,8 г/т и палладия – до 1,84 г/т [44]. Повышенные количества металлов приурочены, как правило, к сульфидизированным (до 3% пирита и арсенопирита) околорудным породам и сульфидно-кварцевым жилам и прожилкам. Названными авторами предполагаются также повышенные содержания МПГ в рудах золото-кварцевых месторождений (Каральвсемское, Совиное, Сыпучее, Дуэт и др.).

Ряд геологических зон региона являются перспективными в отношении обнаружения медно-порфировых месторождений. Наиболее перспективной является Олойская зона (рис. 57), заключенная между мезозойской Южно-Ануйской эвгосинклиналью и Омолонским срединным массивом. Эта зона сложена в основном

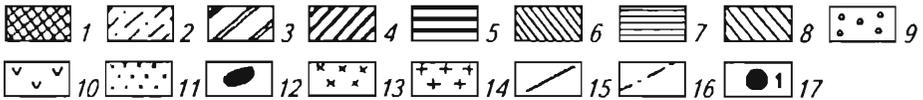


Рис. 57. Схема размещения (золото)-медно-порфировых месторождений в структурно-формационных комплексах Олойской зоны

1 – докембрийские кристаллические образования и палеозойские вулканогенно-осадочные отложения Омолонского срединного массива; 2 – терригенный миогеосинклинальный формационный комплекс (T_{1-2}) Анюйской зоны; 3 – эвгеосинклинальный формационный комплекс (J_3-K_1) Южно-Анюйской зоны; 4–8 – осадочные и вулканогенно-осадочные комплексы Олойской зоны: 4 – палеозойский эвгеосинклинальный (Алучинское поднятие), 5 – палеозойский миогеосинклинальный (Сиверское и Яракваамское поднятия), 6 – верхнетриасовый-верхнеюрский эвгеосинклинальный (Хетачанское, Кричалское, Курьячанское, Недежинское горстовые поднятия), 7 – верхнетриасовый-верхнеюрский орогенный молассоидный (Алучинское и Яракваамское поднятия), 8 – верхнеюрский-нижнемеловой регенерированный геосинклинальный вулканогенно-молассовый; 9 – нижнемеловые отложения угленосной молассовой формации (Айнахкургенская и Умкувесская впадины); 10 – меловые орогенные континентальные вулканогенные образования; 11 – рыхлые четвертичные отложения Колымской депрессии; 12 – мезозойские интрузивы габбро-перидотитовой и габбро-диабазовой формаций; 13 – мезозойские интрузивы габбро-плагиигранитовой, габбро-монцит-сиенитовой, габбро-диорит-гранодиоритовой, диорит-гранодиорит-гранитовой формаций; 14 – мезозойские интрузивы гранитовой и гранит-граносиенитовой формаций; 15 – зоны красных глубинных разломов; 16 – зоны межблоковых глубинных разломов; 17 – медно-порфировые месторождения и рудопроявления: 1 – Дальнее, 2 – Камень Такмыка, 3 – Северо-Восточное, 4 – Кольцовое, 5 – Песчанка, 6 – Находка

вулканогенно-осадочными отложениями верхнетриасового-верхнесюрского и верхнесюрского-нижнемелового формационных комплексов, местами перекрытыми нижне-верхнемеловыми континентальными эффузивно-пирокластическими образованиями [19].

В пределах Олойской зоны известно несколько месторождений и рудопроявлений медно-порфировой формации: Находка, Песчанка, Дальнес, Камень Такмыка и др. Оруденение связано с нижнемеловыми гранитоидами габбро-монцопитсиенитовой формации. Интрузивные образования наиболее ранней фазы представлены биотитовыми габбро, габбро-сиенитами и габбро-диоритами. Монцопиты, сиениты, сиенито-диориты, граносиениты относятся к главной фазе. На более поздних этапах формировались сиенито-диоритовые порфиры, гранодиорит-порфиры, сиенит-порфиры и сиенит-аплиты.

Размещение рудных полостей и участков приурочено к зонам глубинных разломов северо-западного и северо-восточного простираний. Оруденение локализуется в линейно вытянутых вдоль разломов зонах дробления гранитоидов и вмещающих вулканогенно-осадочных толщ в участках пологого погружения массивов. В пределах минерализованных зон развита штокверковая сеть сульфидных, кварцевых, реже кварц-микроклиновых и кварц-кальцитовых прожилков с сульфидами, а также вкрапленность рудных минералов. Из рудных минералов наиболее часто встречаются пирит, халькопирит, молибденит, реже – борнит, халькозин, магнетит, пирротин, арсенопирит, галенит, сфалерит, висмутин, марказит, антимонит, самородное золото, платиновые минералы (?). Наиболее крупным медно-порфировым плутогенным месторождением (кальмакырский тип) является Песчанка, характеризующееся рядовыми содержаниями меди (0,67%), молибдена (0,017%), золота (0,039%). Предположительно платинометаллогенический потенциал этого объекта может достигать нескольких сотен тонн.

Платиновая минерализация обнаружена практически во всех ультрамафит-мафитовых массивах троктолит-норитовой формации, содержащих хромиты, и в окружающих россыпях [64]. В нижних магнезиальных дунит-гарцбургитовых фациях преобладают рутениевые осмириды, выше (с увеличением железистости) начинает преобладать изоферроплатина. К сожалению, содержания платиноидов как в коренных породах, так и в россыпях низкие (менее 1 г/т) и не представляют на данном этапе промышленного интереса.

Клинопироксениты интрузивов качканарского типа в Алучинской зоне часто обогащены титаномагнетитом, и содержания Pt + Pd в них достигают 0,83 г/т [64]. Среди минералов в россыпях преобладает изоферроплатина, осмириды и арсениды являются редкими. Массивы нижнестагильского типа требуют оценки платиносности.

В терригенных, карбонатно-терригенных сероцветных углеродистых рифейско-палеозойских комплексах находятся платиноидно-золоторудные объекты, относимые к сухоложскому и наталкинскому типам. Типовым месторождением сухоложского типа углеродсодержащей формации для Северо-Восточного района является месторождение Нежданниковое в Якутии, а наталкинское – Наталкинское.

Нежданнинское месторождение расположено в сводовой части антиклинальной структуры в пределах меридионально вытянутого, сложенного рифтогенными пермо-триасовыми (рис. 58) и юрскими отложениями синклинория (Силичев, 1970). Рудовмещающие толщи относятся к типичной терригенной черносланцевой формации верхнепалеозойского возраста, образованной в условиях рифтогенеза [64].

Платино-золото-рудовмещающими являются нижнепермские метаморфизованные в начальных ступенях зеленосланцевой фации алевролиты мощностью около 2400 м, содержащие 0,5-6% углистого вещества. Рудоносная толща состоит из трех пачек: нижней (мощность 1500 м) – существенно алевролитовой, средней (80 м) – песчаниково-алевролитовой и верхней (800 м) – углисто-глинисто-сланцевой и алевролитовой. Осадочные отложения прорваны штоками гранодиоритов (возраст 118 млн лет, по А.Ф.Коробейникову (1995)) и диоритов (возраст 52-57 млн лет). В жильных и вкрапленных рудах преобладают пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, теннантит, буланжерит, джемсонит, золото и ряд других. Сульфиды составляют обычно не более 5% объема руд и могут быть сгруппированы в полевошпат-кварцевую, пирит-арсенопиритовую, сфалерит-тетраэдрит-галенитовую и сульфоантимонитовую ассоциации. Вертикальная геохимическая зональность месторождения имеет ряд: $Zn \rightarrow Co \rightarrow Ni \rightarrow Cr \rightarrow Pb \rightarrow Ag \rightarrow Bi \rightarrow Te$ [19].

Выполненное А.Ф.Коробейниковым и Г.Н.Гамяниным [64] изучение закономерностей распределения платины и палладия во вкрапленных пирит-арсенопиритовых и жильных кварц-золото-сульфидных рудах Нежданнинского месторождения позволило сделать вывод об их повышенной платиноносности и низкой палладийности. Среднее содержание платины в первом типе руд по данным названных авторов составляет 6,15 г/т, а во втором – 27,2 г/т. И хотя такие высокие концентрации платины, безусловно, заслуживают проверки, они позволяют считать рассмотренный объект комплексным платиноидно-золоторудным месторождением. По запасам золота оно входит в пятерку крупнейших в стране, и безусловно, платиноносность значительно повысит ценность этого уникального объекта.

Месторождение Наталка – один из крупнейших золоторудных объектов черносланцевой формации России. Вблизи от него расположены еще два месторождения – Омчакское и Павликовское, образующие вместе с Наталкинским и россыпями в водотоках Омчакский рудный узел. Последний тяготеет к Яно-Колымскому золотоносному поясу, прослеживающемуся в северо-западном направлении на 1000 км при ширине до 200 км. Месторождение залегает в верхнепермских отложениях – пионерской, атаканской и омчакской свитах, сложенных песчанистыми аргиллитами, диамиктитами, туфогенными сланцами и терригенными флишондными отложениями. Содержания C_{pl} колеблется от 0,3 до 3,5%. На месторождении оконтурено более 100 рудных зон, образующих пучек протяженностью около 5 км и шириной до 600 м [64]. Руды сложены кварцем, карбонатами, хлоритом, пиритом, арсенопиритом, самородным золотом, пирротином, сульфоарсенидами кобальта и никеля, сфалеритом, халькопиритом, галенитом; подчиненное значение имеют шеселит, миллерит, бурнонит, буланжерит, антимонит, акаптит,

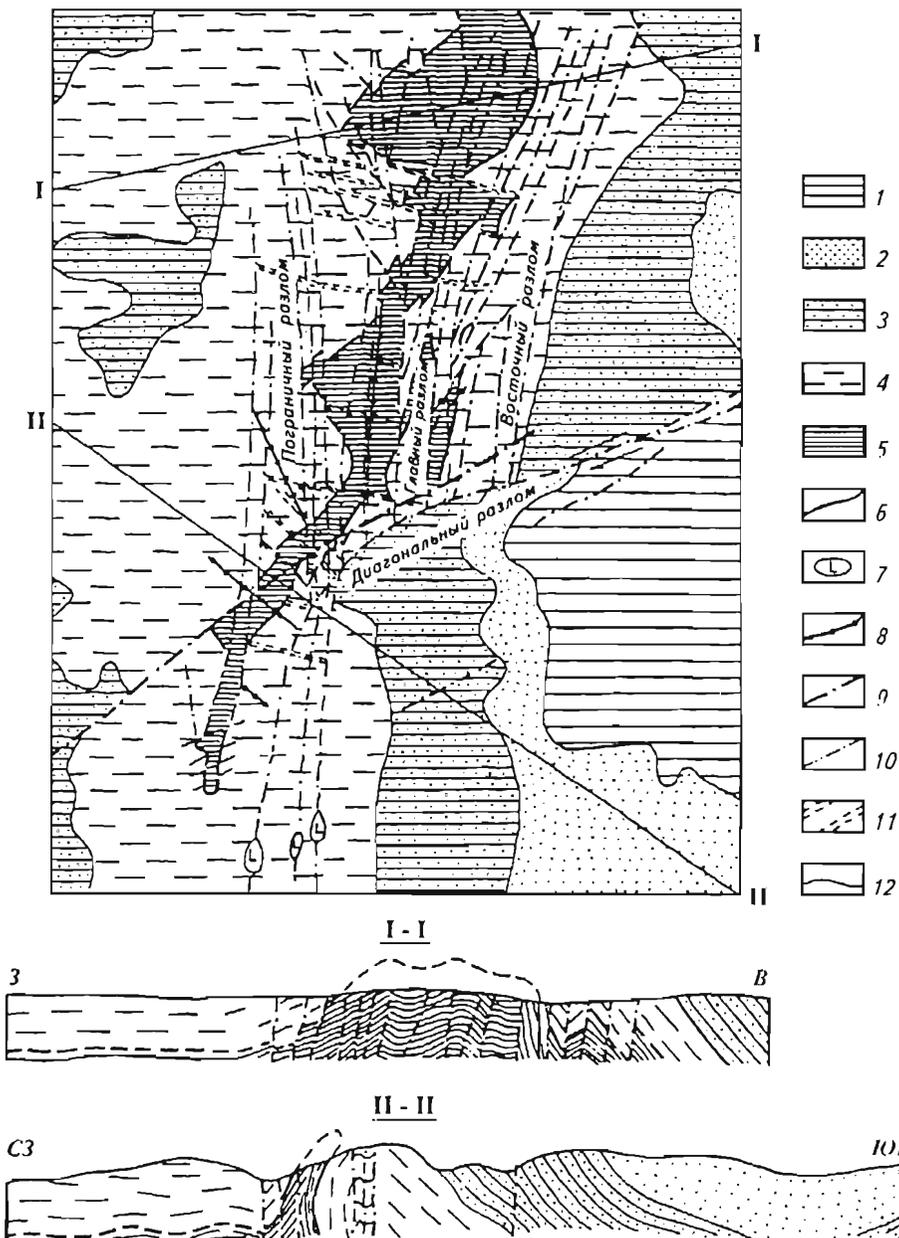


Рис. 58. Схема геологического строения одного из участков Нежданского месторождения (по А.Ф.Коробейникову (1995, 1999))

1 – пермо-триасовые алевропесчаники; 2, 3 – верхнепермские песчаники (2) и алевролиты (3); 4, 5 – нижнепермские песчаники (4) и алевролиты (5); 6 – маркирующий пласт песчаников; 7 – штоки габбро-диоритов; 8 – дайки диоритовых порфиритов и лампрофиров; 9 – Диагональный разлом; 10 – разрывы Нежданской системы; 11 – разрывы и зоны трещиноватости поперечной системы; 12 – геологические границы

самородное серебро, Ag-пентландит, брейтгауптит, касситерит, фосфат церия и лантана (монацит), циркон, оксиды ванадия.

Платиноносность руд Наталкинского месторождения можно считать доказанной. В.И.Гончаровым с соавторами [15] выделяются три типа платиносодержащих золотых руд: богатые, средние и бедные. В первых количество Pt составляет 10 г/т, Pd – 9 г/т; во вторых – соответственно 0,5 и 0,6 г/т, в третьих – 0,4 и 0,6 г/т. При этом содержание золота в этих рудах составляет соответственно 40,0; 2,4 и 0,3 г/т, а мышьяка – 10,4; 4,0 и 0,12 кг/т. Повышенные концентрации названными авторами выявлены также в “пенном” концентрате органического вещества, в осадке оборотной воды и других промпродуктах. Несомненно, наличие МПГ в крупнейшем в России месторождении золота может коренным образом изменить его ценность. Даже при среднем содержании платиновых металлов 1 г/т платинометаллогенический потенциал этого объекта может составить несколько сот тонн.

В.М.Изоитко (1994) в рамках программы “Платина России” было выполнено исследование вещественного состава и технологических свойств хвостов обогащения золото-извлекательной фабрики им.Матросова, работающей на Наталкинском месторождении. Хвосты сложены кварцем, слюдами, хлоритами, мусковитом и плагиоклазами, а также биотитом, эпидотом, амфиболом, пироксеном, кальцитом, апатитом, другими минералами и углистым веществом (свободное и сростки и включения в кварце). Рудные минералы представлены пиритом, пирротинном, халькопиритом, арсенипиритом, самородным золотом.

Химический состав хвостов, %: SiO_2 – 65,73; TiO_2 – 0,68; Fe_2O_3 – 4,95; MnO – 0,09; MgO – 1,81; CaO – 3,28; K_2O – 2,65; Na_2O – 3,53; P_2O_5 – 0,32; $\text{C}_{\text{общ}}$ – 1,42; $\text{S}_{\text{общ}}$ – 0,26; As – 0,22, т. е. хвосты представляют собой типичные песчано-сланцевые породы.

При гравитации хвостов получен концентрат (выход 0,65%) тяжелых металлов и легкая фракция (хвосты-II, выход 99,35%). В концентрате содержится 1,26 г/т золота (извлечение 63%), в хвостах-II – 0,5 г/т (извлечение 37%). Химико-спектральное (эмиссионное с просыпкой) определение содержаний МПГ в хвостах дало следующие результаты. Количество палладия, родия, рутения и осмия находится в пределах чувствительности метода. Платина содержится в количестве 0,046-1,15 г/т, иридий – не более 0,008-0,086 г/т. Повышенные содержания иридия и платины подтверждены повторным спектральным анализом свинцового королька пробирной плавки.

Полученные результаты, по нашему мнению, бесспорно свидетельствуют о наличии платиновых металлов и об их крайне неравномерном распределении в золотых рудах Наталкинского месторождения.

Таким образом, Северо-Восток России перспективен на коренные и россыпные месторождения уральского и альпийского типов, а также на объекты суходожского и наталкинского типов в углеродсодержащих комплексах. Известны повышенные содержания МПГ, связанные с золото-медно-порфириновым типом оруденения. Так, в россыпях, связанных с медно-порфириновым месторождением Песчанка, установлены повышенные концентрации платиноидов. В специальных исследова-

ниях нуждаются и хвостоотвалы многочисленных отработанных и обрабатываемых золоторудных месторождений.

Все выше перечисленное говорит в пользу перспективности рассматриваемого района на платиноносность.

В целом же Дальневосточный регион отличается сравнительно благоприятным географическим положением, заключающемся в близости к развитым странам азиатско-тихоокеанского региона. Имеющаяся сеть автотранспортных и железных дорог, морских путей, наличие промышленных городов и поселков с существующими горно-добывающими комплексами свидетельствует о развитой инфраструктуре Дальневосточного региона и его особой привлекательности для отечественных и зарубежных инвестиций. Насущная необходимость в мире в увеличении производства платиновых металлов обуславливает вложение обозначенных инвестиций в первую очередь именно в решение этой проблемы.

МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ ПЛАТИНОИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Проблема парагенезиса крупных и уникальных (гигантов) месторождений, в которых сосредоточена основная часть большинства полезных ископаемых нашей планеты, имеет важнейшее фундаментальное и прогнозно-поисковое значение и безусловно является одной из ключевых составляющих металлогенического анализа. В связи с этим особый интерес представляет обоснование максимально вероятной модели формирования Норильских месторождений – гигантских скоплений платиновых металлов, меди, никеля и кобальта.

Связь с достаточно рядовыми по размеру и в определенной мере даже по составу трапповыми интрузиями уникальных объемов металлов, в ряде случаев формирующих самостоятельную “рудную” интрузию с содержаниями до 6% Ni, 25% Cu, 0,4% Co и 2 кг/т МПГ, не может быть объяснена только процессами магматической ликвации (Годлевский и др., 1959) или сульфуризации (Золотухин и др., 1975) и последующего многофазного внедрения.

Авторами был выполнен анализ геолого-геофизических и геохимических полей Таймыро-Норильской платиноносно-никеленосной провинции, в основу положены результаты личных 35-летних исследований. Интерпретация сейсмоки позволяет высказать достаточно мотивированное предположение о существовании в центральной части Западно-Сибирской плиты крупной (протяженностью около 500 км) астенотинзы аномальной (скорость волн 7,6 км/с) мантии, залегающей у подошвы земной коры на глубине 40-100 км. Восточнее в мантии Сибирской платформы оконтуривается наклонная пластина с аномально высокими скоростями продольных волн (до 8,8 км/с). Эта линза Д.И.Мусатовым и др. (1990), а также авторами (1992) принимается за фрагмент среднепалеозойской зоны суб-

дукции Западно-Сибирской океанической плиты под Сибирскую платформу. Интерпретация другого сейсмического разреза приводит к выводу о наличии на глубинах 5-40 км линз ультрамафиг-мафитовых образований, картирующих положение глубинных промежуточных очагов – коровых элементов нижнемантийных плюмов [99] в пределах малых рифтовых трогов (МРТ). Положение одного из них – Норильско-Хараелахского МРТ – полностью совпадает с одноименным упомянутым выше глубинным разломом. Этот трог является составной частью Норильско-Хараелахского вулканогенного прогиба, сформированного в мезозое на месте Норильско-Игарского протерозойского зеленокаменного пояса, устанавливаемого южнее рассматриваемых месторождений по распространению проявлений формации медистых песчаников.

Таким образом, можно говорить о приуроченности гигантских Норильских сульфидных платиноидно-медно-никелевых и малосульфидных платиностальных месторождений к Норильско-Хараелахскому МРТ – линейной троговой структуре, характеризующейся обычно максимальной проницаемостью для расплавов, растворов и флюидов. В свете современных геодинамических представлений уникально рудоносный Норильский район – это палеорифтовый трог, выраженный зоной максимального прогибания вулканитов весьма значительной (до 3800 м) мощности.

Новые данные и результаты предшествующих исследований обусловили возможность разработки *принципиально новой шестиступенной геодинамической модели становления уникальных месторождений Таймыро-Норильской платиноносной провинции* (табл. 52). Развитие этой трапповой рудно-магматической системы приводит к повышению в составляющих ее породах и рудах количеств меди, платиноидов, золота, серебра, ртути, калия (табл. 53). Вот почему контрастные зональные геохимические поля и потоки перечисленных элементов, а также щелочные (как правило, калиевые) метасоматиты являются наиболее существенными поисковыми критериями перекрытых и глубоко залегающих месторождений норильско-талнахского типа. Именно на эти метасоматиты обратил особое внимание великий российской петролог Д.С.Коржинский при посещении рассматриваемых объектов.

Первый этап характеризовался максимально длительным (от протерозоя по верхнюю пермь) периодом развития. Вероятно, в раннепермское время произошел подвиг океанической коры. Зона поддвига на сейсмическом разрезе определяется по сдвоенной границе Мохоровичича и достаточно высококонтрастному (скорость продольных волн 8,4-8,8 км/с) слою, погружающемуся под платформу (рис. 59). Очевидно, именно затянутые океанические осадки способствовали обогащению флюидных потоков водой, серой (особенно тяжелой) и галогенидами. Вероятно, процесс субдукции явился своеобразным ускорителем мантийной конвекции и дал толчок платформенному растяжению и рифтогенезу, обусловившим удивительно оригинальный позднепалеозойско-раннемезозойский трапповый магматизм в будущей Таймыро-Норильской платиноносной провинции (второй этап). Парциальное плавление истощенной мантии или вскрытие только верхних частей камер

Петрогеодинамическая модель формирования Норильских уникальных месторождений

Этап	Процессы и события
I. Домагматический и дорудный	1. Коллизия Таймыро-Североземельской области и Сибирской платформы 2. Подвиг океанической коры – обогащение флюидных потоков H ₂ O, S (в т.ч. тяжелой) и галогенидами 3. Выплавление контрастных магм 4. Ликвация на ультрамафитовый, мафитовый, высокосернистый и низкосернистый анортозитовый расплавы
II. Шестифазный вулканический	5. Рифтинг – поступление обогащенных Cu, МПГ и флюидами магм путем декомпрессии в открытой системе – зонах глубинных разломов в виде рифтов-сателлитов 6. Образование магматических камер, в т.ч. и в области развития черносланцевых толщ
III. Главный интрузивный и рудный	7. Внедрение расслоенной обогащенной МПГ, Cu и флюидами ультрамафит-мафитовой магмы в дискретных структурах рифтовых трогов на плечах главного рифта
IV. Главный рудный и внутриинтрузивный	8. Внедрение сульфидоносного расплава – “рудной интрузии” 9. Камерная ликвация
V. Конечный интрузивный и внутрирудный	10. Формирование ритмической расслоенности 11. Внутрирудный щелочной метасоматоз – становление зональных рудных залежей, уникальных по запасам и содержаниям МПГ (норильско-талнахский тип)
VI. Посленинтрузивный и конечный рудный	12. Поступление низкосернистого расплава – формирование мало-сульфидных платиносодержащих руд (верхнесталнахский тип), уникальных по ресурсам и, иногда, содержаниям МПГ, а также аномальных метаморфо-метасоматических и геохимических полей

приводит к формированию мафитовых магм, обогащенных летучими в вершинах диапира с максимумом водного флюида. Продукентами вот этого наиболее флюидизированного расплава и стали вулканы ранних магматических комплексов и их комагматы – массивы норильско-талнахского типа. Скопление под высоким давлением флюидной фазы обусловило движение (совместное или разделенное) силикатного и сульфидного расплава. Рифтинг привел к подъему расслоенных магм в средние и верхние части континентальной коры, включая области развития черносланцевых толщ и меденосных песчаников игарского типа, где образовывались магматические камеры, благоприятные для образования платиноносных объектов. Такие камеры в наибольшей степени способствуют проплавлению континентальной коры с формированием основных рифтовых систем, в том числе и с океанической корой (Тургайско-Хатангский рифт). Вулканический этап, по мнению авторов, насчитывал не менее шести фаз. Эффузивы и туфы выделенных соответственно шести магматических комплексов, являясь дериватами глубинной

Составы пород и руд – производных развития уникально платиноносной трапповой РМС

Компо- ненты	Породы и руды								
	1 (2/7)*	2 (13/10)	3 (45/92)	4 (72)	5 (55/27)	6 (1094)	7 (156)	8 (15)	9 (19)
SiO ₂	37,12	38,52	44,84	1,70	45,98	48,87	43,95	3,05	1,75
TiO ₂	0,58	0,60	0,81	0,10	0,71	1,41	0,95	0,06	0,02
Al ₂ O ₃	5,84	10,91	16,72	2,32	19,28	14,08	14,03	4,85	1,90
Fe ₂ O ₃	7,54	6,51	2,87	51,99**	2,51	3,93	4,23	38,72**	32,14
FeO	8,12	12,16	7,54	Нет свед.	6,74	7,58	8,38	Нет свед.	Нет свед.
MnO	0,18	0,17	0,16	0,09	0,14	0,17	0,18	0,06	0,06
MgO	25,85	16,65	10,16	0,27	6,09	8,20	10,40	0,31	0,19
CaO	3,96	6,93	10,57	0,60	11,11	8,81	9,50	0,42	0,16
Na ₂ O	0,57	0,93	1,91	0,16	2,06	2,22	1,83	0,31	0,11
K ₂ O	0,34	0,87	0,74	0,14	1,07	0,92	1,05	0,10	0,08
P ₂ O ₅	0,14	0,14	0,14	0,13	0,12	0,24	0,17	0,08	0,07
S	1,11	2,53	0,21	30,60	0,29	0,112	1,13	30,82	31,59
Cr ₂ O ₃	0,42	0,16	0,07	0,005	0,024	0,039	0,058	Нет свед.	Нет свед.
П.п.п.	7,35	4,22	2,82	Нет свед.	2,18	2,64	1,11	"-	"-
Pt	1,32	1,07	0,06	3,50	0,16	0,005	0,09	3,40	24,20
Pd	3,48	3,23	0,11	13,40	0,71	0,007	0,15	23,10	101,80
Rh	0,17	0,08	0,03	1,24	0,041	0,004	0,02	0,50	0,023
Ni	0,47	0,225	0,026	4,05	0,047	0,036	0,093	4,20	4,48
Co	0,02	0,020	0,005	0,15	0,007	0,006	0,017	0,080	0,060
Cu	0,53	0,44	0,040	4,41	0,099	0,013	0,153	9,20	21,80
V	0,004	0,029	0,025	Нет свед.	0,034	0,026	0,026	Нет свед.	Нет свед.
Zr	0,002	0,002	0,004	"-	0,004	0,014	0,005	"-	"-

Примечания. 1-5 – производные отликвированных в I этапе развития РМС расплавов: 1 – ультрамафитового (плагноклазсодержащий оливинит), 2 – промежуточного по составу (троктолитовый долерит), 3 – мафитового (оливиновый долерит), 4 – высокосернистого (сплошные пирротиновые руды, внедрившиеся в IV этап), 5 – низкосернистого анортозитового (такситовые лейкогаббро, сформировавшиеся в VI этап); 6 – контрастные вулканиты II этапа; 7 – Верхняя Талнахская интрузия; 8, 9 – сплошные кубанитовые (8) и халькопиритовые, талнахитовые, моихукитовые (9) руды – производные V этапа развития РМС.

* В скобках – число анализов: в числителе – силикатных, в знаменателе – количественных спектральных.

Содержания Pt, Pd, Rh, Ni, Cu, Co в 4, 8 и 9 приведены по В.В.Дистлеру (1994).

** Общее железо, пересчитанное на Fe₂O₃.

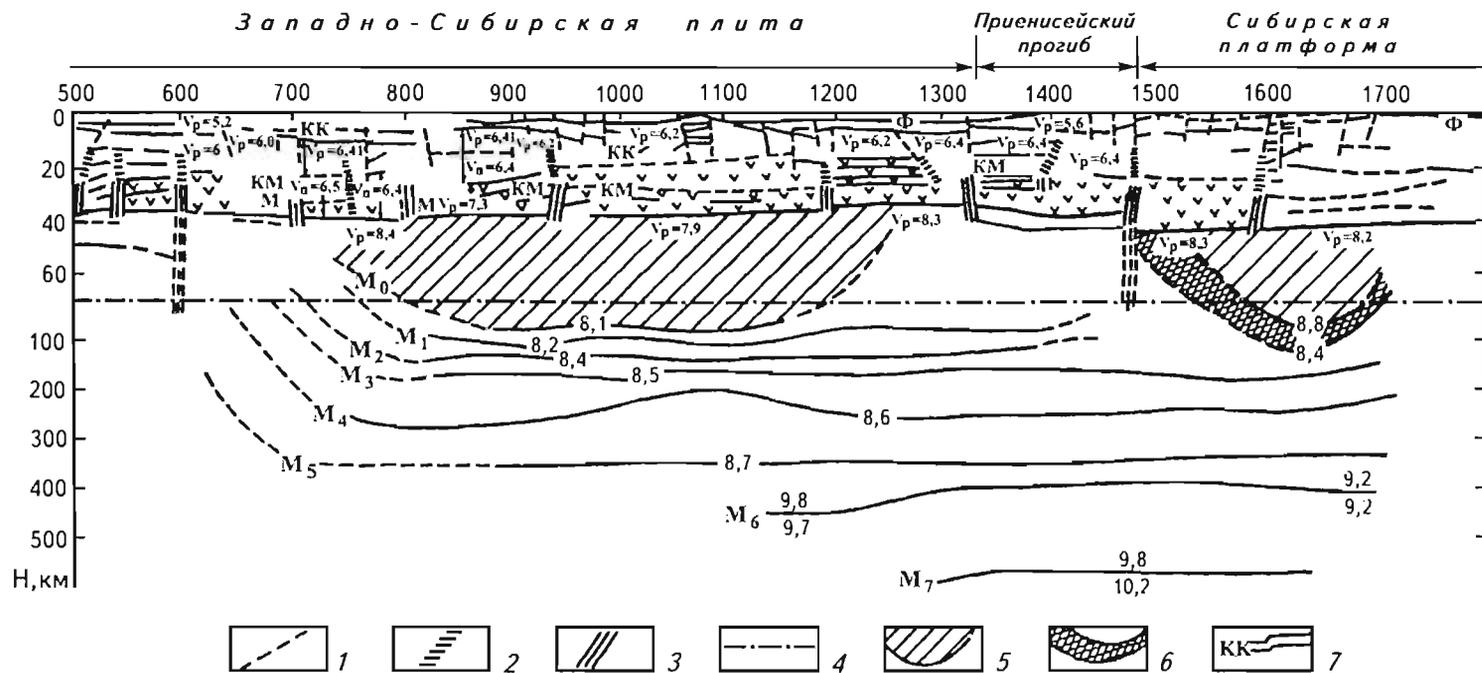


Рис. 59. Интерпретация сейсмологического разреза по линии Березовое – Усть-Мая

1 – разломы в верхней части земной коры; 2 – контакты блоков с разными геолого-геофизическими характеристиками; 3 – глубинные разломы в нижней части коры и мантии; 4 – смена масштаба по вертикали; 5 – астенолитиза; 6 – предполагаемая зона субдукции; 7 – границы: КК – континентальной коры, КМ – океанической коры, Ф – фундамента, М – границы Моховорвичича

дифференциации, должны в принципе располагаться в разрезе каждого из комплексов в антидромном порядке. Тем не менее, вследствие разновременной и разноступенчатой активизации идеализированная схема нередко нарушается наложенным и определенным совмещением фаз и стадий.

Третий, четвертый и пятый этапы близки по времени проявления к вулканическому этапу, а последний протекал позднее. Скорее всего, достаточно быстрому выносу магматических расплавов и флюидов с больших глубин благоприятствовала декомпрессия в открытой системе – зонах глубинных разломов в виде рифтов–сателлитов. Внедрения расслоенной магмы тяготели к дискретным структурам рифтовых трогов на плечах Енисей-Хатангского рифта. Четвертый этап – внедрение сульфидного расплава и камерная ликвация со становлением залежей вкрапленных и сплошных (в основном пирротиновых) руд. Пятый этап – образование ритмической расслоенности и проявление внутрирудного щелочного метасоматоза. Результатом последнего явилось становление зональных рудных залежей (пирротиновые → кубанитовые → халькопиритовые, талнахитовые, моихукитовые руды), уникальных по объемам и содержаниям (до 2 кг/т) платиновых металлов. В шестом этапе происходило формирование руд платинометаллоидной (верхнеталнахский тип), полиметаллической и сурьмяно-мышьяковой формаций, завершение формирования мощных метасоматических и геохимических полей. Таким образом, объем флюидов – важнейший фактор металлонасыщенности интрузивной колонны и РМС в целом.

Очевидно, что магматические камеры (“аккумуляторы”) существовали определенное время в “мертвой зоне” в неравновесном состоянии при превышении флюидного давления над литостатическим в интервале глубин, обусловленном значительным увеличением открытой и эффективной пористости (для Норильского района – 8-12 км). Сохранение сульфидных и силикатных ликвантов в единой камере, скорее всего, означает, что пути их движения обычно совпадали. Вполне можно предположить, что сульфидно-силикатное расщепление происходило в нескольких местах: на мантийном уровне выплавления расплава; в промежуточном глубинном очаге на уровне аккумуляции расплава. Последним (глубинным очагом) являлась, скорее всего, граница Мохоровичича в областях ее деструкции. Именно такие зоны могли быть великолепными ловушками для флюидов. Продолжительность существования этих зон определяли рТ-условия на границе изохимического раздела. Открытие подобного промежуточного очага в области границы Мохоровичича, очевидно, происходило в результате рифтинга и усиливалось значительной декомпрессией. А ведь она как раз и являлась, скорее всего, тем фактором, который способствовал подъему “тяжелого” рудного и “легкого” силикатного расплавов по одному направлению с естественно разной скоростью.

Вероятно, важнейшим или одним из основных факторов существенного обогащения потенциально рудоносных магм платиновыми металлами, медью, тяжелой серой и галогенидами стала ремобилизация толщ высокотемпературными флюидизированными расплавами и растворами – свособразным конвейером вадозных вод. При этом из медистых песчаников (зеленокаменного пояса), возмож-

ных древних медно-молибденовых месторождений и черносланцевых толщ, также могли поступать дополнительно медь, золото, серебро и платиноиды. Если в этих объектах формировались промежуточные очаги, такое вполне возможно.

Таким образом, главные особенности петрогенезиса трапповых РМС с сульфидными платиноидно-медно-никелевыми (норильско-талнахский тип) и малосульфидными платинометалльными рудами (верхнеталнахский тип) – следствие проявления флюидно-окислительной ликвации и внутрикамерной дифференциации с норильским, скаергаардским и малосульфидным платинометалльным (см. рис. 42) трендами, осложненными мощным флюидным массопереносом

Предложенная модель делает возможным корректировку обозначенных ранее О.А.Дюжиковым [90] и авторами [63] важнейших факторов образования норильских гигантов. К таким факторам относятся:

длительное (сотни млн лет) возбужденное состояние литосферного блока земной коры в узле тройного сочленения рифтовых зон, обусловившее растянутую во времени (а частично и в пространстве) сегрегацию мантийных сульфидов из огромных объемов астеносферы на стыке Сибирской платформы, Западно-Сибирской плиты и эпиплатформенного Таймыра;

пермский поддвиг окислительной коры – обогащение сульфидных потоков водой, серой (в том числе тяжелой) и галогенидами;

очень большие объемы флюидов специфического (Cl , H_2 , H_2O , тяжелая сера, CH_4 , N_2) состава, насыщенные платиноидами и медью;

далеко зашедшие процессы дифференциации магматизма – формирование мощного протяженного горизонта (серии покровов) пикритовых базальтов и различных по составу и набору дифференциатов расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузий;

последовательная глубинная ликвация рудоносных мантийных расплавов: отщепление сульфидного платиноносного расплава и последующее поступление его в виде “рудной интрузии” на субабиссальные уровни платформенного чехла; отслоение флюидизированной низкосернистой жидкости анортозитового состава и ее внедрение в верхние части сформировавшейся интрузивной камеры.

Изложенная петрогенетическая модель образования норильских месторождений-гигантов достаточно убедительно объясняет: механизм образования рудных магм, растворов и флюидов, уровней их аккумуляции и транспортировки; очень высокие концентрации МПГ, Au и Cu в рудах и объемы последних; внедрение уникальных платиноидных объектов только на плечах рифтов в Таймыро-Норильской РМС.

Представляется, что авторский подход к созданию петрогенетической модели образования гигантских скоплений никеля, меди, платиноидов и кобальта может быть использован для обоснования становления других уникальных рудных месторождений и не противоречит, а дополняет геодинамические построения В.Е.Ханна, Н.Л.Добрцова, Д.В.Рундквиста и других.

Весьма существенными факторами при создании петрогенетических моделей малосульфидных платинометалльных месторождений становятся важнейшие особенности их локализации и состава:

весьма значительная фазная и ритмическая расслоенность вмещающих массивов и существование в них серии кумулюсных и интеркумулюсных породных групп, серий или зон, образующихся, скорее всего, последовательно и различающихся по составу;

наличие оригинального строения критических зон и горизонтов – рифовых толщ, пачек и рифов, а также такситовых, вариолитовых и ксенолитсодержащих пород;

необычные равные по уровню изменения химизма минералов плутона в целом колебания составов порообразующих минералов указанных критических зон и горизонтов;

постоянное присутствие флюидосодержащих минералов (флогопит, апатит, роговая обманка и др.) и высокие количества хлора в платинометаллических “рифках”;

малые (0,5-1,0%) содержания сульфидов и повышенные – хрома, иногда титана;

совершенно уникальное разнообразие платиновых минералов и неназванных платиноидных фаз на границе сульфид–силикат и в последних;

своеобразие трендов дифференциации рудно-анортозитового (норильского), феррерского, а самое главное – анортозитового платинометаллического, хромитового, титаномагнетитового.

Barnes и Campbell (1988) расширяют, а иногда и повторяют перечисленные особенности, указывая:

на особую грубозернистость залежей относительно окружающих пород и содержание распространенных первичных магматических насыщенных летучими фаз, таких как флогопит и роговая обманка;

обычное прораствание сульфидов поздними интеркумулюсными флогопитом, амфиболами и апатитом;

необычно высокие отношения хлора к фтору в апатите и флогопите из залежей МПГ, указывающие на взаимодействие с обогащенной хлором жидкой фазой, образованной экссолюцией пара из магмы;

рядовую ассоциацию сульфидов с поздним вторичным изменением и водными жидкими включениями;

значительные концентрации графита, в некоторых случаях с высоким содержанием хлора, ассоциирующие с сульфидами и поздними водными фазами в пустотах рудного рифа Меренского и в пределах плагиоклазсодержащего пегматитового пироксенита в комплексе Стиллиуотер;

связь водных фаз, графита, обогащенных хлором растворов и МПГ, особенно типичную для дунитовых трубок, происхождение которых связано с постмагматическим замещением в комплексе Бушвельд;

существование несогласных, насыщенных МПГ сульфидсодержащих “трубок” в Полосчатой серии комплекса Стиллиуотер, что свидетельствует о вертикальном гидротермальном переносе серы и МПГ;

иногда достаточную выдержанность и непрерывность сортировки в залежах МПГ, особенно в рудном теле J-M (менее очевидны в мелком масштабе).

Указанные особенности дают основание отдать предпочтение модели становления малосульфидного платинометалльного рудогенеза – составляющего звена многостадийного процесса формирования рудно-магматической системы, включающего:

предкристаллизационное флюидно-жидкостное расслоение расплава на серию ультрамафит-мафитовых составляющих с оттоком части флюида в вышележащие горизонты;

направленную (от краев к центру камеры) последующую кристаллизацию магмы с формированием зон взаимодействия между кумулатами, основным объемом расплава и остаточной жидкостью;

автономную эволюцию обогащенного флюидами и МПГ остаточного расплава в критических горизонтах и зонах в период завершающих стадий кристаллизации магматической колонны.

Предложенная модель максимально учитывает петрологические особенности платиноносных ритмично-расслоенных массивов и экспериментальные исследования по ним, предполагая, что после предкристаллизационного расслоения расплава его дальнейшая направленная кристаллизация приводит к формированию в значительной мере безводных кумулусных серий с одновременным возникновением наиболее дифференцированного и обогащенного летучими компонентами расплава в центральной мафитовой (норитовой) части магматической колонны. В становлении остаточного расплава в этой части колонны определяющую роль играл “пироксеновый эффект”. Последний состоит в том, что возрастание количества пироксена в кристаллизующейся системе (порode) связано с уменьшением ее проницаемости и, как правило, завершением фильтрации интеркумулусной жидкости. Именно в результате этого: образуются критические зоны и горизонты на определенных уровнях магматической колонны (массива), в которых смена кумулусных фаз и снижение проницаемости пород обуславливает скопление интеркумулусного расплава и его собственную эволюцию; происходит обратно пропорциональный объему расплава рост количества некогерентных, не участвующих в кристаллизации кумулатов, элементов, прежде всего МПГ, большая часть которых переходит в остаточный расплав и накапливается одновременно с уменьшением объема последнего, и только очень небольшая их доля отделялась в сульфидную жидкость с формированием интеркумулусной вкрапленности.

К сложному стрoению и весьма значительной степени структурно-вещественной неоднородности платиноносных критических зон и горизонтов приводит взаимодействие ряда процессов при ведущей роли при этом интеркумулусного расплава, порождающего и сосуществующего с обогащенными некогерентными элементами флюидом. Пересыщенность остаточного расплава флюидной фазой (С, О, Н, S, Cl) и водой, обеспечивающей его деполимеризацию, уменьшает вязкость расплава, понижает температуру кристаллизации и меняет соотношение и последовательность выделения ликвидусных минеральных фаз. Одновременно с формированием кумулусных ассоциаций (зон, горизонтов) протекает некоторое плавление кумулатов вследствие воздействия богатого летучими компонентами

реактивного флюида с формированием пятен такситовых пород. Отделение флюидной фазы при расщеплении расплава (“жидкостной дифференциации”) приводит к возникновению микрозернистых и контрастных по составу (в том числе мноминеральных) пород (анортозитов), а также к становлению богатых летучими компонентами горизонтов, зон и пачек (анортозитовых, норитовых, габбро-норитовых “рифов”) малосульфидного платиностального оруденения, в которых четко прослеживается ассоциация платиновых минералов (как правило, соединений палладия с Sb, Te, Ag, Bi) с флюидонасыщенными водо- и хлорсодержащими силикатами (биотит, паргасит-гастингсит и др.).

Представляется, что формирование крупных масс платинометального оруденения в значительной мере определяется:

первичной обогащенностью магмы в ультрамафит-мафитовых (а также, вероятно, щелочно-мафитовых и щелочно-ультрамафитовых) массивах платиновыми металлами;

восстановленным преимущественно хлористо-водородным характером флюидов, благоприятствующих жидкостной магматической ликвации с возникновением серии ликвантов и остаточного расплава, обогащенного водородом, сероводородом, кальцием, алюминием и другими компонентами – концентраторами МПГ;

наибольшим обогащением некоторых горизонтов, участков, слоев восстановленными флюидами, алюминием и кальцием;

существованием в расплаве зон перехода с восстановленной и окисленной флюидными фазами.

В благоприятных геодинамических обстановках становление платиноносных массивов – итог наложения и совмещения четырех процессов: 1) жидкостно-флюидной ликвации; 2) кристаллизационной флюидной внутрикамерной дифференциации и многофазного расслоения; 3) многофазного внедрения; 4) внутрирудного и околорудного метасоматоза в платиноносных или околоплатиноносных зонах.

Авторская модель формирования крупных и уникальных месторождений платиносодержащего углеродистого типа учитывает влияние экзогенного (осадочно-хемогенного), флюидно-магматогенного и метаморфогенного источников. Существенное значение первого из них подтверждается:

отчетливыми корреляционными связями золота и платиновых металлов с углеродом, серой и рядом других элементов, а также литологическим контролем их размещения с присущим седиментогенезу в океанических и морских бассейнах накоплением рудообразующих компонентов в пелитовой фракции;

преобладанием в составе битуминоидов углеродистой основы алифатических и алициклических (в меньшей степени) соединений гуминовых кислот, концентрирующих (в 2-7 раз выше кларка) и аккумулирующих Au, МПГ?, Co, Ni, Cu, а также характеризующих сапропелитовую природу органики и ее накопление в восстановительной среде при сероводородном брожении;

превалированием в рудоносных черных сланцах биогенного легкого изотопа углерода ($\delta^{13}\text{C} = -26,6 \dots -31,3\%$).

Уместно особо подчеркнуть, что преимущественное накопление Au, МПГ и $C_{орг}$ связано с седиментогенезом, а диагенез обуславливает частичную трансформацию связей между ними, перераспределение и концентрирование рудных элементов в горизонтах, обогащенных серой. Вполне вероятно при этом присутствие благородных металлов в виде карбониллов ($Ru(CO)_5$, $Rh(CO)_5$, $Ru_3(CO)_{12}$, $Ir_2(CO)_8$ и др.), а не только в примесной форме. Термическая диссоциация ($M_x(CO)_y \rightarrow xM + yCO$) приводит к переходу в самородные фазы, образующие при разложении в сероводородной среде достаточно разнообразные платиносодержащие и платинометалльные соединения.

Особую значимость флюидно-магматогенного источника определяют и подчеркивают:

достаточно продолжительное в геологическом времени в платиноносных структурах развитие вулканизма и интрузивного магматизма при увеличивающейся роли (сравнительно молодых) высокомагнетизальных магм с относительно повышенным содержанием щелочей и углекислотных флюидов, для которых присущи (Рехарский, Коваленко, Петровская и др., 1984) повышенные количества цветных и благородных металлов – своеобразный источник формирования сложных эндогенных углеродистых соединений [63];

сравнительно высокие содержания Au (0,2-1,8 г/т), МПГ (0,18-0,78 г/т) и углеродистого вещества в различных по составу вулканоинтрузивных образованиях (риодацитах, пикробазальтах и др.) и слагающих их силикатах;

характерный базальтоидный тренд возрастания содержаний МПГ: $Pd \cdot Rh > Ru > Ir > Os$;

высокая вероятность неоднократного поступления в рудообразующую систему восстановленных трансмагматических флюидов и летучих компонентов (C—O—H—N), обогащенных Ni, Co, Zn, Cu, Ti, Mn, V, Au, Ag, МПГ (Попивняк и др., 1980; Дж. Даусон, 1983);

вхождение в рудные минеральные парагенезисы графита, станнида палладия ($PdSn_2$), касситерита и других минералов, свидетельствующих о важной роли восстановленных условий в становлении рудообразующей системы высокоуглеродистого типа;

результаты экспериментальных исследований и термодинамических расчетов (Голд, 1986), показывающих весьма существенную роль в мантийных флюидах углеводородов. Окисление последних при поступлении в зоны осадконакопления по схеме $CH_4 + CO_2 = 2C + H_2O$ и обуславливает, скорее всего, образование платиносодержащих черносланцевых формаций [33].

Региональный метаморфизм и метасоматоз, связанные с ними гидротермальные процессы обуславливали перераспределение (вполне возможно, значительное) рудного вещества и его накопление в приуроченных к разломам крутопадающих протяженных (до 6 км) рудных тел кшенского типа, обогащенных золотом (до 13,6 г/т) с рядовыми содержаниями МПГ (0,3-0,5 г/т), входящих в единую полихронную и полигенную рудообразующую систему тимского генотипа.

А.В.Савицким с соавторами [80, 91] был предложен вариант семиэтапной осадочно-флюидно-магматической модели становления потенциально промышленно значимых месторождений уницкого подтипа онежского типа, охватывающий не менее 500 млн лет.

Для первого осадочно-диагенетического этапа (2300-2200 млн лет) характерно накопление углеродистых отложений, происходящее в прибрежной зоне внутриконтинентального мелководного (до 50 м) бассейна с повышенной концентрацией SO_4^{2-} , обеспечивающей образование сульфидных фаз. Здесь при размыве гранитоидных интрузий, черносланцевых толщ архея и раннепротерозойских мафит-ультрамафитовых массивов (Бураковский и др.) поступают МПГ, Au, Ag, Ni, Cu, V, U, Mo, K, Ba, P. Подводные базальтоидные магматизм и гидротермальная деятельность обеспечивают биостимуляцию осадконакопления и дополнительное обогащение черносланцевых толщ МПГ, V, Ni, Ag, S, C; при диагенезе и сопутствующей трансформации связей между названными элементами происходит их концентрация в обогащенных серой слоях. Итогом является формирование прослоев платиноносных шунгитоносных сланцев, содержащих углеродисто-пиритовые и сульфидные конкреции.

Во второй вулканогенно-интрузивный этап (позднеезаонежское время, 2200-2100 млн лет) происходило образование покровов толстолистовых базальтов, силлов и даек долеритов, а также контактово-метаморфических пород.

Третий – флюидно-метаморфический (фашия зеленых сланцев, 2100-2000 млн лет) этап обуславливает дифференцированное перераспределение МПГ и Au, возникновение сульфосолей Pb, Bi, Ag с Pt и Pd, образование и миграцию битумоидов сложного состава, зачастую обогащенных платиновыми металлами. В разрезе заонежской свиты формируются прослои (0,3-2,0 м) шунгитовых пород с граммowymi концентрациями платиноидов. Скорее всего, именно в это время происходил дополнительный привнос платиновых металлов и углерода восстановленными ювенильными флюидами, связанными, по мнению А.А.Маракушева [33, 62], с очагами генерации щелочных магм. Результатом эндогенных процессов является образование в разрезе заонежской свиты пластов черных сланцев с повышенными содержаниями МПГ (до 5 г/т) и Au (до 1 г/т) и самостоятельными выделениями платиновых металлов.

В четвертый и пятый этапы – вулканогенно-интрузивный и метаморфо-метасоматический (2000-1900 млн лет) – происходило внедрение даек, силлов и небольших интрузий платиноносных перидотитовых коматитов, пикритов и габбро-долеритов в условиях внутриконтинентального рифтогенеза. Газово-флюидная составляющая обеспечивает привнос еще одной “эндогенной порции” МПГ (и C), что усиливает контрастность размещения платиновых и других металлов, расширяет спектр платиноидов и их минеральных форм. Образуются приразломные сульфидизированные кварц-карбонат-шунгитовые прожилки с содержанием МПГ до 7 г/т. Появляются сложные битумоиды, асфальтосмолистые малоподвижные фракции нафтоидов, содержащие минералы МПГ. Продолжающийся метаморфизм фашии зе-

ленных сланцев обуславливает экстракцию МПГ из субстрата, их мобилизацию и перераспределение, изменение связей между благородными металлами и углеродом – происходит распад сложных Pd-Pt-содержащих сульфосолей Bi, Pd, Cu и Ag с формированием минеральных фаз более простого состава – интерметаллидов (Bi-Pd, Au-Ag и др.) и, как следствие, образуются обогащенные МПГ (до 10 г/т) горизонты, слои и линзы углеродистых пород в составе стратиформных залежей.

В последующие метаморфо-метасоматический, флюидно-магматический и гидротермально-метасоматический этапы свекофенского времени (1900-1700 млн лет) завершается формирование стратиформных золото-платиносодержащих руд уникального подтипа. Названные процессы обеспечивают максимальное извлечение МПГ и Au из черносланцевого субстрата и платиноносных магматитов бураковского, пудожгорского и других комплексов с появлением самостоятельных, в том числе самородных минеральных фаз Pd, Au, Ag и Bi в окончательно сформированных стратиформных рудных телах, в которых количество палладия может достигать 25 г/т, платины – 1,5 г/т и золота – 7 г/т.

Предложенная А.Ф.Коробейниковым модель формирования крупных и уникальных месторождений углеродистого типа в офиолитовых поясах включает процессы астеносферного диапиризма, мантийного и внутрикорового метасоматизма [28].

Механизмы концентрирования благородных металлов в черных сланцах в последнее время были достаточно детально рассмотрены Н.П.Ермолаевым и Н.А.Созиновым с соавторами [39]. Они отмечают: “С органическими комплексами золота активно реагируют галогениды других металлов (Hg, As, Cu, Zn, K и др.). Для нас важно знать, что среди таких комплексов могут быть хлориды платины и палладия (Паддерферст, 1982). При этом различные благородные металлы войдут в единую высокоуглеродистую молекулу. Диалкилгалогениды Au (III), а также золотосодержащие мостиковые и циклические структуры ... обеспечивают возможность активного захвата благородных металлов (золота, серебра, платиноидов) нормальными алканами, входящими в состав битумоидов сапропелевого происхождения... как при седиментогенезе, так и при последующем катагенетическом преобразовании терригенно-углеродистого материала благородные металлы могут локализоваться и в органических, и в минеральных фазах...” [39, с. 43-45].

Приведенные материалы, а также данные [9, 10, 19, 26, 36, 44, 62-66, 84, 90, 91, 98, 101, 109] дают веские основания предположить, что платиносодержащие месторождения углеродистого типа являются полигенными и полихронными. Они сформировались при участии разновозрастных (в том числе дометаморфических) экзо- и эндогенных процессов, обусловивших накопление геохимически специализированных углеродистых отложений, извлечение, миграцию (с перераспределением) металлов и других полезных компонентов из субстрата, дополнительный привнос целого ряда рудных и нерудных элементов из глубинных источников и в результате – *образование богатых, крупных залежей минерального сырья.*

Пока авторы не нашли причин, чтобы опровергнуть свой собственный, высказанный три года назад, тезис [44] о локализации и формировании платиноидных месторождений-гигантов в приуроченных к рифтогенам рудообразующих систе-

мах сложного строения и длительного (до нескольких сотен миллионов лет) многоэтапного развития.

Сохраняют свое значение и важнейшие сформулированные авторами ранее следующие особенности подобных месторождений:

длительность и многопроцессность рудообразования при значительных и весьма значительных объемах мантийных флюидов;

сложное полизональное строение входящих в связанные со следами горячих точек рифтогены рудно-магматических и рудно-метасоматических систем;

совместное проявление нескольких минерало-геохимических типов и подтипов руд, закономерно распределенных в таких системах (сульфидный и малосульфидный в Норильских, малосульфидный и хромитовый в Бураковском, сульфидный и титаномагнетитовый в Чиньском месторождениях и др.);

полиэлементность (~90 элементов) и полиминеральность (~100 платиновых фаз) руд в одном объекте;

многоэтапность и многостадийность минералообразования, продемонстрированная в рассмотренных моделях формирования;

различная размерность минеральной (нано-, микро- и макроминеральной) и изоморфной форм и достаточно значительная изменчивость их соотношений;

значительная изменчивость составов минералов в двойных, тройных и более сложных системах;

приуроченность россыпных и техногенных месторождений;

проявления рудно-анортозитового и анортозитового трендов расслоения и рудогазеза.

ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ ПЛАТИНОИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ранее авторами [70] на основании учета особенностей локализации, закономерностей строения рудно-магматических систем и воздействия массивов на природные объекты различных типов и ряда других параметров были выделены категории, группы, подгруппы и ассоциации прогнозных критериев, из которых одни относятся к самой РМС, а другие – к признакам интрузивных массивов.

Так, было показано, что среди прогнозных критериев РМС важнейшими являются: геодинамические, формационные, магматические, структурно-тектонические, литолого-стратиграфические, интрузивные, метаморфо-метасоматические, минерало-геохимические и геофизические; а к ведущим модельным признакам рудоносных массивов относятся морфология, размеры (мощность, протяженность, объем), внутреннее строение, количество и состав минералов, петрогеохимические, геохимические и петрофизические характеристики пород.

Это было сделано в 1994 г., а после изучения авторами практически всех типов платиноидных месторождений (естественно, в разной мере) стало совершенно очевидно, что намеченных критериев недостаточно, причем недостаточно даже для прогнозирования платиноносности только магматических месторождений. Авторами были предложены варианты разработанных совместно с Л.Л.Тарновецким, Ю.Н.Седых, А.П.Никитичевым и В.М.Ступаком технологии прогнозирования и поисков месторождений сульфидного и малосульфидного типов [19, 44, 63]. А.Ф.Коробейниковым [28] подобная технология была создана для прогнозирования и поисков месторождений углеродистого типа. Выше, в ряде разделов были показаны важность и огромная значимость для прогнозирования и эндогенного, и полигенного оруднения геохимических и геофизических полей. Особое значение первых следует из того, что все рудно-магматические и рудно-метасоматиче-

ские системы представляют собой совокупность геохимических полей всех уровней концентрирования в понимании Л.В. Таусона [89]:

интенсивного, сверхинтенсивного и уникально-интенсивного: сплошные и вкрапленные в эндоконтактах интрузивов сульфидные и хромитовые руды; платинометалльные рифы анортозитов; березиты, листвениты, аргиллизиты с золото-платиноидными рудами, сами руды и т.д.;

среднего: вкрапленные в интрузивах сульфидные, титаномагнетитовые, апатит-магнетитовые и хромитовые руды; рифовые пачки: орсолы платиноидных залежей;

низкого: орсолы платиноидных массивов сульфидного, малосульфидного, хромитового и других типов.

Далее авторам стало очевидно, что критерии размещения и генезиса платиноидного оруденения наиболее надежно выявляются при разработанном Л.Н. Дуденко [21] и авторами [16, 17] ступенчатом компонентном анализе распределения петрогенных и малых элементов (любых других параметров) магматогенных (в принципе, и любых других) образований. При этом проводятся следующие операции:

строится компонентная диаграмма в плоскости двух первых факторов, у каждого элемента (другого параметра) на месте правого нижнего индекса проставляется величина нагрузки, умноженная на 100;

на плоскость первых двух факторов наносятся фигуративные точки всех анализов (других групп параметров), группирующиеся в фигуративные поля формы эллипса для разновидностей пород, типов платинометалльных и платиносодержащих руд, составных частей и в целом рудно-магматических систем (РМС). У конца осей выписываются параметры (элементы), возрастающие в данном направлении: полярная ассоциация элементов-параметров является приближенной характеристикой петрографического (петрогенетического) тренда дифференциации;

устанавливаются сходные и резко различные направления главных осей разных групп (типов, комплексов, массивов, РМС);

все группы, имеющие сходное направление изменчивости, объединяются и обрабатываются отдельно; если после этого сходство трендов сохраняется, то такие группы объединяются в один петрогенетический тип. При различиях в трендах производится разбивка типов на подтипы и выявляются их направления изменчивости;

строится классификация групп с выделением разноперспективных в отношении металлов платиновой группы (МПГ) петрографических классов, типов, подтипов и т.д. Таким образом, под трендом понимаются особенности взаимосвязей химических элементов и любых других параметров объекта во времени и пространстве.

Подобный анализ выполнен авторами для Таймыро-Норильской и Кольской платиноносных провинций, Бушвельдского, Стиллутерского и Скаргаардского массивов. В результате установлены три тренда эволюции платиноносных РМС: боуэновский (Si Na K Zr (Al) ↔ Mg Ca Al Cr Ni Co V S), норильский [14] – рудно-анортозитовый (Mg Fe² Fe³ Cr Ni Cu Co S (Pt Pd Rh Au) ↔ Ca Ti Al Na K Zr (S)) и малосульфидный платинометалльный (Fe² Mn Mg Co Ni Cu ↔ Al Na Ca Fe³ K Rh Pt

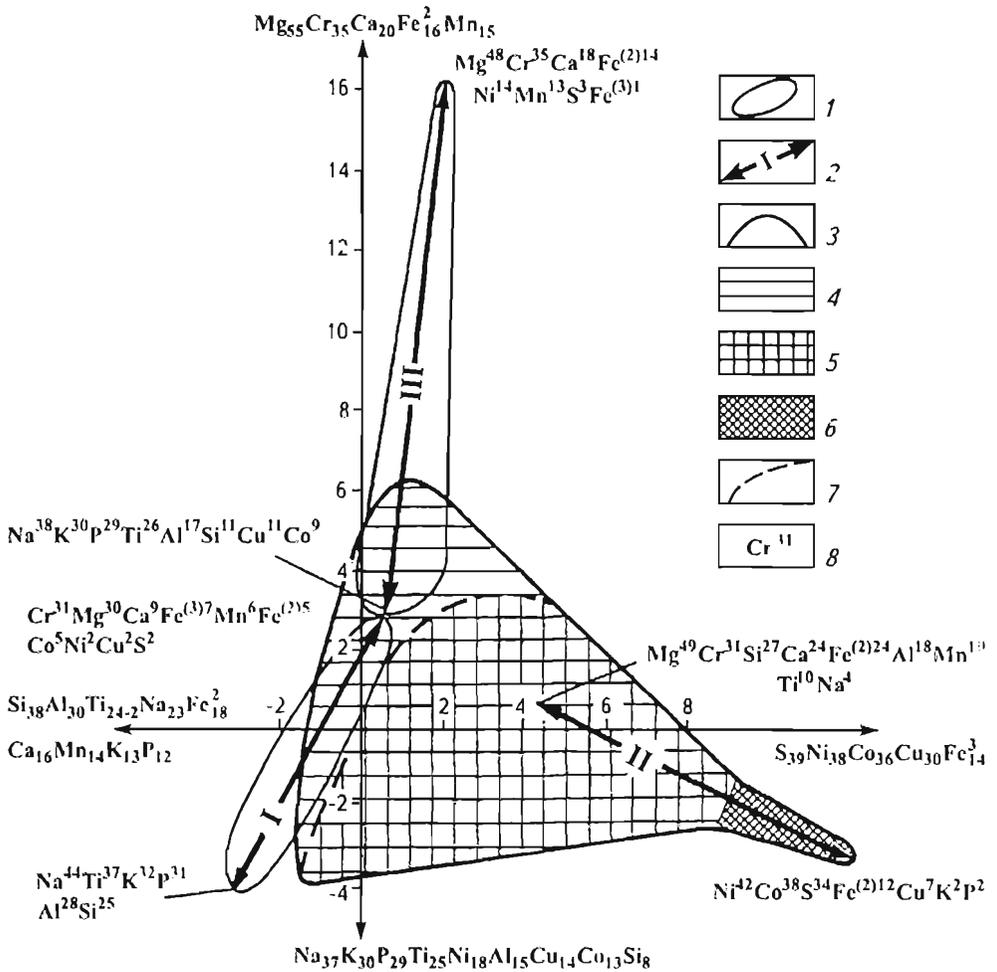


Рис. 60. Петрогенетическая модель Норильско-Хараелакской РМС ($n = 955, m = 16$)

1 – фигуративные поля пород разного состава; 2 – главные тренды в группах; 3 – граница фигуративного поля оруденелых пород и руд; 4 – область бедной вкрапленности и слабого оруденения; 5 – область богатой вкрапленности; 6 – сплошные руды; 7 – граница области богатой рудной вкрапленности; 8 – элементы, входящие в формулы компонент

Pd (S); рис. 60, 61). Первый из перечисленных трендов с положительной корреляцией Mg и Al характеризует магматические серри, образующиеся при кристаллизационной дифференциации в условиях пониженного флюидного давления, второй и третий (отрицательная корреляция Mg и Al) возникают скорее всего при кислотно-основном взаимодействии компонентов на фоне высокого флюидного давления.

При рассмотрении детализующих компонентных диаграмм устанавливаются породы определенного состава – прямые петрографические признаки размещения платиноидного оруденения: габбро-диориты в Талнахском, анортозиты и габбро-нориты в Федорово-Панском, меланократовые нориты в Имандровском, пегматитовые

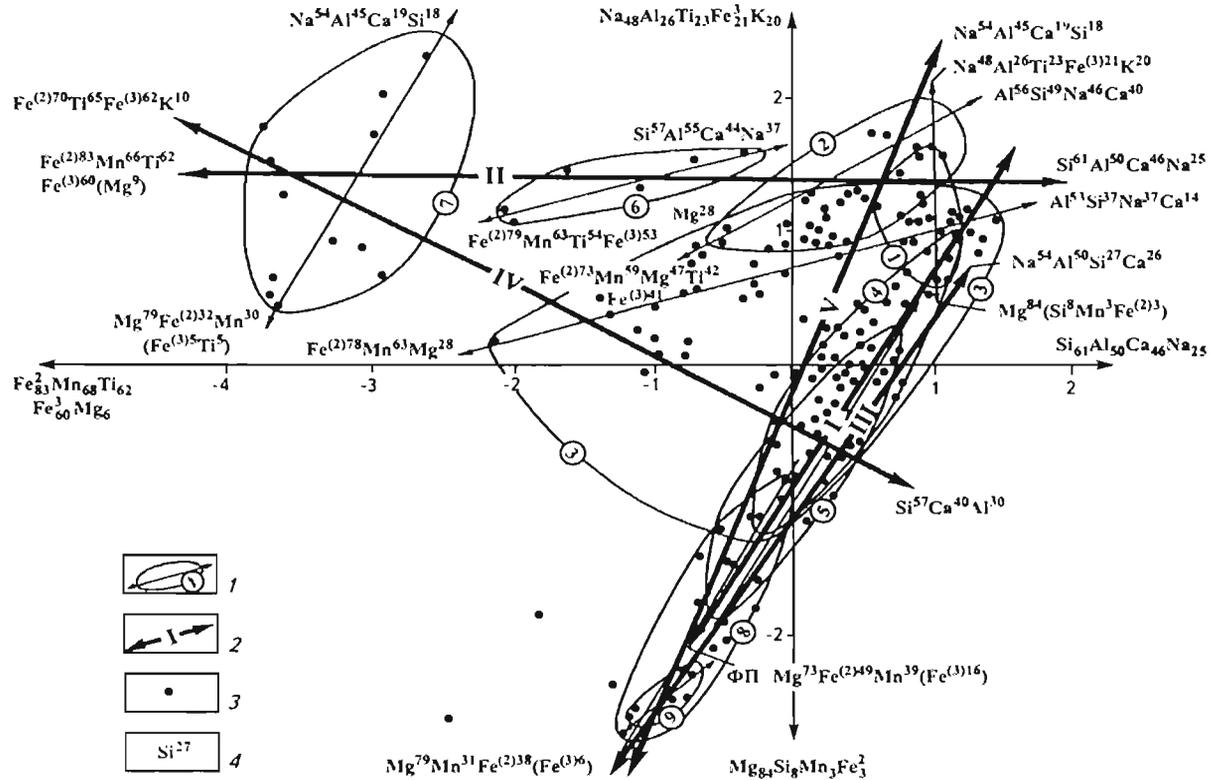


Рис. 61. Петрологическая модель Центрально-Кольского платиноносного расслоенного плутона ($n = 860$, $m = 10$)

1 – фигуративные поля составов пород и проявленные в них тренды: 1 – граниты, гранодиориты и кварцевые диориты субщелочные и щелочные, 2 – диориты, габбро-диориты, габбро-анортозиты субщелочные и щелочные, 3 – габбро, 4 – габбро-нориты, 5 – нориты, 6 – феррогаббро и ферродиориты Цагинского и Имандровского массивов, 7 – титаноносные троктолиты Цагинского и ферроперидотиты Скаергаардского массивов, 8-9 – пироксениты и перидотиты Федорово-Панского (8), Стиллаутерского (9) массивов; 2 – ведущие тренды дифференциации массивов: I – Федорово-Панского, II – Цагинского и Скважинного, III – Стиллаутерского, IV – Скаергаардского и Имандровского, V – Бушвельдского; 3 – фигуративные точки составов пород и руд; 4 – элементы, входящие в формулы компонент

породы в Мончегорском массивах и т.д. Так, при изометричности фигуративного поля габбро-диоритов Талнаха в нем превалирует типичный рудно-анортозитовый тренд. Именно это свидетельствует о важнейшей роли рассматриваемых пород (универсальный петрографический критерий) при оценке интрузий на богатое сульфидное платиноидно-медно-никелевое оруденение. Породы такого состава, структуры, соотношения породообразующих и рудных минералов образуются только в массивах норильско-талнахского типа с богатым платиноидным оруденением. В принципе положительным критерием платиноносности служит и выявление в массиве троктолитов, плагиоклазсодержащих оливинитов и пикритов, а в его ореоле магнезиальных скарнов и серпентинитов, характеризующихся своим специфическим трендом (см. рис. 60, тренд III). Только наложением процесса рудообразования на дифференциацию, вероятно, можно объяснить петрохимические особенности этих пород. Их большая часть, по мнению авторов, образована из сульфидно-силикатной ультрамафитовой жидкости, отслоенной в абиссальных условиях (в мантии или промежуточном очаге). Метасоматоз при понижении температуры приводил к формированию типичных метасоматических колонок, повторной концентрации рудных элементов и образованию зональных залежей с уникально обогащенными МПГ кубанитовыми, халькопиритовыми, талнахитовыми и монхукитовыми рудами. Как видно из рис. 60 (тренд II), сплошные платиноносодержащие (с медью и никелем) руды оторваны от типичных магматитов на линии рудно-анортозитового тренда, что свидетельствует, по крайней мере, о бимодальности магматического очага. В то же время построения только для мафит-ультрамафитов компонентная диаграмма дает основание выделить группы промышленно платиноносных, платиноносных, слабоплатиноносных и безрудных мафит-ультрамафитов. Все группы отличаются типичным норильским рудно-анортозитовым трендом. От первой группы к четвертой в левой части тренда уменьшаются нагрузки на рудные компоненты до полного исчезновения последних, а в правой части тренда почти в 1,5 раза снижается суммарная нагрузка на алюминий и кальций, т.е. уменьшение проявленности анортозитовой тенденции влечет за собой снижение платиноидной значимости мафит-ультрамафитов, а следовательно, является отрицательным поисковым признаком на промышленное платиноидное оруденение.

В анортозитах Федорово-Панского массива устанавливаются четкие тренды: рудно-анортозитовый дифференциации и анортозитовый платинометалльный оруденения. Сохраняется последний и в габбро-норитах, однако в связи с изменением состава пород, вмещающих малосульфидное платинометалльное оруденение, при почти полной тождественности левой части тренда оруденения его правая часть отличается инертностью алюминия. А тренд дифференциации почти полностью аналогичен анортозитовому тренду расслоения Федорово-Панского, Бушвельдского и Стиллаутерского массивов (см. рис. 61) с увеличением нагрузок на кальций (до 36) и алюминий (до 59) в анортозитовой части тренда. И еще больше возрастает нагрузка на алюминий (до 86) в тренде дифференциации оруденелых норитов при достаточной сопоставимости тренда дифференциации. На петрографи-

ческой модели пироксенитов и перидотитов Федорово-Панского и Стиллуотерского массивов тренды дифференциации и оруденения сливаются в один анортозитовый платинометалльный тренд ($Mg\ Cr \leftrightarrow Al\ Na\ K\ Ti\ Pd\ Pt\ Pb\ S\ Cu\ Ca$). Построенные компонентные диаграммы для Федорово-Панского, Бушвельдского и Стиллуотерского массивов (см. рис. 61) имеют и фундаментальное значение, так как подчеркивают удивительное петрогенетическое единство всех расслоенных плутонов, включающих критические зоны с рифами, вмещающими богатое малосульфидное платинометалльное оруденение.

Четко прослеживается анортозитовая тенденция формирования платиносодержащего хромитового оруденения в Имандровском массиве на петрографической модели меланократовых норитов. На компонентной диаграмме оруденения Имандровского лополита тренд, связывающий платиносодержащие хромитовые и высокованадиевые титаномагнетитовые руды, преобразуется в $Mg\ Cr\ Mn\ Ni\ Fe^{2+} \leftrightarrow \leftrightarrow Ti\ Fe^{3+}\ Na\ S\ K\ P\ Si\ V\ H_2O\ Al\ Cu\ Co\ Ca$, показывающий значительную роль анортозитовой тенденции и в становлении этого типа руд.

Необходимо подчеркнуть, что породы всех расслоенных массивов центральной части Кольской провинции на сводной компонентной диаграмме (см. рис. 61) образуют единое фигуративное поле с рудным – скаергаардским анортозитовым трендом, приводящим к формированию платиносодержащих ванадиево-титаномагнетитовых руд; для расслоенных платиноносных серий ведущий тренд – типичный норильский (рудно-анортозитовый). Тесное петрогенетическое родство рядов пород Федорово-Панского, Имандровского, Мончегорского и других массивов, скорее всего, свидетельствует об их образовании из единого магматического очага и о принадлежности к крупному расслоенному плутону – Центрально-Кольскому (северная часть рассмотренного выше Балтийского расслоенного комплекса), аналогичного Бушвельдскому с комплексным оруденением: малосульфидным платинометалльным, сульфидным платиноидно-медно-никелевым, платиноидно-хромитовым, платиносодержащим ванадиево-титаномагнетитовым.

Тесная связь платинометалльного оруденения с анортозитовой тенденцией магмо-рудогенеза свидетельствует, вероятно, о формировании МПГ из самостоятельной флюидизированной жидкости анортозитового состава. Таким образом, развитие в расслоенном массиве пород подобного состава – анортозитов, такситовых лейкогаббро, габбро-диоритов и т.д., является важнейшим петрографическим критерием генезиса платинометалльной минерализации.

Проведенные исследования по петрографическому моделированию расслоенных интрузий и рудных залежей Таймыро-Норильской и Кольской провинций, а также ряда зарубежных платиноносных массивов позволили выявить и разномасштабные петрогенетические критерии размещения платинометалльной минерализации.

К наиболее значимым перворанговым критериям относятся данные о бимодальности магматического очага Талнахского массива и о возможности образования рассмотренными интрузивами Центрально-Кольского района единого одноименного плутона. Первое свидетельствует о возможностях открытия богатых за-

лежэй сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд вне самих расслоенных трапповых интрузий – “оторванных” или “отщепленных” залежэй. Это положение даст основание пересмотреть перспективы промышленной платиноносности всех рудных узлов Таймыро-Норильской провинции. Точно так же предположение о наличии крупного расслоенного Центрально-Кольского плутона с комплексным оруденением значительно расширяет перспективы одноименного района на платиноидное и, в первую очередь, на малосульфидное платинометальное (типа рифа Меренского) и платиноидно-хромитовое (типа UG-2) оруденение и *обязывает пересмотреть направления геологоразведочных работ в восточной части Балтийского щита.*

Положительным критерием промышленной рудоносности второго ранга является доказанная нами полная геохимическая (и петрогенетическая) тождественность пород северных флангов Талнахского рудного узла аналогичным образованиям центральной и южной промышленно платиноносных частей. Это означает единство исходного магматического расплава с достаточно равномерной обогащенностью рудными компонентами, в том числе и платиновыми металлами, и в принципе позволяет предполагать, что в благоприятных тектонических структурах северных флангов Талнахского рудного узла также могут быть сформированы залежи богатых сульфидных платиноидно-медно-никелевых и малосульфидных платинометальных руд. Их залегание (в случае наличия) на значительных глубинах переводит проблему из поисковой в научную.

Поисковым критерием третьего ранга, а следовательно, наиболее важным при оценке реальной платиноносности является установление рудно-анортозитового тренда для сульфидного платиноидно-медно-никелевого и анортозитового – для малосульфидного платинометального и платиноидно-хромитового оруденения. *Это открывает прямые возможности определения перспектив реальной платиноносности конкретных массивов, отдельных горизонтов и выходов магматитов или метаморфо-метасоматитов.*

Следующий шаг – подбор необходимых и достаточных геологических, геофизических и геохимических методов для картирования (обнаружения) в пространстве прогнозно-поисковых критериев и признаков платиноидных полей, зон и самого оруденения. Это и было сделано специалистами ВНИИОкеангеологии и ряда других организаций (ГП “ЭГГИ”, ВИРГ–Рудгеофизика) [19, 44, 63, 79, 96]. Новизна заключалась в совершенствовании традиционных аппаратурно-методических комплексов и развитии пионерных направлений рудной невзрывной сейсморазведки (В.М.Ступак), электроразведки и прикладной геохимии. При проведении полевых работ первыми двумя методами были обеспечены возможности активного многократного воздействия на геологическую среду, что существенно повысило достоверность результатов. При камеральной обработке последних впервые использовались приемы, не имеющие аналогов в практике рудной геофизики и геохимии (см. выше). Были расставлены приоритеты применения тех или иных видов и методов геофизики в их наиболее эффективных сочетаниях на разных этапах исследований с другими геологическими и геохимическими методами и рациональ-

ным (без излишних затрат) использованием структурно-поискового бурения. На основе прогнозно-геолого-геохимического и физико-геологического моделирования были также существенно конкретизированы геологические задачи и способы их решения в зависимости от применяемых методов для каждого из этапов (стадий) новых технологий. На конечном этапе формируется физико-геологическая модель месторождения, что обеспечивает прямой переход к геолого-экономической оценке с выделением площадей с запасами категории C_2 и прогнозных ресурсов P_1 . Так, например, в конце 80-х годов в Норильском районе сложилось положение, когда при устойчивой оптимистической оценке высокого потенциала района его реальные прогнозные ресурсы благородных и цветных металлов оказались сосредоточенными только в пределах эксплуатируемых рудных полей – Талнахско-Октябрьского и Норильского. Это объяснялось тем, что используемые методы, главным образом ГСР-50 со вспомогательными методами гравимагниторазведки и электроразведки МПП, ВЗЗ и другие, во многом исчерпали свои возможности, особенно на требуемых для оценки глубинах (до 3 км) залегания перспективных рудовмещающих горизонтов. Глубины в 3-3,5 км, доступные для проверки бурением, определили в конечном итоге требования к разрешающим возможностям новых технологий ведения поисковых работ.

В приложении к региональной стадии изучения Норильского района впервые на основе концепции тектоники плит был сформулирован новый взгляд на динамику его геологического развития на этапе рудогенеза как системы малых рифтовых трогов. Определены геохимические аспекты рудного процесса и показана бимодальность магматического очага (см. рис. 60), обусловившая генетическую оторванность сплошных медно-никелевых руд от расслоенных массивов. Основной комплекс методов на Дьянгинской площади на стадии специализированных поисков на богатое сульфидное оруденение включал сейсмо- и электроразведочные работы, геофизические исследования скважин и геохимические работы. На завершающем этапе для уточнения физико-геологических моделей отдельных перспективных участков северных флангов Талнахского рудного узла и предполагаемых новых интрузивных ветвей были выполнены тотальная сейсморазведка, профильные магнитно-теллурические зондирования и специализированные минералогическо-геохимические работы. Материалы бурения были также использованы в полном объеме в качестве составной части новой технологии.

Применительно к геологической позиции известных в Норильском районе месторождений сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд для оценки Дьянгинской площади и выбора наиболее перспективных участков, доступных проверке бурением, ведущим методом явилась сейсморазведка – МОГТ, несущая, в отличие от других геофизических методов, прямую информацию об условиях залегания геологических объектов до глубин 5-7 км, поэтому на начальном этапе были использованы собственно структурные возможности сейсморазведки [62, 63]. Кроме решения структурных задач, впервые для рудных районов этот метод был применен и для прямых поисков крупных рудных объектов, чему способствовала оригинальная система дифференциальной обработки материалов. Основой метода

дифференциальной сейсморазведки (МДС) являются локальные преобразования исходных сейсмических данных с получением шести петрофизических параметров: структурного, амплитуды, частоты, средней и интервальной скоростей, отношения фаз. На базе теоретического обобщения многолетних полевых и лабораторных петрофизических измерений, подтвержденных экспериментальными сейсмическими наблюдениями, В.М.Ступаком была разработана технология петрофизического моделирования (ПФМ), позволяющая осуществлять интерактивный подбор акустических характеристик среды и синтезировать на их основе сейсмические волновые поля. Данные ПФМ совмещаются с данными ВСП, МОГТ, МДС, что способствует расшифровке экспериментальных сейсмических разрезов.

Рудные залежи, как показали результаты исследований, характеризуются высоким поглощением, снижением интервальной скорости, повышенной акустической жесткостью и геохимическими полями разного уровня концентрации. Серия таких зон, отличающихся компактностью, сейсмической выразительностью и явной инородностью по отношению к вмещающему разрезу, была обнаружена на Дьянгинской площади и рекомендована к проверке бурением.

Важную нагрузку при решении поисковых задач по новой технологии несут методы электроразведки, включающие метод мелкомасштабного заряда в оригинальном, впервые примененном варианте пространственно совмещенных съемок. Работами ММЗ, проведенными на площади Талнахского рудного узла, показано, что практически при любых размещениях зарядных скважин принципиальная структура геоэлектрического поля сохраняется, подчеркивая местоположение и морфологию проводящих рудных объектов, а также отражая дополнительные геоэлектрические явления, связанные с термальным метаморфизмом боковых пород на флангах рудного поля. Наиболее устойчивым и доминирующим элементом поля является главная электрическая ось, следующая простиранию Талнахского интрузива, контуры которого очерчиваются изолинией 50 Ом/м. На северо-восточном участке съемки ММЗ был выявлен проводник компактной удлиненной формы, интерпретируемый Ю.Н.Седых как новая Верхнехарахлакская ветвь и рекомендованный к проверке бурением. Собственно Талнахское рудное поле достаточно уверенно выделяется в геоэлектрическом поле при заряде в руду и менее уверенно – при заряде вне рудных горизонтов, а также геохимическими полями низкого уровня концентрации. Методику мелкомасштабного заряда можно и нужно рассматривать в качестве необходимого составного элемента прогнозно-поискового комплекса на богатые руды для Норильского района в условиях перекрывания рудомещающих горизонтов мощной (до 1-3 км) толщей вулканогенных образований. Идеализированная упрощенная схема съемок применительно к масштабу 1:200 000 подразумевает бурение зарядных скважин в узлах сети 10×10 км, сопоставимой по размерам с площадями геоструктур крупных дифференцированных интрузивов, что гарантирует высокую вероятность их обнаружения.

Переинтерпретация данных ММЗ в пределах Харахлакской мульды привела к построению геоэлектрической модели ее центральной и юго-западной частей, на которой четко устанавливается площадное распределение удельного сопротив-

ления отложений тунгусской серии, выделяются локальные аномальные проводящие объекты как на уровне опорного геоэлектрического горизонта, так и в коре на глубинах до 10 км. Особый интерес представляет зона пониженных значений удельного сопротивления в центральной (глубинной) части мульды. Результаты выполненной переинтерпретации показали перспективность постановки метода МТЗ при выявлении локальных неоднородностей на поисковых глубинах и изучении строения рудных узлов. С целью окончательного выяснения возможностей МТЗ с новым аппаратурно-методическим комплексом ЦАИС при поисках глубокозалегающих сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд в условиях Норильского района был проведен полевой эксперимент непосредственно над Талнахским рудным узлом, позволивший *получить геоэлектрический разрез, наглядно демонстрирующий положение эталонного рудного объекта и подводящего к нему канала пониженного удельного сопротивления*. Таким образом, убедительно доказана высокая эффективность применения методов электроразведки при комплексировании с сейсморазведкой МОГТ для решения прогнозно-поисковых задач по выявлению глубокозалегающих сульфидных руд.

Сравнительный анализ геологических обстановок нахождения рудных месторождений Норильска и Мурманской области показал, что весь этот комплекс с некоторыми изменениями может быть перенесен и на Кольский п-ов для прогнозирования и поисков малосульфидного платинометаллического оруденения в Центральном-Кольском и платиноидно-медно-никелевого – в Западно-Кольском районах.

Представительные результаты применения новой технологии были получены при изучении малосульфидного платинометаллического оруденения Федорово-Панского интрузива. Они показали высокую эффективность невзрывной сейсморазведки для изучения глубинного строения района и морфологии интрузива на этапе среднemasштабных исследований [63, 64]. Для целей локального прогнозирования наилучший эффект обеспечивается при комплексировании магнито-, электроразведки ВП и результатов геохимических исследований, заключительным этапом интерпретации является компьютерное моделирование. В комплексе геохимического опробования должны включаться методы, позволяющие определять прямые элементы-индикаторы (платину и палладий), поэтому одним из принципиальных моментов для успешного выполнения программы геохимических поисков является разработка чувствительных методов анализа платиноидов в почвах. Результаты анализа некоторых геохимических и геофизических полей Федорово-Панского месторождения рассмотрены в разделе, посвященном оценке перспектив платиноносности Карело-Кольского региона.

На участке М.Ихтегинах была выполнена тотальная сейсморазведка, удовлетворительно выделившая сульфидную рудную залежь, заверенную бурением. На II и III этапах исследований специально выделяется самостоятельный вид работ, связанный с минералого-технологическим изучением, так как понятие этого типа руд как промышленного объекта определяется практическими возможностями извлечения платиноидов [96]. С этим также связана и вероятность выделения рудных месторождений и залежей только на последнем этапе, в то время как для Норильско-

го района эти возможности шире. В настоящее время работы по I и II этапам на Федорово-Панском расслоенном массиве успешно завершены Геологическим институтом Кольского научного центра под руководством Ф.П.Митрофанова; продолжаются исследования III этапа. В целом опыт работ в Норильском и Центрально-Кольском районах, практические результаты, полученные при использовании рекомендуемых поисковых комплексов, позволили сформулировать главные положения новых технологий и требования к конечным продуктам [44, 62, 63].

Применение новых технологий для прогноза и поисков новых платиноидно-медно-никелевых месторождений в Печенгско-Алларченском рудном районе только начато [52]. Авторами совместно с Ю.Н.Седых, В.М.Ступаком, А.П.Никитичевым выполнены исследования методом ОГТ и магнитно-теллурическое зондирование вдоль профиля KOLA-SD, пересекающего Печенгский синклинорий от сверхглубокой скв. СГ-3 на протяжении 38 км. Обработка материалов, проводимая В.М.Ступаком с использованием методики дифференциальной сейсморазведки (МДС) на базе нового пакета прикладных программ, позволила получить трехмерные изображения сейсмических разрезов, графиков, карт; при этом третьим измерением является цветовой код того или иного параметра.

Основой для расшифровки геологического разреза KOLA-SD послужило петрофизическое моделирование участка скв. СГ-3 как по результатам ГИС, так и по данным ранее проведенных работ МОГТ [19, 52], что позволило создать глубинный структурный каркас физико-геологической модели Печенгского рудного района.

Существенно важным для оценки перспектив рудоносности глубинных частей Печенгского синклинория является факт обнаружения в образованиях ждановской свиты интенсивного резонансного волнового пакета с повышенной акустической жесткостью и пониженными интервальными скоростями упругих колебаний в центре пакета. Предположение о существовании крупного рудного объекта в глубинной части Печенгской грабен-синклинали, судя по масштабу проявления в сейсмических, геоэлектрических полях, аналогичного по объему сульфидной массы Печенгскому рудному полю или даже превосходящего его [52], нуждается в оперативной проверке путем проведения целенаправленных структурно-поисковых сейсмических (невзрывной ММП) и электроразведочных (ЛОЭЗ, ЛОРЭЗ, АМТЗ-МТЗ) работ с целью оптимизации в выборе участков, доступных для бурения скважин глубиной 2-3 км.

Авторам представляется, что, несмотря на многолетнее изучение, региональная стадия геологических исследований Кольского п-ва, в том числе Западно- и Центрально-Кольского районов, не завершена. Предлагаемые технологии раскрывают новые возможности продолжения таких работ на современном аппаратурно-методическом и теоретическом уровне.

Выполненные по первому этапу программы “Платина России” исследования позволяют с уверенностью утверждать, что территория Российской Федерации резко выделяется по сравнению с другими странами своими перспективами в отношении платиноносности на многие формационные типы. Однако эти перспективы до сих пор практически не реализованы.

Что же делается в стране по вводу в строй новых и модернизации старых объектов?

1. В Норильском промышленном районе начинается разведка и отработка малосульфидных платиностальных и техногенных объектов; вот-вот начнутся поиски платиноносных россыпей в Норильском и продолжатся – в Маймеча-Котуйском районах. На Северной Земле при детальном изучении золоторудных месторождений черносланцевого типа ведется попутная оценка их платиноносности. Начинается модернизация добывающих и перерабатывающих предприятий Норильской горной компании с целью повышения в общем объеме добываемых руд их вкрапленных разностей. Время покажет, что это даст для Норильска, страны и мировой платинодобывающей промышленности. Однако неизбежность этого в связи со значительным уменьшением объемов богатых руд и отрицательными (мнение авторов) результатами поисков новых залежей сомнений не вызывает. И все же, если возрастание добычи вкрапленных руд приведет к постепенному свертыванию поисков богатых руд, к ограничению района поисков только Норильским районом, к прекращению буровых работ (а их и так было крайне мало) на Таймыре и в бассейнах рек Курейки, Кулюмбэ, т.е. во всех регионах, перспективы которых были обоснованы многими поколениями норильских геологов, – *это будет вред для геологии и развития платинодобывающей промышленности страны и мира.* И здесь, вероятно, без разработки и принятия на государственном

уровне программы “Норильск-2010” не обойтись. В этой программе должны быть расставлены, по нашему мнению, следующие приоритеты:

1. Доизучение флангов и глубоких горизонтов Талнахского и Норильского рудных узлов. В пределах первого перспективными являются Дьянгинская, участок предполагаемого развития Верхнехараслахской ветви и ряд других. Кроме того, вполне возможен некоторый прирост запасов богатых руд за счет промразведки флангов и мелких залежей. Из практики геологоразведочных работ этот рост, оцениваемый в качестве прогнозных ресурсов категории P_1 , может составить, по мнению Ю.Н.Седых, 5-10%. Актуальной остается задача поисков богатых руд в пределах Норильского рудного района. Аналогия состава и масштабов проявления дифференцированных интрузий Норильск-1 и Талнахской, принятая авторами модель их формирования дают основание предполагать открытие в связи с Норильским массивом “отщепленных” залежей (возможно, даже зональных с паличием богатых платиносодержащих типов) сплошных руд.

2. Перепробование всех выходов трапповых интрузий в пределах Енисейско-Североземельского пояса на плагинные металлы с целью открытия новых рудопроявлений малосульфидного платинометалльного оруденения верхнесталнахского и неконгдоконского типов, а также разномасштабные поиски платиноносных россыпей. Основой последних являются важнейшие теоретические положения, разработанные В.Д.Крюковым и А.В.Тарасовым (1971).

3. Общегеологическое доизучение основных геологических структур Норильского района – Хараслахской, Норильской, Вологочанской и Большесавамской трапповых мульд, а также перспективных площадей Нижнестугусско-Кулюмбинского, Маймеча-Котуйского и Таймырского регионов. Основным методом такого доизучения должно стать глубинное геолого-геохимико-геофизическое профилирование масштабов 1:500 000-1:200 000 с использованием новых методов и средств рудной геохимии, сейсморазведки и электроразведки с ревизией ранее пробуренных скважин различного назначения (поисковых, структурных разведочных) на различные виды полезных ископаемых. По-видимому, при этом необходимо будет осуществить бурение новых единичных скважин на высокоперспективных геохимических, геофизических аномалиях и объектах.

4. Вовлечение в сферу деятельности Норильской горной компании редкоземельно-редкометалльно-апатитовых месторождений Маймеча-Котуйской провинции с целью производства минеральных удобрений и максимально полной утилизации сырья действующих предприятий Норильского промрайона. *Авторы считают, что ведущее наиболее богатое горно-металлургическое предприятие Российской Арктики не может оставаться в стороне от нужд отечественного сельского хозяйства и от необходимости создания системы рационального природопользования в регионе.*

II. В Карело-Кольском регионе проводится детальное опоскование Федорово-Панского месторождения и разбуривание отдельных участков Бураковского массива с целью выявления локальных месторождений или обогащенных МПГ объектов. Если Геологическому институту Кольского научного центра и компании

“Пана” под научным руководством Ф.П.Митрофанова удастся поставить на баланс один из объектов Федорово-Панского малосульфидного платинометального месторождения, то это будет очень крупное достижение общероссийского масштаба.

В подпрограмме “Платина Карело-Кольского региона-2010” важнейшими мероприятиями должны стать:

постановка на баланс нескольких участков и разведка Федорово-Панского месторождения;

отработка Пудожгорского и Койкаро-Святнаволоцкого ванадий-титановых месторождений с попутным получением платиновых металлов и золота;

поиски новых залежей богатых руд в Печенгском и Мончегорском полях;

опоскование Бураковского массива;

доизучение золото-платиноидных месторождений уникального подтипа с попутной добычей МПГ и Au. При этом здесь и в других регионах при отработке платиноносодержащих объектов углеродистого типа может быть с успехом использована методика извлечения золота размером 1-5 мкм из коренных труднообогатимых руд штата Невада (Царьков, Доброскокин, 2000) с применением автоклавного вскрытия сульфидных руд в промышленном масштабе. С помощью этой методики в 1996 г. в Неваде 35 горных предприятий добыли 217,7 т золота и 643,8 т серебра. В последующие годы объемы добычи резко возросли.

III. Не может не вызывать беспокойства, что первый российский платиноносный регион – Уральский – фактически перестал быть платинодобывающим. Бесспорно, определенное количество МПГ может быть получено попутно при отработке Рай-Изского, Качканарского, Сыбайского, Волковского, может быть Воронцовского и прочих месторождений. Но все же, по мнению авторов, главным источником получения платиновых металлов на Урале должны стать новые открытые россыпные и известные техногенные месторождения. Степень изученности региона явно недостаточна, чтобы исключить открытия новых платиноносных россыпей. Безусловно, не следует сбрасывать со счетов и отработку коренных платиноидно-хромитовых месторождений нижнетагильского типа. Это тем более важно, что для объектов Уральского региона характерно, как правило, преобладание платины над палладием. А платину наша страна добывает в небольших объемах.

IV. Мы считаем, что Курско-Воронежский (Центрально-Российский) регион полностью подготовлен к созданию минерально-сырьевой базы платинодобычи. Ее будущая основа – Тимской и другие объекты углеродистого типа, огромные хвостохранилища и платиноносодержащие железистые кварциты. Разработку полноценной технологии извлечения МПГ из руд углеродистого типа надо начинать на пробах Тимского потенциального месторождения. Именно в рудах последнего большая часть платиновых металлов присутствует в минеральной форме, определены фракции, максимально обогащенные платиноидами, и т.д. И, вероятно, только в случае резкого повышения спроса на никель может встать вопрос об освоении месторождений сланского и мамонского типов (сульфидный минералого-геохимический тип). И в этом случае речь может идти, по нашему мнению, только о по-

ступлении концентратов или, в крайнем случае, богатых руд этих месторождений на промышленные предприятия Печенгского и Мончегорского районов.

V. Удивительно разнообразие платиноидных рудопроявлений Южно-Сибирского региона, но кроме Сухого Лога, Кингаша и россыпей Алтае-Саянской области месторождений как таковых нет. Организовать попутную добычу в этом регионе совершенно необходимо. И, вероятно, первый объект для этого – Кня-Шалтырское месторождение нефелинового типа. На нем работает Ачинский глиноземный комбинат, детально изучена минералогия руд с установлением самостоятельных минералов МПГ, намечена технология их извлечения и есть группа специалистов, которая во главе с А.М. Сазоновым, а фактически с ведущим учебным минерально-сырьевым вузом г. Красноярск (Красноярская академия цветных металлов и золота), занимается геолого-технологическими проблемами платиноносности этого объекта. А “человеческий фактор”, как мы видим на примере Федорово-Панского месторождения в Карело-Кольском регионе, пока никто не отменял. Третий уровень платиноносных объектов региона – это, безусловно, гигантские хвостохранилища полиметаллических, медно-молибденовых, золоторудных и прочих месторождений, платиноносность которых еще предстоит изучить. *Если же освоение Чинейского и Удоканского месторождений начнется без попутного извлечения платиноидов, это будет очень серьезной стратегической ошибкой.*

VI. В Дальневосточном регионе первостепенную роль будут играть платиноносные россыпи Камчатки, Корякии и Чукотки, сульфидные платиноидно-медно-никелевые шапучского и платиноидно-хромитовые месторождения уральского типов и, безусловно, колоссальные хвостоотвалы золоторудных, оловорудных и прочих месторождений. В отдаленной перспективе без внимания не останутся (золото)-платиносодержащие медно-порфировые месторождения типа Песчанки и других.

В целом можно считать ведущими месторождения следующих типов: для Карело-Кольского региона – платиноидные малосульфидного, сульфидного, ванадий-титаномагнетитового и углеродистого, для Курско-Воронежского – углеродистого, гематит-магнетитового и сульфидного, для Уральского – платиноидно-хромитового и ванадий-титаномагнетитового, для Северо-Сибирского – сульфидного и малосульфидного, для Южно-Сибирского – углеродистого и сульфидного, а для Дальневосточного – хромитового и сульфидного.

Нельзя исключать возможность того, что России придется принять активное участие в подготовке и освоении перспективных платиносодержащих объектов СНГ. А может быть и не только СНГ? Если спрос на платиновые металлы не упадет, то вполне вероятны во второй половине XXI в. поиски и открытие платиноидных месторождений на других планетах Солнечной системы и, в первую очередь, на Луне.

Доказанная авторами важнейшая роль анортозитового тренда, флюидизированной жидкости анортозитового состава в становлении платиноидных месторож-

дений заставляет нас обратиться к широко известным данным по распространенности, составу и соотношению с другими образованиями анортозитов Луны [4, 32]. Так, О.А.Богатиков [3] отмечает: "... Однако в районах лунных материков анортозиты играют более значительную роль. Например, среди реголита, доставленного на Землю "Луной-20", анортозитовые обломки составляют 50-60% объема грунта" (с. 168). Сравнение химических анализов анортозитов Луны и некоторых расслоенных массивов показывает их близость (табл. 54).

Сходство химических составов анортозитов Земли и Луны очень велико, причем по содержанию кремнезема, глинозема и извести анортозиты, доставленные на Землю "Луной-20", очень близки анортозитам Талнахского массива. Не случайно О.А.Богатиков пишет: "Следовательно, можно сделать вывод, что по петрографическому и общему составу минеральных фаз лунные анортозиты похожи на земные, как стратиформные, так и автономные анортозиты. Однако очень основной состав плагиоклаза, а также наличие четких кумулятивных структур сближает лунные анортозиты со стратиформными анортозитами Земли" [4, с. 170]. В [32] также отмечается: "Спектр наблюдаемых пород на материках Луны ("Аполлон-14", "Аполлон-16" и "Луна-20") отвечает спектру, характерному для земных расслоенных интрузий. Это позволяет предполагать, что в данном случае набор фрагментов является не случайным (не ксеногенным), а обусловлен наличием в регионе расслоенного плутона" (с. 407).

Таблица 54

Химический состав анортозитов Луны и расслоенных массивов Земли, % [4, 32]

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	49,70	50,24	50,52	42,22	44,10	42,40	44,20	44,39	51,56
TiO ₂	0,16	0,37	0,36	0,32	0,44	0,38	0,52	0,08	0,28
Al ₂ O ₃	22,04	23,02	21,19	23,74	25,10	20,20	19,10	33,87	28,07
FeO	0,66	1,89	1,85	2,72	} 6,50	6,20	6,21	1,24	2,53
Fe ₂ O ₃	4,02	4,21	5,23	3,48					
MnO	0,09	0,08	0,09	0,12	0,13	-	0,12	0,02	0,02
MgO	7,03	3,87	5,90	3,48	8,00	12,00	13,37	1,24	0,04
CaO	13,59	13,60	12,32	12,57	14,70	18,60	13,30	18,51	11,74
Na ₂ O	1,79	2,06	1,93	1,80	0,37	0,40	0,48	0,43	3,26
K ₂ O	0,07	0,03	0,12	0,62	0,17	0,52	0,47	0,04	0,59
P ₂ O ₅	0,02	0,06	0,20	0,40	-	-	-	0,04	0,09

Примечание. 1 – массив Стилллуотер; 2, 3 – Федорово-Панский массив; 4 – Талнахский массив; 5 – лунный анортозит, "Луна-20"; 6 – лунная кристаллическая порода анортозитового состава с оливином, район кратера "Аполлоний", "Луна-20"; 7 – лунный анортозит, сильно обогащенный оливином, район кратера "Аполлоний", "Луна-20"; 8 – анортозиты Луны (среднее из 53 анализов); 9 – анортозиты Луны (среднее из 10 анализов).

Как видим, наличие на Луне расслоенных массивов, насыщенных анортозитами, не вызывает сомнений у многих исследователей, а ведь именно с такими массивами, с “рифами” анортозитов в них связаны наиболее крупные месторождения платиновых металлов. *Метод аналогий дает нам основание предположить существование на лунных материках не просто стратиформных анортозитов, не просто расслоенных массивов, но и связанных с ними месторождений МПГ.* Мы не сомневаемся, что это предположение вполне может быть проверено. В первую очередь необходимо проанализировать хранящиеся в ряде лабораторий образцы лунных анортозитов на платиновые металлы. Это подчеркивает не только фундаментальное, но и прикладное значение петрологической планетологии.

Вариант предлагаемой государственной стратегии развития, комплексного освоения, восстановления и сохранения минерально-сырьевой базы платиновых металлов России в XXI в., направленной на расширение существующих и создание новых баз платинодобычи, приведен в табл. 55.

Таблица 55

Стратегия развития, комплексного освоения, восстановления и сохранения минерально-сырьевой базы платиновых металлов России в XXI в. (вариант)

Этап, годы	Производственные работы	Научные исследования, в том числе технологические	Разработка технико-эколого-экономических обоснований
1	2	3	4
Первый, 2000-2005	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ускоренная разведка и отработка платиносодержащих хвостотвалов Норильского техногенного месторождения 2. Разведка и отработка Уральских техногенных, Федорово-Панского, Норильского малосульфидных платинометаллических, Мончегорского сульфидно-платиноидно-медно-никелевого и Рай-Изского платиносодержащего хромитового месторождений 3. Коренная переоценка запасов МПГ вкрапленных и “медистых” руд Талнахского узла, увеличение объемов их добычи 4. Опытная отработка Сухоложского платиноидно-золоторудного месторождения 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка методики и создание объемных петролого-металлогенетических моделей важнейших платиноносных регионов и крупных месторождений 2. Установление закономерностей распределения МПГ в породах и рудах 3. Создание теории аномальных геохимических и геофизических полей платиноидных месторождений 4. Усовершенствование технологии извлечения МПГ из сульфидных платиноидно-медно-никелевых и создание технологических схем для углеродистых, хромитовых, ванадий-титаномагнетитовых, нефелиновых, 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Строительство карьеров “Талнах”, “Имангда”, “Норильск-II” для отработки малосульфидных и вкрапленных руд Талнахского и других месторождений 2. Комплексное освоение Лудожгорского, Тимского, Падминского, Сухоложского и других месторождений 3. Широкомасштабная добыча вкрапленных сульфидных платиноидно-медно-никелевых и малосульфидных платинометаллических руд в Норильском районе

1	2	3	4
	<p>5. Создание металлургических секций по производству феррованадия, феррохрома, титана, МПГ на Тихвинском заводе</p> <p>6. Попутное извлечение МПГ из алюминийсодержащих руд Кня-Шалтырского месторождения</p> <p>7. Поиски платиноносных россыпей и техногенных месторождений на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке</p>	<p>апатит-магнетитовых и прочих типов руд на основе их современной наноминералого-технологической оценки</p> <p>5. Выявление новых нетрадиционных типов платиносодержащих месторождений (железные, алюминийсодержащие, апатит-магнетитовые руды, каменные угли, нефти, калийные соли, бокситы и др.)</p>	
Второй, 2006-2010	<p>8. Попутное получение МПГ из ванадий-титано-магнетитовых руд Пудожгорского, Качканарского и Чинейского, медистых песчанников Игарского и Удоканского месторождений, а также железных руд Курско-Белгородского района</p> <p>9. Строительство карьера "Талнах" и эксплуатация его и карьера "Медвежий ручей"</p> <p>10. Отработка Норильского техногенного месторождения</p> <p>11. Выход на полную мощность Федорово-Панского и Сухоложского месторождений</p> <p>12. Опытная промышленная эксплуатация месторождений в Генеральской и ряда объектов в Южно-Сибирском, Корякско-Камчатском и Центральном-Российском (Тим и др.) регионах</p> <p>13. Оценка перспектив промышленной платиноносности золоторудных месторождений Таймыро-Североземельской и других провинций</p>	<p>6. Разработка совершенных технологий прогнозирования, поисков и ускоренной оценки платиноидных месторождений важнейших промышленных типов</p> <p>7. Создание государственных стандартных образцов руд МПГ нетрадиционных типов</p> <p>8. Составление Атласа разномасштабных прогнозно-платинометаллогенических карт крупных регионов, провинций и областей</p> <p>9. Исследование процессов экстракции МПГ из силикатных расплавов</p> <p>10. Оценка роли первичной магматической расчлененности в концентрировании МПГ</p> <p>11. Обоснование системы рационального природопользования в платиноносных регионах</p>	<p>4. Создание Карело-Кольской и Курско-Воронежской баз платинодобычи</p> <p>5. Создание Южно-Сибирской, расширения Карело-Кольской, Курско-Воронежской, Уральской и Норильской минерально-сырьевых баз платинодобычи</p> <p>6. Комплексное освоение месторождений ряда нетрадиционных типов</p>

1	2	3	4
Третий, 2011-2025	14. Широкомасштабная добыча вкрапленных сульфидных МПГ-Cu-Ni руд в Норильском районе 15. Оценка запасов МПГ в малосульфидных, золоторудных, полиметалльных и других месторождениях Южной Сибири, Дальнего Востока и Урала 16. Ввод новых мощностей сплошных богатых МПГ руд		7. Расширение Корякско-Камчатской и Южно-Сибирской, создание Североземельско-Таймырской и Чукотской минерально-сырьевых баз платинодобычи
Четвертый, после 2025	17. Опытная промышленная отработка малосульфидных месторождений Южной Сибири, МПГ-Cu-Ni и других Дальнего Востока и Урала 18. Оценка активных запасов МПГ России (выполняется в завершении каждого этапа)		8. Восстановление и сохранение в долгосрочной перспективе минерально-сырьевой базы платиновых металлов России

Примечание. В течение всех этапов продолжают поиски богатых МПГ-Cu-Ni руд в пределах Талнахского, Норильского и Мончегорского рудных узлов и добыча МПГ из открытых залежей в рентабельных пропорциях.



Эта стратегия – своего рода программа-максимум. В ней наиболее важными нам представляются мероприятия, направленные на расширение минерально-сырьевой базы платины. Это обеспечит России независимое положение на рынке платиноидов, что крайне важно, особенно в случае возможного заключения каких-либо картельных соглашений, направленных на вытеснение нашей страны с мирового рынка платиноидов. Такой прирост ресурсов (и запасов) платины возможен при возрождении Уральской и расширении Дальневосточной (в первую очередь Корякско-Камчатской) минерально-сырьевых баз платинодобычи, а также освоения платиноидно-золоторудных объектов в углеродистых толщах (Сухоложское, Нежданинское и др.). Для последних характерно преобладание платины над палладием. Необходимы также открытия новых платиновых россыпей на Урале, в Корякии, Южной Сибири, Норильском районе.

Значительное (до 150 т) в последние годы превышение потребления платиновых металлов над их производством в мире однозначно свидетельствует о недостаточности разведанных запасов действующих месторождений ЮАР, России, США, Канады и некоторых других стран-производителей МПГ. И хотя на момент завершения работы над монографией (17.07.2001) цены на палладий по сравнению с началом года упали в 2 раза (до 17,46 дол/г), на платину – в 1,16 раза (до 17,81 дол/г), на родий – в 1,3 раза (до 57,87 дол/г), принципиально сделанного вывода эти показатели не меняют. Вероятно, Россия нормализовала поставки палладия на мировой рынок или часть палладия в автомобильных нейтрализаторах стали заменять платиной, и поэтому цена последней изменилась незначительно, превысив впервые за последнее время цену на палладий. Возможно, последнее связано с задержкой поставок платины на рынок из ЮАР. Тем не менее, намеченный в работе комплекс первоочередных мер по расширению минерально-сырьевой базы России, ЮАР, США, Канады, Индии, Китая и ряда стран СНГ является абсолютно реальным и осуществимым.

В связи с необходимостью развития, комплексного использования, воспроизводства и сохранения МСБ МПГ нашей страны впервые детально рассмотрены металлогения платиноидов и перспективы платиноносности Карело-Кольского, Курско-Воронежского, Уральского, Северо-Сибирского, Южно-Сибирского и Дальневосточного регионов. Это позволило обосновать приоритеты геологоразведочных работ и научных (в том числе технологических) исследований по расширению, комплексному освоению, воспроизводству и сохранению минерально-сырьевой базы платиновых металлов Российской Федерации. Эти рекомендации для регионов, привязанных к федеральным округам, при реализации намеченной долгосрочной стратегии развития существующих и создания новых баз платинодобычи бесспорно будут способствовать укреплению национальной (сырьевой) безопасности нашей страны.

Еще раз подчеркнем, что в первой четверти XXI в. основной потенциал платинодобывающей промышленности страны будут составлять уникальные месторождения Норильского промышленного района: сульфидные платиноидно-медно-никелевые, малосульфидные платинометалльные, техногенные и, возможно, вновь открытые россыпные. Однако без ввода в эксплуатацию высокоперспективных объектов Карело-Кольского, Курско-Воронежского, Южно-Сибирского и других регионов они ни в коей мере не смогут без крупных заимствований из государственных стратегических резервов обеспечить объемы экспорта на ближайшие годы. При этом впервые рассмотрена большая часть комплексных месторождений золота, серебра, железа, алюминия, хрома, ванадия, меди, урана и других полезных ископаемых, из которых платиновые металлы могут и должны добываться попутно. В этом аспекте важную роль должны сыграть гигантские хвостохранилища названных и других месторождений, содержащие металлы платиновой группы.

Особое внимание обращено на необходимость качественного изменения минерально-сырьевой базы платиноидов, на увеличение в ней доли платины. За последние десятилетия платина зарекомендовала себя наиболее стабильным (и цена, и соответственно потребление) металлом. А роль нашей страны в поставках платины на мировой рынок невелика. И хотя в ведущих источниках МПГ – сульфидных и малосульфидных месторождениях – главную роль играет палладий, существует целый ряд объектов с обратным соотношением. Это – практически все россыпи (кроме Маймеча-Котуйской провинции), техногенные и платиноидно-хромитовые месторождения Урала и Корякии, а также платиноидно-золоторудные объекты в углеродистых комплексах. В связи с последним возрастает необходимость создания технологии извлечения платиновых металлов из платиносодержащих месторождений в черносланцевых толщах.

Фундаментальное металлогеническое значение имеют обоснованные авторские и некоторые другие модели формирования крупных и уникальных месторождений (в том числе и потенциальных) платиновых металлов. Доказана длительность и многообразие процессов (флюидная ликвация, подъем мантийных плюмов, рифтинг, камерная ликвация, дорудный, рудный и пострудный щелочно-флюидный метасоматоз и т.д.) становления таких объектов и намечены достаточно характерные признаки их отражения в геологических, минерало-геохимических и геофизических полях. Наличие и установление последних позволило предложить требующие дальнейшего совершенствования основы прогнозирования платиносодержащих и платинометалльных месторождений.

Сходство химического состава и минеральных парагенезисов земных и лунных анортозитов (потенциальных платинометалльных рифтов) в составе расслоенных массивов привело к предположению, что месторождения платиноидов могут быть открыты и на Луне, а, возможно, и на других планетах Солнечной системы.

Создание первой монографии по металлогении платиноидов отдельных регионов страны позволит в дальнейшем перейти к построению геолого-технологико-экономических моделей конкретных объектов, к созданию надежных критериев и признаков их прогноза и поисков, что и является, по мнению авторов, одной из главных, если не важнейшей, задачей реализации второго этапа программы “Платина России”, который и начинается представляемой монографией.

1. *Абдрахманов К.А., Маденков К.У.* Эпигенетическое сульфидное оруденение расчлененных интрузий умуртайского типа и перспективы их платиноносности // Геология и разведка недр Казахстана. – Алматы, 1997. – № 2.
2. *Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии)* / И.С.Грамберг, Д.А.Додин, Н.П.Лавров и др. – СПб.: Наука, 2000.
3. *Барков А.Ю.* Петролого-геохимические особенности платиноносных расчлененных интрузий Луккулайсваара и Кивакка, Северная Карелия: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. – М.: ИГЕМ, 1992.
4. *Богатиков О.А.* Анортозиты. – М.: Наука, 1985.
5. *Волченко Ю.А., Золосв К.К., Коротеев В.А.* Платина Урала (платиново-метальное оруденение и перспективы его освоения) // Горный журнал. Уральское горное обозрение, 1994. – № 6.
6. *Волченко Ю.А., Коротеев В.А.* Геодинамические условия формирования и генезис крупных концентраций платиновых металлов в подвижных системах на примере Урала // Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов. – СПб.: СПбГИ, 1998.
7. *Высоцкий Н.К.* Платина и районы ее добычи. Часть I-IV. – Петроград: КЕПС АН СССР, 1913-1925. – Часть V. – Л.: Изд-во АН СССР, 1933.
8. *Галкин А.С., Дедюхин А.Н.* Геологоразведочные работы АО “Комбинат Североникель” в Мончегорском районе Мурманской области // Тез. докл. рег. совещ. 18-23 октября 1999 г. “Направление геологоразведочных работ на никель, медь и платиноиды в Таймырском автономном округе в 2000-2005 гг.” – Норильск: Таймыркомприродресурсы, 1999.
9. *Геология и генезис месторождений металлов платиновой группы* // Тез. докл. совещ. – М.: ИГЕМ, 1992.
10. *Геология и генезис месторождений платиновых металлов.* – М.: Наука, 1994.
11. *Геология и золотоносность нефелиновых пород Западной Сибири* / А.М.Сазонов, С.И.Леонтьев, О.М.Гринев и др. – Томск: ИТПУ, 2000.
12. *Геохимия благородных металлов в медно-никелевых и колчеданно-полиметаллических рудах* / А.П.Кривенко, А.С.Лапухов, А.И.Глотов и др. // Геохимические ассоциации редких и радиоактивных элементов в рудных магматических комплексах. – Новосибирск: Наука, 1991.
13. *Главные рудные геолого-геохимические системы Урала.* – М.: Наука, 1990.
14. *Годлевский М.Н.* Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. – М.: Госгестехиздат, 1959.
15. *Гончаров В.И., Сидоров В.А., Приставко В.А.* Платинометальная минерализация Наталкинского месторождения: итоги исследований // Колыма. – 2000. – № 2.
16. *Гурская Л.И.* Платинометальное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.
17. *Додин Д.А., Додина Т.С., Черешникова О.И.* Петрографические критерии генезиса и размещения платинометальной минерализации // Мат. 2-го Всерос. петрографического совещ. “Петрография на рубеже XXI века: итоги и перспективы”. – Т. III. – Сыктывкар, 2000.
18. *Додин Д.А., Чернышов Н.М.* Платина России (программа комплексных исследований по развитию и рациональному освоению минерально-сырьевой базы металлов платиновой группы). – М.: ЦСП Росгеолфонда, 1993.

19. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометальные месторождения России. – СПб.: Наука, 2000.
20. Докучаева В.С., Жаисуров А.А., Федотов Ж.А. Имандровский лополит – новый крупный расслоенный интрузив на Кольском полуострове // Докл. АН СССР, 1982. – Т. 265. – № 5.
21. Дуденко Л.Н. Геохимические структуры эндогенных систем. – Л.: Недра, 1981.
22. Егоров Л.С. Ийолит-карбонатитовый плутонизм. – Л.: Недра, 1991.
23. Ехашин А.Г. Геология и рудоносность Кингашского базальт-коматинитового комплекса: Автореф. дис... к.г.-м.н. – Красноярск, 2000.
24. Иванов О.К. Концентрчески-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала: минералогия, петрология, генезис. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997.
25. Когарко Л.Н. Область расслоения в расплавах системы Na, Al, Si, O, F // Докл. АН СССР, 1967. – Т. 176. – № 4.
26. Ковалев А.А., Китаско А.Э. О генезисе и геодинамической обстановке формирования золоторудных месторождений Мурунтау, Кумтор и Олимпиада // Изв. секц. наук о Земле РАЕН, 2000. – Вып. 5.
27. Кошкин Э.Г., Цыганков А.А., Врублевская Т.Т. Байкало-Муйский вулcano-плутоинический пояс: структурно-вещественные комплексы и геодинамика. – М.: ГЕОС, 1999.
28. Коробейников А.Ф. Нетрадиционные комплексные золото-платиноидные месторождения складчатых поясов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999.
29. Краснова Н.И., Копылова Л.Н. О качестве геологической основы для проведения минералого-технологического картирования // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1988. – № 5.
30. Лазаренков В.Г., Мирченко А.Г., Таловина И.В. Геохимия платиновых элементов. – СПб.: СПбГИ, 1996. – 93 с.
31. Лазаренков В.Г., Мичкин К.Н., Сахьянов Л.О. Платинометальная минерализация зональных ультраосновных и комагнитовых массивов. – Л.: Недра, 1992.
32. Магматические горные породы. Основные породы. Т. 3. – М.: Наука, 1985.
33. Маракушев А.А. Происхождение месторождений платиновых металлов и их экспериментальное моделирование // Сб. научн. трудов “Платина России”. – М.: АОЗТ “Геонформмарк”, 1995. – Т. II. Кн. 1.
34. Маракушев А.А., Безмен Н.И. Эволюция метеоритного вещества, планет и магматических серий. – М.: Наука, 1983.
35. Мелкомуков В.Н. Платиноносные россыпи севера Камчатки // Тез. докл. X Межд. совещ. “Россыпи и месторождения кор выветривания – объект инвестиций на современном этапе”. – М., 1994.
36. Мельников Е.К., Петров Ю.В., Савицкий А.В. Новый район с месторождениями богатых комплексных (V, U, Pd, Au) руд в Южной Карелии // Разведка и охрана недр, 1992. – № 5.
37. Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления // Мат. II Всеросс. металлоген. совещ. – Иркутск, 25-28 августа 1988.
38. Металлургия благородных металлов / Ред. Л.В.Чучаев. – М.: Metallургия, 1987.
39. Механизмы концентрирования благородных металлов в терригенно-углеродистых отложениях / Н.П.Ермолаев, Н.А.Созинов, Р.П.Котин и др. – М.: Научный мир, 1999.
40. Минералогия и технологии переработки комплексных платиносодержащих руд / Д.А.Додин, М.К.Говорова, В.М.Изюнтко и др. // Тез. докл. Годичного собрания МО при РАН “Минералогия – основа комплексного освоения недр”. — СПб., 2001.

41. *Минералого-геохимические* признаки полигенности самородного золота золоторудного месторождения Восточного Саяна / Н.Л.Добрецов, С.М.Жмодик, Н.С.Карманов и др. // Докл. АН СССР, 1989. – Т. 3. – № 3.

42. *Минералы* благородных металлов. Справочник / О.Е.Юшко-Захарова, В.В.Иванов, Л.Н.Соболева и др. – М.: Недра, 1986. – 272 с.

43. *Минералы* платиновых металлов и новые данные о главных минералах руд Федорово-Панского массива / Н.Л.Балабонин, А.У.Корчагин, В.В.Субботин и др. // Вестник МГТУ, 2000. – Вып. 3. – № 2.

44. *Минерально-сырьевой потенциал* платиновых металлов России на пороге XXI века / Д.А.Додин, Л.В.Оганесян, Н.М.Чернышов, Яцкевич Б.А. – М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1998.

45. *Минеральные ресурсы* мира на начало 1996 г. / Гл. ред. Л.В.Оганесян. – М.: МПР России. ГНПП “Аэрогеология”. ИАЦ “Минерал”, 1997.

46. *Минеральные ресурсы* мира на начало 1997 г. / Гл. ред. Л.В.Оганесян. – М.: МПР России. ГНПП “Аэрогеология”. ИАЦ “Минерал”, 1998.

47. *Минеральный состав* новых проявлений платинометалльного оруденения в восточной части массива Панских тундр / В.В.Субботин, А.У.Корчагин, Н.Л.Балабонин и др. // Вестник МГТУ, 2000. – Вып. 3. – № 2.

48. *Митрофанов Ф.П., Хильтова В.Я., Вревский А.Б.* Состав, структура и процессы архейской литосферы // Тектоника и вопросы металлогении раннего докембрия. – М.: Наука, 1986.

49. *Моисеенко В.Г., Степинов В.А., Костоянов А.И.* Возраст платинометалльной минерализации гаринского узла Верхнего Приамурья // Докл. РАН, 2000. – Т. 376. – № 6.

50. *Мочалов В.Е., Низовой А.П.* История добычи платины на Исовском руднике // Горный журнал. Уральское горное обозрение, 1994. – № 6.

51. *Нетрадиционная* платиноидная минерализация Средней Сибири / А.М.Сазонов, О.М.Гринева, Г.И.Шведов, В.И.Сотников. – Томск: ИТПУ, 1997.

52. *Новые данные* о строении и перспективах рудоносности Печенгского синклинория / Ю.Н.Седых, Д.А.Додин, В.М.Ступак, А.П.Никитичев // Докл. РАН, 1998. – Т. 359. – № 1.

53. *Новый* золото-палладиевый тип минерализации в Кожимском районе Пришольянского Урала (Россия) / М.Б.Тарбаев, С.К.Кузнецов, Г.В.Моралев // Геология рудн. месторождений, 1996. – Т. 38. – № 1.

54. *О проявлении* платинометалльной минерализации паллаборского типа в карбонатных массивах / В.В.Иванников, Н.И.Краснова, Н.Б.Филиппов и др. // Докл. РАН, 1996. – Т. 351. – № 5.

55. *Основные проблемы* в учении о магматогенных рудных месторождениях // Тез. докл. Межд. симп., посвященного 100-летию со дня рожд. акад. А.Г.Бетехтина. – М., 1997.

56. *Палладий-золото-редкометалльная* минерализация Оемкинского рудного узла (Спихотэ-Алинь) / В.П.Молчанов, В.Г.Моисеенко, В.Г.Хомич, И.А.Горячев // Докл. РАН, 2000. – Т. 375. – № 4.

57. *Перспективы* платиноносности Имандровского расслоенного интрузива / Ф.П.Митрофанов, А.А.Жангуров, Ж.А.Федотов и др. // Сб. научн. трудов “Платина России”. – М.: АОЗТ “Геоинформмарк”, 1995. – Т. II. Кн. 1.

58. *Петрография* Центрального Казахстана / Н.П.Михайлов, М.В.Инякин, Г.Ф.Ляпичев и др. – М.: Недра, 1971.

59. *Петрология* и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов / И.Я.Некрасов, А.М.Лешников, Р.А.Октябрьский и др. – М.: Наука, 1994.

60. *Платина* Алданского щита / И.С.Рожков, В.И.Кицул, Л.В.Разин, С.С.Борншанская. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
61. *Платина* и другие самородные металлы в рудах месторождения Сухой Лог / Н.П.Лаверов, В.В.Дистлер, Г.Л.Митрофанов и др. // Докл. РАН, 1997. – Т. 355. – № 5.
62. *Платина* России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов // Сб. научн. трудов. – М.: АО “Геоинформмарк”, 1994.
63. *Платина* России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов // Сб. научн. трудов. – М.: АОЗТ “Геоинформмарк”, 1995. – Т. II. – Кн. 1, 2.
64. *Платина* России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке // Сб. научн. трудов. – М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1999. – Т. III в 2-х книгах.
65. *Платина* России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке (минералогия, генезис, технология, аналитика). – М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 1999. – Т. IV.
66. *Платина* СНГ: ресурсы, перспективы и освоение новых месторождений на основе современной инвестиционной политики / Д.А.Додин, А.Ф.Коробейников, Н.М.Чернышов и др. // Минеральные ресурсы Украины, 2000. – № 1.
67. *Платино- и золото-минеральная* минерализация в титаномагнетитовых габбро-диабазях Карелии / Е.Л.Сереброва, Н.Б.Филиппов, М.Г.Губко и др. // Вестник СПбГУ, 1995. – Сер. 7. – Вып. 1.
68. *Платиноидные* месторождения Северо-Азиатского кратона и его обрамления: металлогения и геодинамика / Д.А.Додин, Г.В.Поляков, О.А.Дюжинов и др. // Геология и геофизика, 1999. – Т. 40. – № 11.
69. *Платинометалльная* минерализация и перспективы потенциальной коренной платиноносности Сейнав-Гальмознанского узла (Сев. Камчатка) / Ю.В.Назимова, В.П.Зайцев, И.В.Кузнецов и др. // Минералогия России. – Тез. докл. Годичного собрания МО при РАН. – СПб., 2000.
70. *Платинометалльные* месторождения мира. Малосульфидные платинометалльные месторождения в ритмично-расслоенных комплексах / Д.А.Додин, Н.М.Чернышов, Д.В.Полферов, Л.Л.Тарновецкий. – М.: АО “Геоинформмарк”, 1994. – Т. 1. – Кн. 1.
71. *Платиноносность* геологических комплексов Украины / Е.А.Кулиш, С.А.Галний, И.Л.Комов и др. // Аспекты минерагенеза Украины. – Киев: ОНЗ, 1998.
72. *Платиноносность* ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири / Отв. ред. Г.В.Поляков и В.И.Богнибов. – Новосибирск, 1995.
73. *Платиноносное* золото-сульфидное оруденение Рябинового щелочного массива (Центральный Алдан, Россия) / В.А.Коваленкер, И.К.Мызников, А.Я.Кочетков, В.Б.Наумов // Геология рудн. месторождений, 1996. – Т. 38. – № 4.
74. *Покалов В.Т.* Месторождения молибдена // Рудные месторождения СССР. – М.: Недра, 1978.
75. *Разин Л.В.* Месторождения платиновых металлов // Рудные месторождения СССР. – М.: Недра, 1978. – Т. 3.
76. *Распределение* минералов благородных металлов по продуктам обогащения медно-никелевых руд / Н.И.Геоня, Э.А.Кулагов, В.А.Михин и др. // Цветные металлы, 1982. – № 2.
77. *Россытные* месторождения России и других стран СНГ / Ред. И.П.Лаверов, Н.Г.Патык-Кара. – М.: Научный мир, 1997.

78. Рундквист Д.В. О принципах выделения и прогнозирования рудных формаций // Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. – Л.: ВСЕГЕИ, 1971.

79. Рундквист Д.В., Кушев В.Г., Попов В.Е. Типизация структурно-металлогенических зон архейско-протерозойского возраста // Геология и перспективы рудоносности фундамента древних платформ. – Л.: Недра, 1987.

80. Савицкий А.В., Титов В.К., Былинская Л.В. Новые данные о платинометальном оруденении в черных сланцах Онежской впадины (Южная Карелия) // Докл. РАН, 1994. – Т. 336. – № 6.

81. Самойлов А.Г., Шатков В.А. Опыт разработки техногенной россыпи платиноидов в Норильском горнорудном районе // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2000. – № 1.

82. Служешкин С.Ф. Малосульфидное платиновое оруденение в дифференцированных базит-гипербазитовых интрузивах Норильского района: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. – М.: ИГЕМ, 2000.

83. Современное состояние минерально-сырьевой базы ОАО “Норильская горная компания” / А.В.Валетов, Б.П.Бадтиев, В.А.Рябкин, О.И.Олешкевич // Цветные металлы, 2000. – № 6.

84. Созинов Н.А., Чистякова Н.Н., Казанцев В.А. Металлоносные черные сланцы Курской магнитной аномалии. – М.: Наука, 1988.

85. Стехин А.И., Кушилов В.И., Олешкевич О.И. Техногенные месторождения цветных и благородных металлов // Недра Таймыра. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1995. – Вып. 1.

86. Столяренко В.В., Шашкин В.М. Россыпеобразующий потенциал платиноносных дунитов по результатам изучения большеобъемных проб // Руды и металлы, 1998. – № 3.

87. Строеие, эволюция и минерагения гипербазитового массива Раи-Из / В.Н.Пучков, Б.В.Перевозчиков, Ю.А.Волченко и др. – Свердловск: УРО АН СССР, 1990.

88. Сушкин Л.Б. Характерные черты самородных элементов месторождения Кондер // Тихоокеанская геология, 1995. – № 5.

89. Таусон Л.В. Теория геохимических полей и геохимические поиски полезных ископаемых // Проблемы прикладной геохимии. – Новосибирск: Наука, 1983.

90. Тезисы докладов VII Международного платинового симпозиума / Гл. ред. Н.П.Лавров и В.В.Дистлер. – Москва: ИГЕМ РАН, 1-4 августа 1994.

91. Тезисы докладов регионального симпозиума “Благородные металлы и алмазы Севера европейской части России” и научно-практической конференции “Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов России”. – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1995.

92. Теллуриды платины и палладия в Панском габбро-поритовом массиве на Кольском полуострове / А.П.Кривенко, Ю.Г.Лаврентьев, О.Н.Майорова и др. // Докл. АН СССР, 1989. – Т. 308. – № 4. – С. 950-954.

93. Тигунов Л.П. Состояние и перспективы развития сырьевой базы черной металлургии. Хромовые руды // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 1994. – № 6.

94. Тихонов О.Н., Лобович В.Г., Петров Г.В. Изучение поведения хрома и платиновых металлов при гравитационном обогащении // Обогащение руд, 1998. – № 1.

95. Трофимов Н.Н., Голубев А.И. Генезис комплексного благороднометального и титаномагнетитового оруденения в дифференцированных габбро-долеритовых интрузивах Карелии // Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов. – СПб.: СПбГИ, 1998.

96. *Федорово-Пауское* малосульфидное платинометальное месторождение – крупнейший объект производства платиновых металлов / Ю.Н.Седых, В.М.Ступак, В.М.Изонтоко и др. – М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 2000.

97. *Филиппов Н.Б.* Карело-Кольский регион – новая платиноносная провинция // Тез. докл. межд. симп. “Вопросы геологии и археологии”. – СПб.: СПбГУ, 1994.

98. *Формы* нахождения платиновых металлов в рудах золота из черных сланцев / Н.П.Ермолаев, Н.П.Созинов, В.А.Чиненов и др. // Геохимия, 1995. – № 4.

99. *Ханн В.Е., Кравченко С.М.* Структура подконтинентальной мантийной конвекции как основа прогнозирования гигантских месторождений томторского (REE-Nb-P) и норильского (Cu-Ni-Pt) типов // Вестник Моск. ун-та, 1999. – Сер. 4. Геология. – № 6.

100. *Чернышов Н.М.* Металлогеническое районирование Воронежского кристаллического массива в связи с его никеленосностью // Геология рудн. месторождений, 1990. – № 3.

101. *Чернышов Н.М.* Промышленно-генетические типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений новой никеленосной провинции России и проблема их освоения // Вестник ВГУ, 1993. – Вып. 1. – Сер. 2.

102. *Чернышов Н.М.* Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива. – Воронеж: Изд-во Воронежск. ун-та, 1971.

103. *Шило И.А.* Учение о россыпях. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000.

104. *Щеглов А.Д.* О генезисе золоторудных месторождений района Витватерсранд (ЮАР) // Докл. РАН, 1993. – Т. 333. – № 1.

105. *Щека С.А., Вржосек А.А., Чубаров В.М.* Троктолит-кортландитовая никеленосная формация Дальнего Востока // Геология медно-никелевых месторождений СССР. – Л.: Наука, 1990.

106. *Юшин А.А., Лебедь Н.И.* Платина Украины: история, состояние, перспективы // Мин. журнал, 1998. – № 1.

107. *Яковлев Ю.Н., Нерадовский Ю.Н., Соколов С.В.* Минералого-геохимическая характеристика медно-никелевых руд Печенги // Медно-никелевые месторождения Печенги / Отв. ред. Н.П.Лавров. – М.: ГЕОС, 1999.

108. *Bayanova T.B., Smolkin V.F.* U-Pb isotopic study of the layered intrusions of the northern Pechenga area, Kola Peninsula // Abstract of JGCP Project 336 Symposium, Rovaniemi. – Finland, 1996.

109. *Corenev R.M., Chen N.* Ni-Mo-PGE-Au rich ores in Chinese black shales and speculation in possible analogous in the United States // Mineral. Deposita, 1991. – Vol. 26. – № 2.

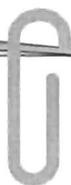
110. *Dean, Hoatson.* Platinum-group element mineralization in Australian Precambrian-layered mafic-ultramafic intrusions // AGSO J. Austral. Geol. and Geophys., 1998. – Vol. 17. – № 4.

111. *Olivo G.R., Gaunter M., Bardoux M.* Palladium gold from Gaue iron mine // Itabiro District, Minas Gerais, Brasil. – Miner. Mag., 1994. – Vol. 54. – № 8.

112. *The association* of platinum-group minerals in placers of the Pustaya River, Kamchatka, Russia / N.D.Tolstykh, E.G.Sidorov, K.V.O.Laajoki et al. // The Canadian Mineralogist, 2000. Vol. 38.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА И ДОБЫЧА ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ	7
Характеристика строения и вещественного состава некоторых месторождений	7
Роль минерально-сырьевой базы платиновых металлов России и их производства в общемировом масштабе	22
Сырьевые проблемы развития мирового рынка платиноидов и пути их решения	27
Геохимические аспекты обеспечения мирового рынка платиновыми металлами	42
КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАТИНОИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	45
ПЕРСПЕКТИВЫ ПЛАТИНОНОСНОСТИ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ КРУПНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ	64
Платинометаллогеническое районирование России	64
Платиногеографическое районирование России	71
Карело-Кольский регион	71
Курско-Воронежский регион	121
Уральский регион	165
Сибирь и Дальний Восток	188
Северо-Сибирский регион	193
Южно-Сибирский регион	221
Дальневосточный регион	235
<i>Алданско-Приморский район</i>	<i>236</i>
<i>Корякско-Камчатский район</i>	<i>246</i>
<i>Северо-Восточный район</i>	<i>254</i>
МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ ПЛАТИНОИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	261
ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ ПЛАТИНОИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	275
ВЗГЛЯД В XXI ВЕК	286
Заключение	294
Литература	296



Для заметок

*Додин Давид Абрамович
Чернышов Николай Михайлович
Чередникова Ольга Ивановна*

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ КРУПНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

Редактор *В.Н.Михин*
Технический редактор *М.К.Кузьмина*
Корректор *Е.В.Кормакова*
Компьютерная графика: *Т.Н.Аверчива, Е.В.Кормакова*
Компьютерная верстка: *Г.Н.Дроздова*
Художник: *М.А.Рыдаева*

Подписано в печать с оригинал-макета 16.08.01
Формат 70×100/16. Гарнитура "Times New Roman".
Печ. л. 19,0. Уч.-изд. л. 26,6. Тираж 500 экз. Заказ 2569.
ЗАО "Геоинформмарк". 109172, Москва, ул. Гончарная, 38. Тел. ред. 915-60-84.
Отпечатано с готовых диапозитивов в ГУП Экспериментальная типография.
103051, Москва, Цветной бульвар, 30.