

ISSN 0869-7175



Отечественная геология



**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ПРОГНОЗ, ПОИСКИ, ОЦЕНКА
РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ИХ КОМПЛЕКСНЫХ
МОДЕЛЕЙ — ДОСТИЖЕНИЯ И
ПЕРСПЕКТИВЫ**

4/2006

Любовь и мысль
Избранное (1958—2006 гг.)

1. Стихи

ЛЮБОВЬ и МЫСЛЬ

ЛЮБОВЬ и МЫСЛЬ! Всегда Вам предан равно!
Готов служить до гробовой доски,
Но как безжалостно и своенравно
Мое вы сердце рвете на куски.

Небо ЛЮБВИ бескрайне, бесконечно,
У Вечной МЫСЛИ тоже нет границ.
Границы есть у сил, когда беспечно
И журавлей мы ловим, и синиц...

ЛЮБОВЬ без обладания не ЛЮБОВЬ
И МЫСЛЬ без обладания не МЫСЛЬ.
И ты обязан силы вновь и вновь
В себе найти, чтоб в том увидеть смысл:

МЫСЛЬ не предав, отдать себя ЛЮБВИ!
Отдаться МЫСЛИ, не спугнув ЛЮБОВЬ...
Не строить храм прекрасный на крови,
Но не жалеть себя, пока есть в жилах кровь.

Поэзия неисчерпаемая

Нет, Пушкин не исчерпал простоты,
Величия и мудрости стиха!!
Они придут, когда Душа тиха!
И с МИРОМ нежно говорит на ты...

И один в поле воин

Когда ты с полем вместе скроен,
Когда ты с полем вместе сшит, —
То и один ты в поле воин! —
Никто тебя не сокрушит...

Лебеди

Потеряв себя в суматохе дел,
Не найдя в себе свой земной удел,
Не брани судьбу, не кори людей —
Улети от бед в стае лебедей!

Лебеди летят из дали веков,
Лебеди сбывают цепь с твоих оков,
Лебеди умчат в солнечную даль,
Растворив в себе всю твою печаль.

И увидишь ты мир издалека,
И поймешь, что жизнь лишь тому легка,
Кто сумел найти для судьбы своей
Верную себе стаю лебедей...

Победы Вечный Свет

Я пороха войны не нюхал,
Но я вдыхал ее накал
И ярость воинского духа,
И огнедышащий металл,

И фронтовых ночей бессонность,
И похоронок злой поток,
И отступленья монотонность:
Всё на восток, всё на восток...

И — Наступление на запад!
И — Дня Победы радость слез,
Когда нельзя было не плакать
Под эхо отгремевших гроз...

Война ушла... Но и осталась
Рубцами ран себе вослед...
Превозмогает лет усталость
Победы нашей Вечный Свет.

Любимой супруге

ТЕБЕ навек обязан тем,
Что Есть я, что Живу!
ТЕБЕ навек обязан тем,
Что Жизнь к себе зову!

ТЕБЕ навек обязан тем,
Что нет конца пути!
ТЕБЕ навек обязан тем,
Что силы есть идти...

2. Стихомысли

Урок гранения

Кристалл алмаза, даже если мал,
Алмаза твердость он в себя впитал.
Пусть Бог тебе не много силы дал,
Грани Души Алмазный свой Кристалл!

Обыкновенное чудо

Чудо истое незримо, —
Оттого проходим мимо! —
Придержи свой шаг, прохожий, —
Чудо на тебя похоже...

Отечественная ГЕОЛОГИЯ



Журнал выходит один раз в два месяца

Основан в марте 1933 года

4/2006

Учредители:

Министерство природных
ресурсов Российской Федерации
Российское геологическое общество
Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор А. И. Кривцов

Бюро: *Р.В.Добровольская* (зам. главного редактора),
В.А.Ерхов, *В.И.Казанский*, *А.А.Кременецкий*,
Г.А.Машковцев, *Н.В.Милетенко* (зам. главного
редактора), *А.Ю.Розанов*, *Г.В.Ручкин* (зам.
главного редактора), *А.К.Соколовский*,
В.И.Старостин

Редсовет: *Е.М.Аксенов*, *А.Н.Барышев*, *Э.К.Буренков*
(председатель редсовета), *В.С.Быкадоров*,
Г.С.Вартанян, *И.Ф.Глумов*, *В.И.Ваганов*,
А.И.Жамойда, *А.Н.Золотов*, *М.М.Константинов*,
Т.Н.Корень, *Л.И.Красный*, *В.С.Круподеров*,
Н.К.Курбанов, *Н.В.Межеловский*, *И.Ф.Мигачев*,
Е.И.Семенов, *В.С.Сурков*, *Е.Г.Фаррахов*

МОСКВА

МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ		
<i>Митрофанов Ф.П.</i> Поисковые индикаторы новых промышленных месторождений родий-платиново-палладиевых, кобальт-медно-никелевых и хромовых руд на Кольском полуострове	3	<i>Быдтаева Н.Г., Киселева Р.А., Милеева И.М.</i> Прогнозно-поисковые модели месторождений особо чистого кварца 57
<i>Кочнев-Первухов В.И., Кривцов А.И.</i> Прогнозно-поисковые модели металлогенических таксонов Норильского района и их использование для выделения перспективных площадей	9	<i>Турашева А.В., Шатнов Ю.А.</i> Геолого-экономические аспекты освоения кварценосных районов России на особо чистое кварцевое сырье 64
<i>Заскинд Е.С., Конкина О.М., Кочнев-Первухов В.И.</i> Прогнозно-поисковые модели платиноносных расслоенных мафит-ультрамафитовых плутонов	17	<i>Непряхин А.Е.</i> Геолого-технологическая оценка фосфоритовых руд европейской части России 66
<i>Салаев А.В.</i> Геология никеленосных массивов ультрамафитов Ийско-Кукшерского прогиба (Восточный Саян)	21	<i>Беляев Е.В., Чайкин В.Г., Баталин Ю.В., Дистанов У.Г., Корнилов А.В., Курбанов М.М., Сабитов А.А.</i> Научно-методическое и аналитико-технологическое обеспечение геологоразведочных работ на нерудные полезные ископаемые Южного федерального округа 71
<i>Чернышова М.Н.</i> Петролого-геохимические и структурно-вещественные критерии прогноза и оценки интрузивно-дайки системы мамонского типа на сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды	25	<i>Астафьев Б.Ю., Воинова О.А., Лохов К.И., Матуков Д.А., Прасолов Э.М., Прилепский Э.Б., Богомолов Е.С.</i> Возраст и генезис раннедокембрийской графитовой минерализации Лапландского пояса (Кольский полуостров) 75
<i>Заскинд Е.С., Конкина О.М., Кочнев-Первухов В.И., Столяренко В.В., Федорова С.О.</i> Модели россыпеобразующих платиноносных массивов	33	<i>Иванов М.А.</i> Методика переоценки состояния сырьевой базы мусковита крупнейшей в России Северо-Байкальской слюдоносной провинции на основе фациального анализа пегматитов 83
<i>Куторгин В.И., Джобадзе В.А., Будилин Ю.С., Тарасов А.С.</i> Многофакторные модели платиновых россыпей Дальнего Востока и их классификация по сложности строения	37	
МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ		РЕЦЕНЗИИ
<i>Коваленко И.В., Костелова Т.Г.</i> Анализ минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья России и пути ее развития	47	<i>Казанский В.И.</i> Ценная книга об истории создания минерально-сырьевой базы урана в СССР 85
<i>Турашева А.В.</i> Геолого-экономический анализ минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья Российской Федерации (берилл, топаз)	52	75-летие Георгия Владимировича Гальперова 90 60-летие Владимира Леонидовича Щербакова 91 Новые издания 92

Редакция: Р.В.Добровольская, Н.С.Рябова
Верстка и оригинал-макет Н.П.Кудрявцева

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ

Подписано в печать 22.03.2006. Формат 60×88/8. Бумага мелованная.
Печать офсетная. Тираж 1000 экз.

Адрес редакции: 117545 Москва, Варшавское шоссе, 129 кор. 1
Телефон: 315-28-47. Факс: 313-18-18. E-mail: tsnigri@tsnigri.ru

Отпечатано ООО «Арт медиа принт»

Месторождения металлов платиновой группы

УДК 553.(491+439):553.481.43:553.46(-924.16)

© Ф.П.Митрофанов, 2006

Поисковые индикаторы новых промышленных месторождений родий-платиново-палладиевых, кобальт-медно-никелевых и хромовых руд на Кольском полуострове

Ф.П.МИТРОФАНОВ (Геологический институт КНЦ РАН)

На Кольском полуострове в Печенгской структуре Кольской горно-металлургической компании «Норильскникель» (КГМК) обеспечивается 18% российской годовой добычи никелевых руд. В последние годы в Федоро-Панском массиве Геологическим институтом КНЦ РАН и его инновационным ОАО «Пана», совместно с австралийской компанией ВНР и канадской компанией Баррик Голд, открыты и готовятся к эксплуатации два Rh-Pt-Pd месторождения с промышленными средними рудными содержаниями (1,2—4,3 г/т) и запасами 1 этапа добычи в десятки тонн Rh+Pt+Pd+Au. Эти типы месторождений — печенгский и панский — находятся в гипербазит-базитовых массивах раннепротерозойского возраста, количество которых в регионе исчисляется многими сотнями на поверхности (рис. 1) и более тысячи на глубине (по геофизическим данным). По общепринятым геологическим характеристикам (минералогическим, петрографическим и пр.), все эти массивы сходны, в результате чего каждый из них может быть как безрудным, так и рудным на то или иное полезное ископаемое. Существующие методы оценки их рудного по-

тенциала связаны с очень дорогостоящими и длительными буровыми и аналитическими работами.

По результатам работ ГИ КНЦ РАН нами предложен, на основе изотопных уран-свинцовых и самарий-неодимовых данных, полученных на современной масс-спектрометрической аппаратуре, метод «разбраковки» кольских базит-гипербазитовых массивов по изотопно-геохимическим и геолого-петрологическим индикаторам [6]. Все эти раннепротерозойские массивы в отличие от архейских пород подобного же состава, но другой — Ti, V, Fe металлогении (массивы Ачинский, Цагинский и др.), связаны с плюм-рифтовой тектоникой, проявленной в регионе 2530—1980 млн.лет назад. Соответственно, изотопно-хронометрический («абсолютный») возраст пород массивов, перспективных на хром или на Rh-Pt-Pd, или на Co-Cu-Ni должен быть определен («находиться») в этом интервале, и не быть древнее 2600 и моложе 1950 млн.лет. Отсюда же вытекают и следующие индикаторы-признаки: структурная сопряженность раннепротерозойских массивов с кольскими рифтогенными структурами (Печенгская и Имандра-Варзугская); многофазное и

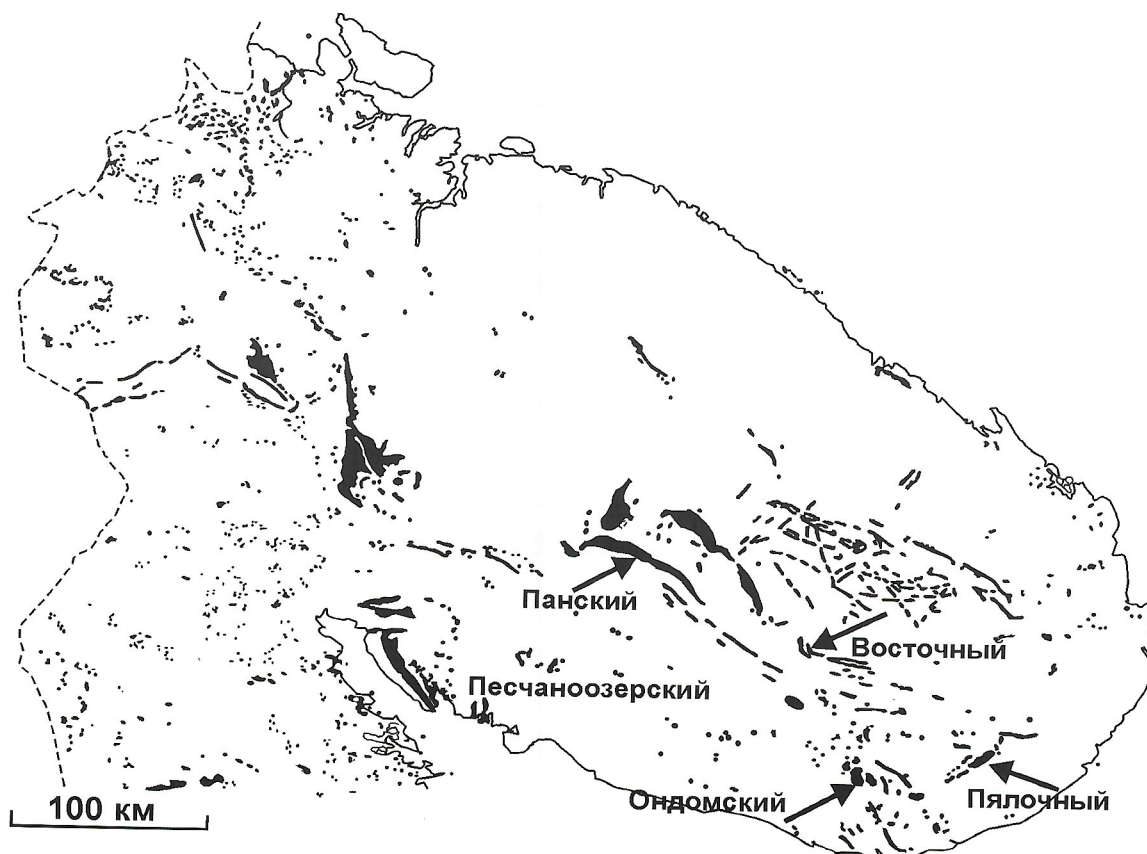


Рис. 1. Схема размещения базит-гипербазитовых интрузий в Кольском регионе

длительное формирование расслоенных базитовых массивов (например, Федоро-Панский массив образовался в течение не менее 80 млн.лет в интервале 2530—2450 млн.лет назад); определение в породах особых мантийных изотопно-геохимических меток — $\epsilon_{Nd}(T)$, $^{87}Sr/^{86}Sr$, $^3He/^4He$ и др. На основе этих индикаторов экспрессно определяются потенциально рудоносные базит-гипербазитовые массивы плюм-магматического раннепротерозойского ряда. Далее ставится задача определения их более конкретной металлогенической специализации.

Месторождения Rh-Pt-Pd малосульфидного типа находятся в многофазных и расслоенных (с «рифами») базит-анортозитовых массивах, часто в участках пегматоидного строения, кристаллизующихся в интервале 2530—2450 млн.лет с $\epsilon_{Nd}(T\ 2530—2450) -1...-3$, что свидетельствует о литофильности мантийного источника (см. таблицу). Наконец, медно-никелевые месторождения печенгского типа с попутной платиновой минерализацией имеют возраст вмещающих базитов 1980 млн.лет и положительный $\epsilon_{Nd}(T)$.

Изотопно-геохимические данные для расслоенных интрузий Восточной части Балтийского щита, по [1]

Расслоенные интрузии	Возраст, млн.лет		$\epsilon_{Nd}(T)$
	U-Pb	Sm-Nd	
1	2	3	4
<i>Северный пояс</i>			
Гора Генеральская			
габбронориты	2496±10; 2505±1,6	2453±42	-2,3
анортозиты	2446±10		
Мончегорский плутон			
габбронориты	2493±7; 2504±1,5	2492±31	-1,4
Главный хребет			
Мончетундра, габбро	2488±3; 2463±25; 2453±4		
Чунатундра, лейкогаббро	2467±7		
Федорово-Панский массив			
габбронориты	2491±1,5; 2501±1,7	2487±51	-2,1
габбро-пегматиты	2470±9		
анортозиты	2447±12		
Имандровский лополит			
габбронориты	2446±9; 2441±1,6	2444±77	-2,1
базитовые пегматиты	2440±4		
нориты	2437±7		
оливиновый габбронорит	2395±5		
монцодиоритовая дайка	2398±1		
<i>Южный пояс</i>			
Кивакка			
оливиновые габбронориты	2445±2	2439±29	-1,2
Луккулайсваара			
пироксениты	2439±11; 2442±1,9	2388±59	-2,4
Ципринга			
габбро	2441±1,2	2430±26	-1,1
Бураковская			
габбронориты	2449±1,1	2365±90	-2,0

1	2	3	4
Ковдозерский массив			
пегматоидные габбронориты	2436±9		
Финская группа			
Койтелайнен	2433±8		
Койлисмаа	2436±5		
Нярьякаваара	2440±16		
Пеникат		2410±64	-1,6
Аканваара	2437±7	2423±49	-2,1

Эти фундаментальные данные используются в настоящее время при выполнении программы «Приоритетные направления геологоразведочных работ МПР РФ на 2005—2010 годы», в которую Кольский полуостров включен как один из приоритетных регионов России для поисково-оценочных работ на металлы платиновой группы, никеля и хрома, а также на выполнение соответствующей программы «Минеральные ресурсы Мурманской области 2003—2010 годов».

Применимость этих индикаторов проходит проверку на четырех базитовых массивах юго-восточной части Кольского полуострова (см. рис. 1) — Восточный, Песчаноозерский, Ондомозерский и Пялочный, которые до сих пор очень слабо изучены и обнажены, но по общим геологическим данным считаются перспективными на лицензирование и опоскование.

В результате исследований в 2003—2004 гг. первых определений возраста пород, их U/Pb и Sm/Nd систем, анализов на рудные компоненты установлено следующее.

Массивы Восточный и Песчаноозерский интересны для их дальнейшего опоскования на платинометалльные руды, U-Pb возраст цирконов из габбро Восточного массива 2483 ± 12 млн.лет, содержание сульфидов в среднем 2%, отдельные определения суммы Rh+Pt+Pd+Au достигают 0,8 г/т. Габбронориты Песчаноозерского массива имеют Sm-Nd возраст 2492 ± 59 млн.лет, $\epsilon_{Nd} = -2,2$, содержание сульфидов до 3—5%, сумма платиноидов в породе более 0,01 г/т.

Ондомозерский интрузив и Пялочный массив, относимые на геологических картах к сумийским расслоенным базитам федорово-панского платинометалльного типа, по нашим экспрессным данным, к таковым не относятся, а сходны с печенгскими телами. Цирконы из пород Ондомозерского интрузива определяют его «печенгский» возраст в 1974 ± 6 и 1963 ± 5 млн.лет, породообразующие минералы (плагноклаз и клинопироксен) и габбронорит лежат на Sm-Nd изохроне 1961 ± 24 млн.лет, $\epsilon_{Nd} = +2 \pm 0,2$. Примерно аналогичны и изотопные характеристики пород Пялочного массива, отрицающие его платинометалльные перспективы. Анализы на эти элементы здесь оказались пустыми.

Какие же геологические платинометалльные объекты, в разной степени опоскованные и разведанные, лицензированные или только относящиеся к перспективным, сейчас известны в Кольском регионе? Наиболее крупные и известные — это Федорово-Панский и Мончегорский плуто-

ны, а также интрузив горы Генеральская, уже достаточно хорошо разведанные. Обширные площади первого лицензированы ОАО «Пана», канадской компанией «Баррик» и совместным российско-канадским предприятием «Бэма». Мончегорский Плутон и его составляющая — тело горы Вурэчуайвенч [2], а также массив горы Генеральская входят в лицензированные территории Кольской горно-металлургической компанией. Другие массивы или их части также опосковываются.

Федорово-Панский массив [3] на современном эрозионном срезе имеет протяженность более 80 км при ширине до 7 км. Массив залегает в зоне северного контакта вулканогенно-осадочных пород Имандра-Варзугской протерозойской палеорифтогенной структуры с образованиями архейского фундамента. Поперечными разломами интрузив разоблен на три крупных блока, которые, возможно, соответствуют трем магматическим камерам, — Федоровский, Западно-Панский и Восточно-Панский (рис. 2). По геофизическим данным породы Федорово-Панского массива распространяются на глубину 4—5 км под протерозойскими образованиями. Массив сложен породами основного состава, среди которых преобладают габбронориты. Строение трех блоков массива существенно различается.

Федоровский блок представляет собой тело лополитообразной формы, сложенное преимущественно габброноритами, норитами и габбро с подчиненным количеством плагиопироксенитов. Отличительная черта блока — присутствие в приподошвенной части тела оруденелых такситовых габброноритов. Залегающая выше по разрезу зона норитов и плагиопироксенитов достигает мощности 200 м. Наибольшую часть разреза Федоровского блока составляют равные по мощности толщи габброноритов и габбро. Габбро содержат редкие маломощные прослои лейкократовых разностей и анортозитов.

По разведочным данным [7], малосульфидное оруденение (2—5% объема породы) с повышенным содержанием Pt+Pd+Rh(ЭПГ)+Au неравномерно распространено в нижней части Федоровского блока, слагая месторождение базального типа. Количество сульфидов увеличивается там, где породы имеют пегматоидную или такситовую текстуру. По результатам опробования в рудной залежи мощностью в десятки метров были выделены зоны с содержанием суммы ЭПГ+Au до 1 г/т и более, в которых содержатся метровые горизонты и линзы с содержаниями до

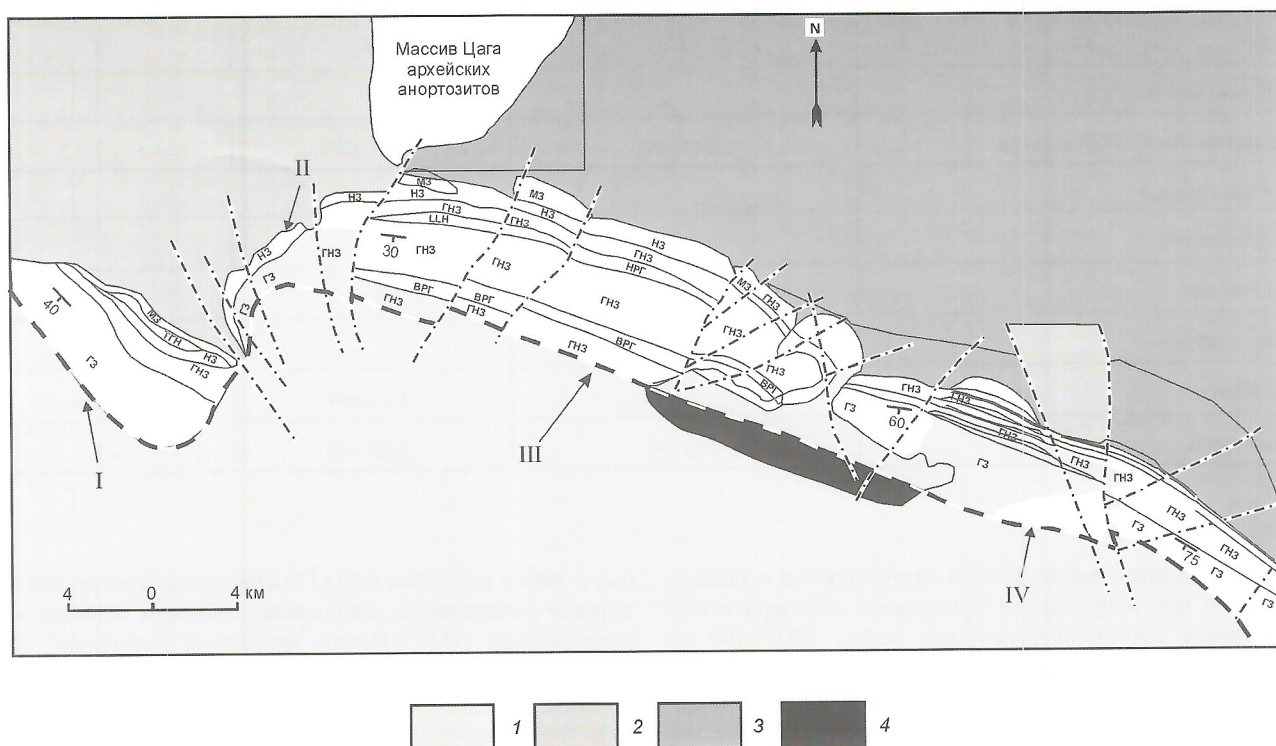


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Федоро-Панско расслоенного интрузива:

1 — архейские мигматиты; 2 — архейские гнейсы, анортозиты, щелочные граниты; 3 — Имандра-Варгужская рифтогенная осадочно-вулканогенная структура; 4 — морена; блоки: I — Федоровский, II — Западно-Панский, III — Восточно-Панский, IV — Ластяврский; ВРГ — верхний расслоенный горизонт, ГЗ — габбровая зона, НРГ — нижний расслоенный горизонт, ГНЗ — габброноритовая зона, НЗ — норитовая зона, ТГН — такситовые габбронориты, МЗ — маргинальная рассланцованная зона

4—5 г/т. Количество сульфидной вкрапленности увеличивается в нижних частях каждой из залежей. Отношения Pd/Pt равны 4,3—4,7, содержания Ni 0,08—0,16 и Cu 0,14—0,23%.

В рудах Федоровского блока преобладают висмутотеллуриды Pd и Pt, такие как меренскиит, мончеит, котульскит, мишнерит, а также арсениды (сперриллит), сульфиды (брэггит). Разведка рудных залежей Федоровского блока должна закончиться в ближайшие годы, подсчитываются запасы, предполагается разработка карьером.

Западно-Панский блок — наиболее мощная (почти 4 км) часть массива, протяженность ее около 25 км (см. рис. 2, 3). Это пластовое тело с выдержанным простиранием отдельных слоев, падающих на юго-запад под углом 30—35°. В целом, Западно-Панский блок на 70 % сложен средне-, мелкозернистыми мезократовыми габброноритами. В верхней части его разреза выделяется пласт оливиновых пород, переслаиваются оливиновые габбронориты, троктолиты и анортозиты (см. рис. 3).

Наиболее отличительная черта Западно-Панского блока — присутствие здесь двух расслоенных горизонтов — верхнего (ВРГ) и нижнего (НРГ). Горизонты образованы тонким чередованием различных по составу пород: габброноритов, норитов, лейкократовых габбро, анортозитов, плагиопироксенитов. Именно с расслоенными горизонтами связано малосульфидное «рифовое» оруденение элементов платиновой группы.

Петрология Западно-Панского блока изучалась сотрудниками ГИ КНЦ РАН [4], которые показали, что блок состоит из двух интрузивных фаз, охватывающих: 1) нижнюю часть

массива от подошвы до верхнего расслоенного горизонта, 2) верхний и перекрывающую его толщу пород.

Нижний (северный) платиноносный риф в нижнем расслоенном горизонте представляет собой сульфидоносную зону, выдержанную по простиранию и падению и согласную с расслоенностью пород. Общая протяженность рифа более 16 км. Рудные тела и линзы, как правило, концентрируются в средней части нижнего расслоенного горизонта. В единичных случаях сульфидная платинометалльная минерализация отмечается в пределах слоев монотонных лейкогаббро, обрамляющих зону тонкого чередования. Мощность рифа изменяется от 1 до 15 м. Он содержит основное рудное тело (рис. 4) и несколько рудных линз. Основное рудное тело, содержащее 80% подсчитываемых запасов, на всем протяжении (9700 м) обладает достаточно устойчивыми главными параметрами и прослежено более 50 скважинами. При бортовом содержании ЭПГ+Au 1 г/т средняя мощность Основного рудного тела изменяется в пределах 1,1—2,1 м, среднее содержание ЭПГ+Au 3,09—4,23 г/т. При этом отмечается устойчивое среднее содержание цветных металлов: Ni 0,12—0,16%, Cu 0,16—0,19%. В отдельных пробах содержание ЭПГ+Au достигает 21 г/т; Pd/Pt в среднем составляет 8,2.

Платинометалльное оруденение представлено бедным вкрапленным пентландит-халькопирит-пирротинным типом с содержанием сульфидов 0,5—2,0%. Наиболее распространены из минералов благородных металлов висмутотеллуриды и арсениды палладия и платины. Размер выделений металлов платиновой группы — от долей до первых сотен микрометров (в среднем 9 мкм). Преобладают котульскит, меренскиит, мончеит, брэггит.

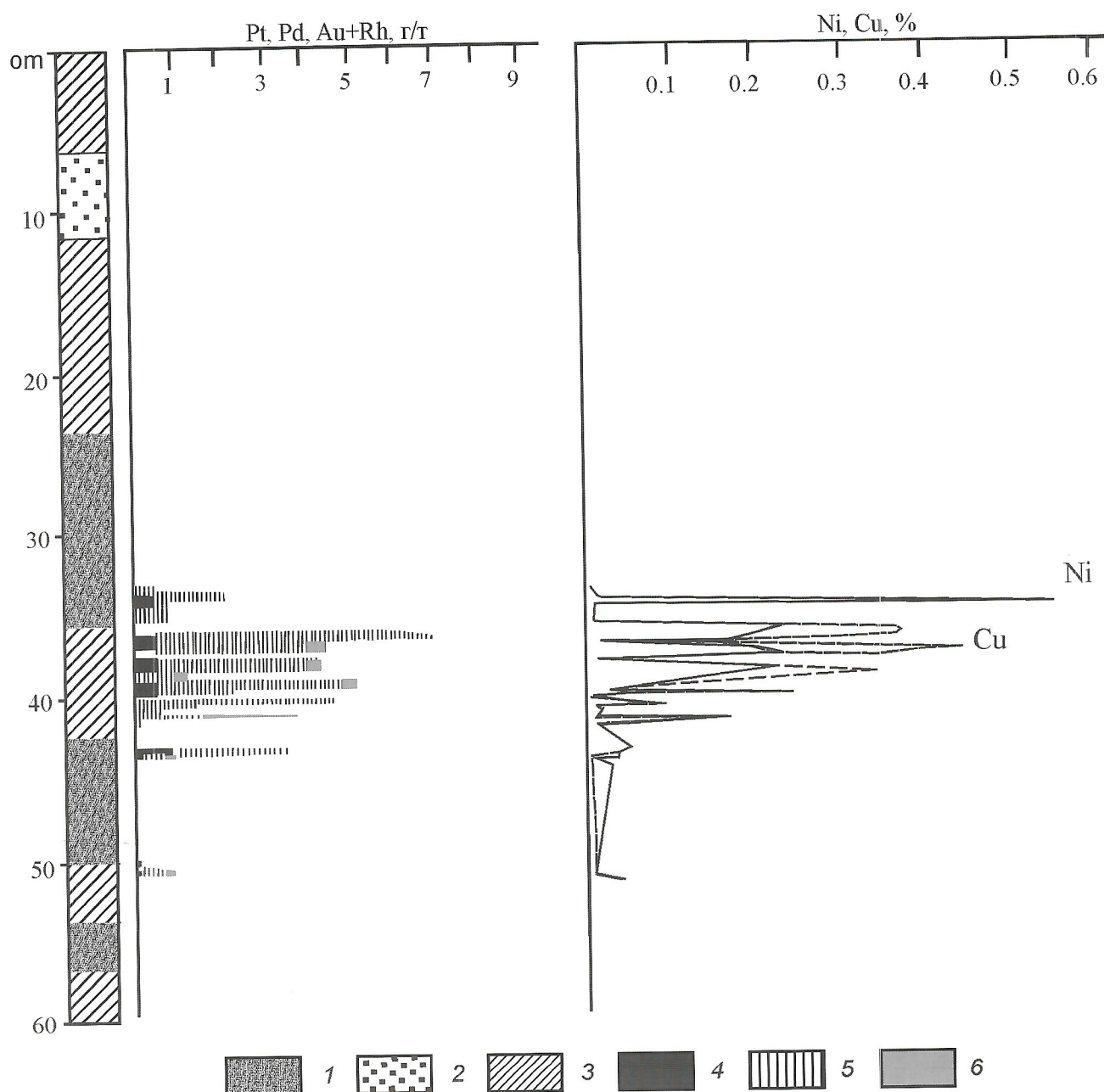


Рис. 4. Распределение полезных компонентов в нижнем расслоенном горизонте Западно-Панского блока (скв. Р-13):

1 — габбронориты; 2 — лейкогабброиды; 3 — габбро; 4 — Pt; 5 — Pd; 6 — Au+Rh

В Северном рифе выше и ниже Основного рудного тела имеются и другие линзовидные рудные тела различной мощности и протяженности с платинометалльным малосульфидным оруденением. Есть надежда что, после 2007 г. месторождение с запасами в десятки тонн до глубины 200 м будет разрабатываться. Технология добычи и обогащения изучаются.

Проявления сульфидного и платинометалльного оруденения, связанные с верхним расслоенным горизонтом объединены в Южный платиносный риф. Зона платинометалльного оруденения приурочена здесь к анортозитовым телам среди габброноритов и прослежена по простиранию в коренных обнажениях и скважинами, а также по развалам сульфидоносных глыб. Падение зоны южное под углом 30°. Истинная мощность оруденелых пород изменяется от 0,6 до 3,3 м. Содержание ЭПГ+Au колеблется от

1,3 до 41,5 г/т. Среднее содержание Ni 0,11%; Cu 0,20%. Среднее Pd/Pt составляет 10,15. Рудоносная зона разбурена несколькими скважинами. По падению она прослежена отдельными скважинами на глубину 60—100 м. В настоящее время на территории Южного рифа проводятся поисково-оценочные работы. Сульфидное оруденение элементов платиновой группы встречается также среди оливинсодержащих пород выше верхнего расслоенного горизонта по разрезу. Этот тип оруденения изучен пока слабо.

Таким образом, в Федорово-Панском массиве выявлены месторождения малосульфидных платина-палладиевых руд двух типов:

1. В нижней части массива Федоровой тундры почти до конца разведаны для открытой разработки мощные пологозалегающие залежи (десятки метров) руд со средними содержаниями Pt+Pd+Rh+Au 1—3 г/т, Pd/Pt около

4,5. Этот тип можно сопоставить с Платрифом (Южная Африка), месторождениями Лак-дез-Иль (Канада), Контиярви и Ахмаваара (Финляндия).

2. В маломощных (до 3 м) довольно крутопадающих рифах Панского интрузива, пригодных в основном для подземной разработки, содержание полезных компонентов в среднем часто выше 3—4 г/т, до 10 г/т и более, Pd/Pt очень изменчиво, но обычно более 8. Такой тип напоминает риф Меренского, J-M риф Стиллиутера, SK риф залежи Наркус в Финляндии.

Итак, в настоящее время Федорово-Панский интрузив — важнейший объект Кольской платинометалльной провинции, где активно проводятся поисково-разведочные работы и намечаются сроки освоения месторождений. Это, конечно, не Норильский район и не Бушвельд, но в любом случае объект для промышленного освоения, особенно в современный век «палладий-платинового бума», объект, сопоставимый или даже лучше известных платино-палладиевых интрузивов Финляндии и Канады.

В заключение следует отметить, что в Кольском регионе в настоящее время выявлен ряд объектов промышленной добычи руд Co-Cu-Ni, Rh-Pt-Pd (с Au) и Cr, связанных с раннепротерозойским мантийным плюмовым гипербазит-базитовым магматизмом. Предлагаемые геолого-петрологические и изотопно-геохимические индикаторы ускоряют и удешевляют поисковые работы на эти руды в плохо обнаженных и необнаженных объектах.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ по гранту «офи-а № 05-05-08028».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баянова Т.Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. — М.: Наука, 2004.
2. Гроховская Т.Л., Бакаев Г.Ф., Шелепина Е.П. и др. Платино-металльная минерализация в габброноритах массива Вуручайвенч, Мончегорский плутон (Кольский полуостров, Россия) // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 42. № 2. С. 147—161.
3. Корчагин А.У., Митрофанов Ф.П., Рундквист Т.В. и др. Особенности геологического строения Федорово-Панского расслоенного массива и проявления платиновых металлов в его восточной части // Платина России. 2004. Т. 5. С. 143—152.
4. Латыпов Р.М., Митрофанов Ф.П., Скиба В.И., Алапиев Т.Т. Расслоенный интрузив Западно-Панских тундр, Кольский полуостров: механизм дифференциации и последовательность становления // Петрология. 2001. Т. 9. № 3. С. 253—292.
5. Митрофанов Ф.П. Pt-Pd руды — новый вид рентабельного и конкурентно способного горнорудного сырья Мурманской области / Природопользование в Евро-Арктическом регионе: опыт XX века и перспективы. — Апатиты, 2001. С. 103—108.
6. Митрофанов Ф.П. Новые виды минерального сырья Кольской провинции: открытия и перспективы / Смирновский сборник. — М., 2005. С. 39—53.
7. Schissel D., Tsvetkov A.A., Mitrofanov F.P., Korchagin A.U. Basal Platinum-group Element Mineralization in the Federov Pansky Layered Mafic Intrusion, Kola Peninsula, Russia // Economic geology. 2002. Vol. 97. P. 1657—1677.

УДК 550.8.072

© В.И.Кочнев-Первухов, А.И.Кривцов, 2006

Прогнозно-поисковые модели металлогенических таксонов Норильского района и их использование для выделения перспективных площадей

В.И.КОЧНЕВ-ПЕРВУХОВ, А.И.КРИВЦОВ (ЦНИГРИ)

Ряд разноранговых пространственных металлогенических таксонов отвечает принципу последовательного приближения, реализуемого при геологоразведочных работах в последовательности обнаружения объектов прогноза и поисков: металлогеническая провинция—металлогеническая зона—рудный район—рудное поле—месторождение—рудное тело. В этом ряду каждая последующая категория примерно на порядок меньше предшествующей по площади и входит в нее. Проведение работ на основе этого ряда металлогенических категорий отражает последовательный переход от крупных единиц к более мелким с возрастанием детальности работ и затрат, увеличением потенциальной ценности объектов и достоверности выявляемых в них ресурсов и запасов. Однако при этом допустимы «обрывы» последовательности — не в каждом таксоне высокого порядка есть все таксоны более низких порядков [8]. Для обстановок Норильского района пространственные металлогенические таксоны имеют следующее геологическое содержание.

Металлогеническая провинция (МП) представляет собой северо-западную часть Большого траппового поля (БТП) Восточной Сибири, которая сложена преимущественно лавовыми фациями траппов. Этот участок Восточно-Сибирской плиты обладал высокой мобильностью на всех временных отрезках — от докембрия до триаса вклю-

чительно. Его формирование в пространстве и во времени сопряжено с рифтогенезом, интенсивно проявившемся в прилегающих структурах Западно-Сибирской плиты. Участок тяготеет к тройному сочленению рифтогенных структур [4, 6]. Как и для других подобных структур обрамления для него характерны проявления щелочно-ультраосновного магматизма.

Металлогенические зоны (МЗ) по структурно-вещественным характеристикам, площадям и конфигурации совпадают с вулканотектоническими депрессиями (ВТД). Они расположены на фланге кратона, в зоне длительных перикратонных опусканий, где до их формирования накапливаются мощные толщи преимущественно карбонатных отложений. По времени развития такие депрессии сопряжены по латерали с рифтовыми геоструктурами и находятся на их раме (плечах), на значительном удалении от осевых рифтовых зон. Позиция металлогенических зон вулканотектонической депрессии отражается в строении глубинных зон земной коры по рельефу поверхности Мохо и свойствам верхней мантии, характеру распределения продольных и поперечных сейсмических волн, положению блоков различной степени фемичности — сиаличности. Особое значение приобретает выделение в процессе работ Центра ГЕОН [1, 2, 5, 11] наклонных зон возможных «магмоводов», уходящих на значительные глубины к осям рифтов (рис. 1).

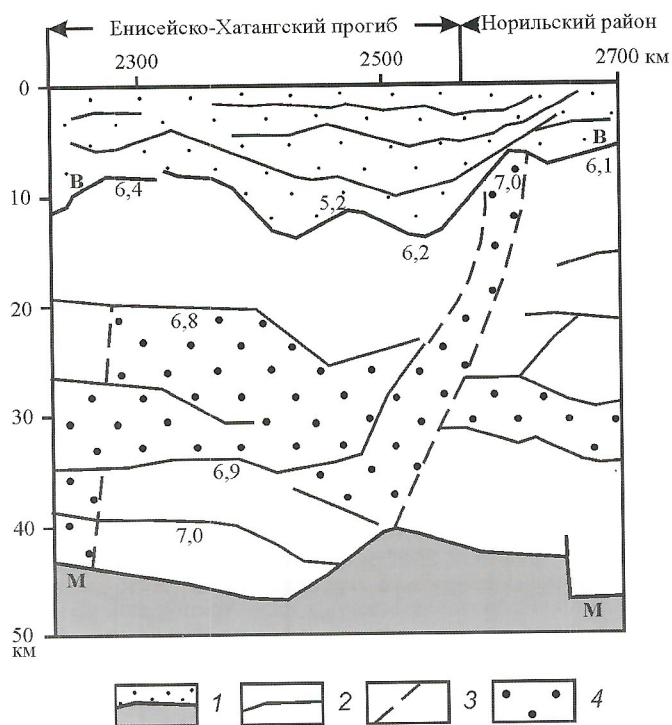


Рис. 1. Фрагмент сейсмического профиля «Батолит» [5]:

1 — опорные сейсмические границы (В — фундамент, М — поверхность Мохо); границы: 2 — внутрикоровые сейсмические, 3 — блоков с различными скоростными характеристиками; 4 — блоки земной коры, сложенные породами основного состава; цифры на рисунке — значения скоростей продольных волн, км/с

Вулкано-тектонические депрессии отчетливо выделяются в структурах магнитных полей, как в наблюдаемой версии, так и в различных их трансформатах, что позволяет оконтуривать такие депрессии и частично расшифровывать их внутреннее строение по аэромагнитометрическим данным. Материалы гравиметрических съемок, которые отражают глубинное, а не внутреннее строение территорий, не столь эффективны для выделения и оконтуривания рассматриваемых депрессий. Тем не менее, локальные гравитационные аномалии маркируют их периферию (рис. 2).

Рудоносные вулкано-тектонические депрессии отличаются от других частей Большого траппового поля Восточной Сибири (металлогеническая провинция) составом вулканогенного заполнения [3] (рис. 3), расчленяемого на серию свит (от ивакинской внизу до самоедской сверху). Такие депрессии практически повсеместно имеют в основании вулканогенного разреза неоднородные по составу фаций толщи вулканитов, датируемые как поздняя пермь — начало раннего триаса. Эти толщи состоят из субщелочных и щелочных базальтов, трахибазальтов, пойкилоофитовых базальтов, лейкобазальтов и, что особенно важно, пикритов (пикробазальтов) и анкармитов. Одна из пикритовых пачек венчает разрез толщ основания вулканогенного разреза, который многими исследователями считается вулканогенным аналогом собственно рудоносного плутонизма. Основной объем вулкано-тетонических депрессий занят платобазальтами, среди которых в различных пропорциях чередуются афировые, офитовые,

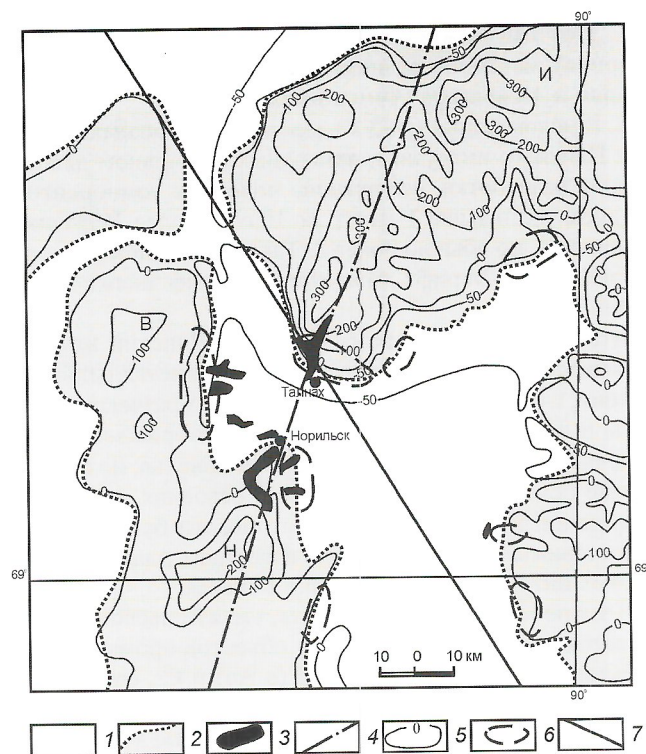


Рис. 2. Магнитное поле Норильского района по данным аэромагнитной съемки [9, 10]:

1 — породы основания ВТД; 2 — породы ВТД (депрессии: В — Вологодчанская, Н — Норильская, Х — Хараелахская, И — Иконская); 3 — рудоносные интрузивы; 4 — Норильско-Хараелахский разлом; 5 — изолинии магнитного поля, нТл; 6 — контуры локальных аномалий гравитационного поля; 7 — сейсмический профиль МОВЗ оз.Пясино—оз.Кета

пойкилоофитовые, порфировые и гломеропорфировые разности, предположительно связываемые с релитовыми расплавами раннетриасового вулканизма—плутонизма.

В качестве признаков потенциальной рудоносности описываемых депрессий могут считаться сульфидно-магнетитовые месторождения в трубках взрыва, стратиформные магнетитовые залежи в основании депрессий, месторождения самородной меди на нескольких уровнях разреза вулканитов.

Рудные районы (РР) — это группы интрузивов (ГИ), включающие рудоносные и потенциально рудоносные их разности (типы); обнаруживаются они вблизи основания вулкано-тектонических депрессий и нижних частях собственно вулканогенного разреза (табл. 1). Интрузивы погружаются к центрам таких депрессий с постепенным переходом из более высоких в более низкие (древние) стратиграфические толщи. Интрузивы рудоносного типа не поднимаются выше низов ханканчанской свиты, которую подстилают пикриты гудчихинской. Важно отметить, что в реальной практике к рудоносным принято относить интрузивы с наблюдаемой рудоносностью, а критерии отнесения интрузивов по частным безрудным сечениям к потенциально рудоносным пока отсутствуют или не бесспорны.

Хорошо известно, что во всех рудных районах этой территории (Норильский, Талнахский, Тальминский, Имандинский) рудоносные интрузивы пространственно сближены с интрузивами, которые обычно относятся к недифференцированным. Недифференцированные нередко сло-



Рис. 3. Схема сопоставления разрезов вулканогенных толщ Норильского района [3]:

базальты: 1 — щелочные, 2 — субщелочные, 3 — пойкилофитовые и офитовые толеитовые, 4 — афировые, порфировые и гломеропорфировые толеитовые; 5 — пикриты и пикробазальты; 6 — анкармиты; 7 — пирокластические и осадочные породы; 8 — породы основания ВТД; 9 — несогласия; названия свит см. в табл. 1

жены породами, близкими по составу к дифференциатам рудоносных интрузивов. Рудоносные интрузивы обычно сопровождаются силлообразными апофизами лейкогаббро, оливиновых габбро-долеритов, троктолитовых габбро-долеритов. При обнаружении изолированных тел такого состава их можно отнести к нерудоносным интрузивам. Важность выделения группы интрузивов и сопоставления их составов определяется тем обстоятельством, что их наблюдаемые части могут отвечать определенным зонам рудоносных интрузивов, которые разделены на дифференциаты не только по вертикали, но преимущественно по латерали. Пространственная близость и совмещение интрузивов различного состава на относительно ограниченных площадях усложняют выделение рудных районов и их оценку. Описательная модель районов приведена в табл. 2, а общая схема последовательности перехода от группы интрузивов к более детальным металлогенетическим таксонам представлена на рис. 4.

Рудные поля (РП). Рудоносные (потенциально рудоносные) интрузивы выделяются в пределах групп интрузивов по комплексу признаков, совокупность которых отвечает модели сульфидсодержащего магматического тела, несущего значительные запасы как вкрапленных, так и массивных руд. Модель рудоносного интрузива и ее отличия от интрузивов других типов приведена в табл. 3 [7]. Многие из признаков, приведенных в этой таблице, могут быть установлены лишь при достаточно детальном изучении интрузивов по обнажениям или скважинам.

Следует отметить, что характерный признак интрузивов рудоносного типа — их морфология. Это всегда трубообразные тела большой (более 25 км) протяженности с резкими изменениями площади их поперечного сечения и концентрацией наиболее богатых руд в головной части. Таковы интрузивы Норильский, Талнахский и Хараелахский, в которых выявлены все крупные (уникальные по запасам и качеству руд) месторождения Норильского района. Можно предположить, что именно благодаря этой их особенности в них столь отчетливо проявлены процессы концентрации рудного вещества, приводящие к образованию месторождений руд, резко обогащенных полезными компонентами — сульфидами цветных металлов и платиноидами.

Месторождения (М) и рудные тела (РТ) — представляют собой отдельные части (участки) рудоносных интрузивов, располагаясь главным образом на границах зон сужений — раздувов сечений в основании магматических тел большой протяженности. Распределение вкрапленных руд в интрузивах обнаруживает меньшую зависимость от их мощности при менее ярко выраженной обратной зависимости их мощностей и запасов от таких же показателей массивных руд. В табл. 4 приведены основные характеристики моделей месторождений норильско-талнахского типа в сочетании с описанием рудных полей.

Месторождения — рудоносные интервалы протяженных сульфидоносных «лежащих» (субгоризонтальных) магматических колонн. Для них характерны: 1) вертикаль-

1. Положение интрузивов в стратиграфическом разрезе вулcano-тектонических депрессий Норильского района

Стратиграфические подразделения, индексы	Месторождения, рудопроявления	Типы интрузивов								
		Ергалахский	Cu-Ni-платиноносные			Круглогорский	Пясинский	Фокинский	Огонерский	Далдыканский
			Норильск-1	Хараелах	Талнах					
Самоедская, T _{1sm}	Самородная медь									
Кумгинская, T _{1km}										
Хараелахская, T _{1hr}										
Мокулаевская, T _{1mk}	—									
Моронговская, T _{1mr}	Самородная медь									
Надеждинская, T _{1ndg}	Магнетитовые трубки									
Туклонская, T _{1tk}	—									
Хаканчанская, T _{1kh}	—									
Гудчихинская, T _{1gd}	—									
Сыверминская, T _{1sv}	—									
Ивакинская, T _{1iv}	Магнетитовые трубки									
Тунгусская серия C ₃ —P ₁										
D ₁ —C ₃	Стратоидные магнетитовые руды									
S ₂ —D ₁										

2. Признаковая модель рудного района Норильского типа

Группа элементов-признаков	Содержание признака (группы признаков)
Формационные	Габбро-долеритовая рудоносная формация
Структурные	Группа интрузивов вблизи основания вулcano-тектонической депрессии или на ее флангах
Метасоматические	Гибридно-метасоматические породы, инфильтрационные магнезиальные и известковые скарны, щелочные метасоматиты, роговики, вкрапленность сульфидов в экзоконтакте интрузива
Геохимические	Повышенный геохимический фон Cu, Zn, Pb, Ag
Минералогические	Минеральная ассоциация магнезиального оливина и основного плагиоклаза; сингенетическая вкрапленность сульфидов
Геофизические	Линейные гравиметрические и магнитометрические аномалии, ориентированные по падению пород

ная зональность интрузивов — от обогащенных сульфидами контактовых, такситовых и пикритовых габбро-долеритов внизу до безрудных оливинсодержащих и безоливиновых габбро-долеритов вверху; 2) приуроченность к верхним эндоконтактам интрузивов лейкократового габбро, такситового и пикритового габбро-долерита; 3) наличие в нижнем эндоконтакте и в подстилающих породах вкрапленных и массивных руд; 4) мощные зоны экзоконтактовых изменений, содержащих обогащенные платиноидами медно-никелевые сульфиды; 5) обогащенность сульфидного вещества медью $[Ni:Cu=1:(1,2\div 2,5)]$ и тяжелым изотопом серы $[\delta^{34}S=+(7\div 17)\%]$; 6) повышенные содержания Cr_2O_3 (0,5—2%) в пикритовых горизонтах и проявления хромитовой минерализации; 7) геохимические аномалии никеля, меди и платиноидов во вмещающих по-

родах; геофизические аномалии, свидетельствующие о возможном наличии в массиве медно-никелевых руд.

Рассмотренные прогнозно-поисковые (признаковые) модели, построенные на примере соответствующих рудоносных интрузивов Норильского района, были использованы при оценке перспектив Западного фаса Сибирской платформы (рис. 5), где были выделены перспективные площади: Светлогорский рудный район, расположенный на периферии вулканотектонической депрессии Курейской, и Колуйский — Северореченской. Оба района находятся в северной части Западного фаса на южном продолжении структур Норильского района и не выходят за границу распространения эффузивного толеит-андезит-базальтового структурно-вещественного комплекса, включающего проявления пикритовых вулканитов. Интрузивы

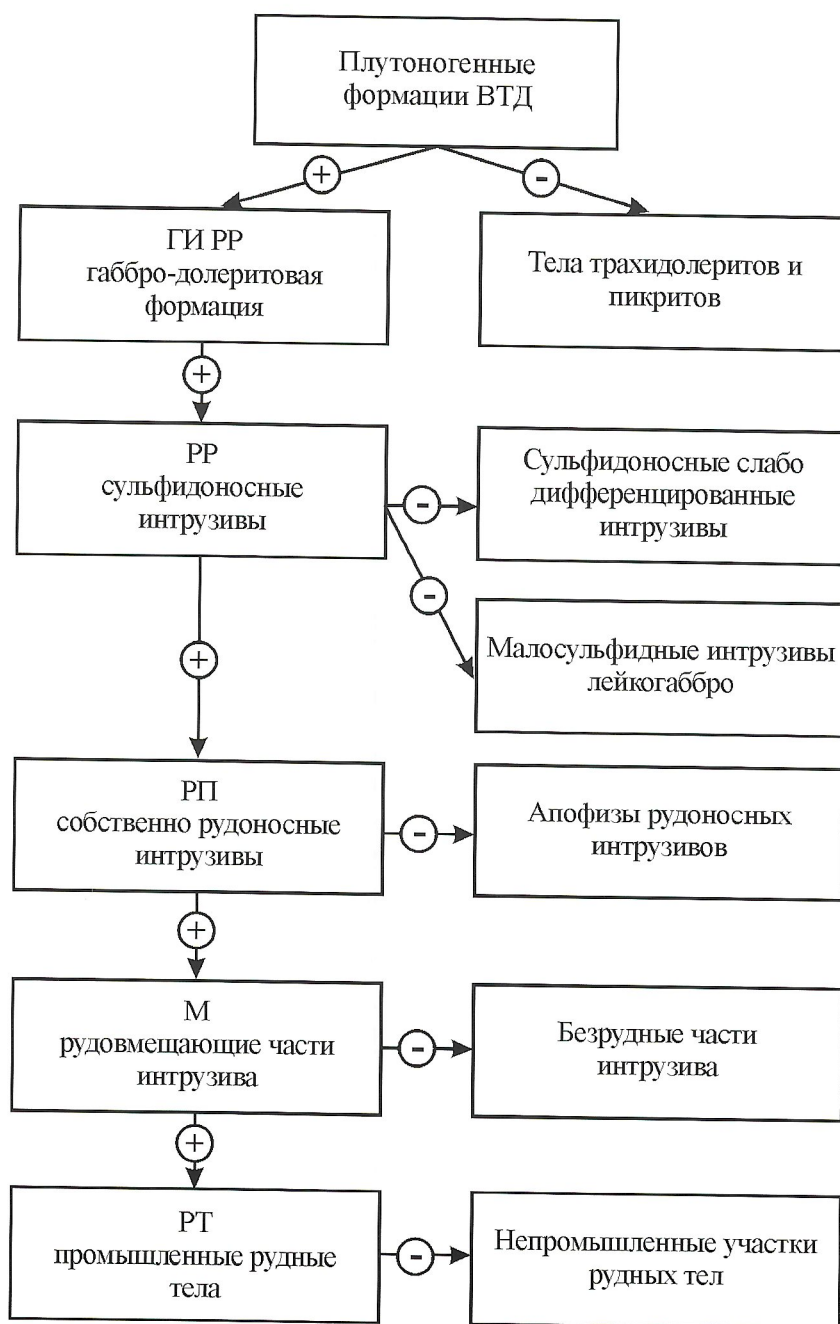


Рис. 4. Положение объектов прогноза и поисков в плутоногенных образованиях вулканотектонических депрессий

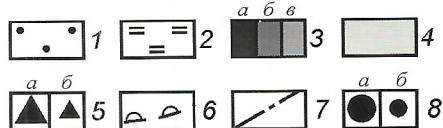
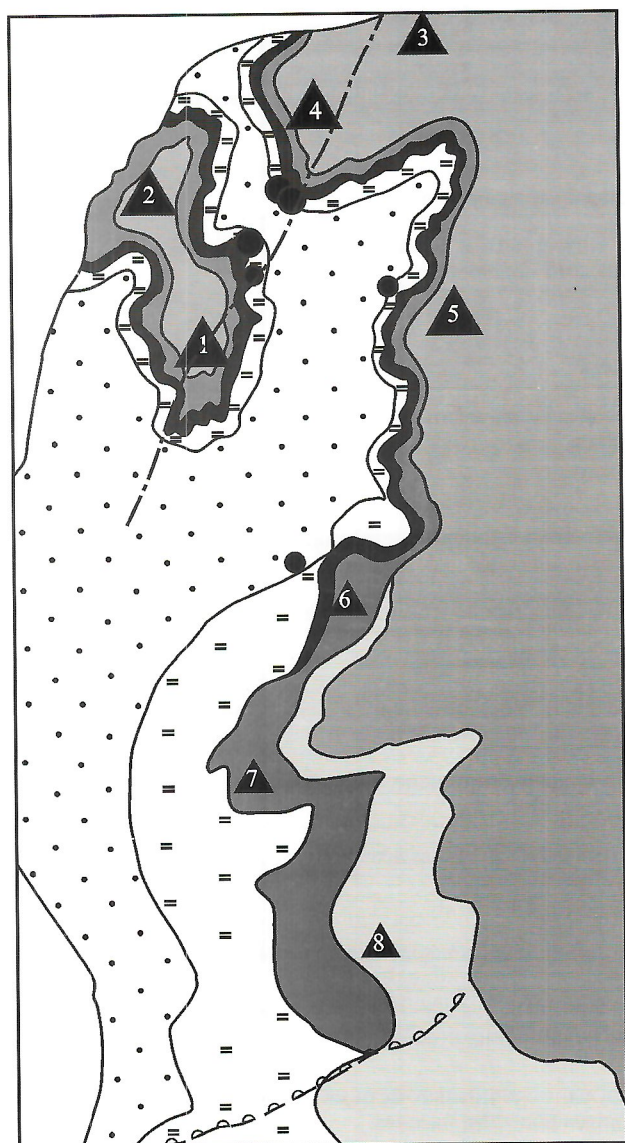
3. Типы интрузивов Норильского рудного района

Признаки интрузивов	Типы интрузивов		
	Убогосульфидные (Ергалахский, Огонерский, Далдыканский)	Сульфидсодержащие (Круглогорский, Нижнеталнахский, Зубовский, Моронговский)	Рудоносные (Норильско-Талнахский)
Формы интрузивов	Силлы, пласты, ступенчатые тела	Пластообразные, иногда с раздувами; редко секущие	Пластообразные, трубообразные
Характеристики экзоконтактных ореолов:			
отношение суммарной мощности контактового ореола к мощности интрузивов	0,1—0,5	0,4—1,5	1,5—2,5
отношение мощностей надинтрузивных ореолов к подинтрузивным	0,1—1,5	1,1—2	2—4
преобладающие типы роговиков	Мусковитовый	Амфиболовый	Пироксеновый
распространенность метаморфических пород спуррит-мервинитовой фации	Отсутствуют	Редки	Обычны
минеральные типы магнезиальных скарнов	Флогопитовый	Флогопит-форстеритовый	Флогопит-форстерит-периклаз-монтцеллитовый
Характеристики строения и состава пород и руд:			
характер дифференциации	Недифференцированные или с неотчетливой дифференциацией	Неполно дифференцированные	Полно дифференцированные — сверху вниз: лейкогаббро, такситовые габброиды, диориты, габбро-долериты: кварцсодержащие и безоливиновые, оливиновые, оливин-биотитовые, пикритовые, такситовые, контактовые
преобладающие породы	Долериты, оливиновые долериты	Габбро, оливиновые долериты и габбро-долериты	Оливиновые и пикритовые габбро-долериты
характерные микроструктуры пород	Бостонитовые, пойкилофитовые	Сегрегационные офитовые, микродолеритовые	Офитовые
породообразующие минералы	Ol ₆₀ , Ti-Aug, Pl ₈₀ , Ti-Mgt	Ol _{<25} , Pl _{>90} , Sp	Ol _{<25} , Pl _{>90} , Sp
кумуляус и его минеральный тип	Отсутствует	Плагноклазовый, оливиновый	Оливиновый
сегрегации хромита	«	Редки	Обычны
вторичный минерал по оливи-ну	Боулингит (редко)	Боулингит, тальк	Серпентин
ведущие сульфидные ассоциации	Pn-Po-Cp	Pn-Po-Cp	Pn-Po-Cp
рудные минералы	—	Pу, Вп, Сб	Tln, Mh, Mill, МПГ
Геохимические характеристики сульфидной вкрапленности в интрузивах			
Cu/Ni	0,52—5,26	0,12—5,0	0,83—3,0
Co/Ni	0,06—2,0	0,02—0,67	0,40—2,0
Pd/Pt	1,42—10,0	3,0—5,0	0,64—10,0
δ ³⁴ S‰	-1,7÷1,7	-0,1÷9,7	1,9—13,6

Примечание. Aug — авгит, Вп — борнит, Сб — кубанит, Ср — халькопирит, Мh — моихукит, Mill — миллерит, Ol — оливин, PGM — минералы платиновых металлов, Pl — плагноклаз, Pn — пентландит, Po — пирротин, Pу — пирит, Sp — шпинель, Ti-Aug — титан-авгит, Tln — талнахит, Ti-Mgt — титаномagnetит

4. Характеристика моделей месторождений норильского типа

Элементы модели	Месторождение норильско-талнахского типа
1. Рудоносные магматические тела	
1.1. Состав и формационная принадлежность	Дифференцированные габбро-долеритовые
1.2. Форма	Протяженные лентовидные и ветвящиеся по простиранию и восстанию, с частыми перепадами мощностей
2. Рама магматического тела	
2.1. Кровля	Потоки базальтов
2.2. Подошва	Осадочные породы, титан-авгитовые базальты, трахибазальты, андезито-базальты
3. Экзоконтактовые изменения	
3.1. В кровле	Роговики, альбит-микроклиновые метасоматиты, скарны, скарноиды, биотитизация
3.2. В подошве	То же, в ореолах существенно меньшей мощности
4. Внутреннее строение магматического тела	
4.1. Верхние части	Эруптивные брекчии, гибридные породы, лейкократовые габбро, габбро-диориты, верхние пикритовые и такситовые габбро-долериты
4.2. Средние части	Безоливиновые, оливинсодержащие, оливиновые, пикритовые габбро-долериты
4.3. Нижние (придонные) части	Такситовые и контактовые габбро-долериты
5. Рудные тела	
5.1. Положение относительно фаций (фаз) магматических массивов	1. Верхние контактовые прожилково-вкрапленные руды — породы кровли. 2. Малосульфидные МПГ руды — эндоконтактовая зона лейкогаббро. 3. Вкрапленные руды — пикритовые, такситовые, контактовые габбро-долериты. 4. Массивные руды — придонные части массивов на участках раздува их мощностей, породы подошвы массива. 5. Нижние контактовые прожилковые руды — под телами массивных руд или в позиции массивных при их отсутствии
5.2. Морфология рудных тел	1—2. Верхние контактовые прожилково-вкрапленные и малосульфидные МПГ руды — прерывистые пластообразные тела и линзы. 3. Вкрапленные руды — протяженные по всему простиранию интрузива пластообразные тела с малоамплитудными перепадами мощностей. 4. Массивные руды — пласто- и линзообразные уплощенные тела, вытянутые по простиранию интрузива и удаленные друг от друга на значительные расстояния. 5. Нижние контактовые прожилково-вкрапленные руды — пласто- и линзообразные уплощенные тела, сходные по распределению в пространстве с телами массивных руд
5.3. Состав руд	Пирротин, халькопирит, кубанит, борнит, талнахит, миллерит, пирит, халькозин, магнетит, минералы металлов платиновой группы (МПГ)
6. Проявления рудной минерализации иного элементного и минерального состава, их положение в магматических телах и относительно сульфидных руд	Хромит в зонах развития малосульфидных МПГ руд и в нижних частях вкрапленных руд, акцессорный титаномagnetит во всех зонах
7. Геохимические ореолы:	
7.1. Внутри магматического тела	Повышение локального фона Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Mo, Ag, МПГ в интрузиве и в надрудных ореолах
7.2. Вне интрузива	Повышение локального фона Cu, Ni, МПГ перед, под и над фронтом интрузива



в этих районах близки по составу и рудоносности к норильским аналогам — интрузивам норильско-талнахского типа. Они изучены только в своих головных частях, где установлено наличие богатых руд норильского типа, и не прослежены на глубину, под образования соответствующих вулcano-тектонических депрессий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булин Н.К., Егоркин А.В. Среднекоровые аномалии параметра Vp/Vs и их металлогеническое значение // Региональная геология и металлогения. 1994. № 7. С. 18—21.
2. Булин Н.К., Солодилов Л.Н. Глубинный контроль эндогенного оруденения по сейсмическим данным // Региональная геология и металлогения. 1994. № 2. С. 26—41.
3. Геологическая карта Норильского рудного района. 1:200 000. Объяснительная записка. —М.: Геоинформмарк, 1994.
4. Глубинные исследования недр в СССР / Доклады сов. геологов на 28 сессии МГК, Вашингтон, июль 1989 г. —Л.: ВСЕГЕИ, 1989.
5. Дюжиков О.А., Дистлер В.В., Струнин Б.М. и др. Геология и рудоносность Норильского района. —М.: Наука, 1988.
6. Заскинд Е.С., Кочнев-Первухов В.И. Геотектонические закономерности размещения никеленосных регионов и оценка их продуктивности / Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Норильского региона. —Апатиты, 1988. С. 4—8.
7. Комплексирование работ по прогнозу и поискам сульфидных медно-никелевых месторождений (прогнозно-поисковые комплексы). Вып. VI. —М., 1977.
8. Кривцов А.И., Кочнев-Первухов В.И., Конкина О.М. и др. Cu-Ni- МПГ месторождения Норильского типа. —М.: ЦНИГРИ, 2001.
9. Ремпель Г.Г., Парцуков Н.П., Вайвод Е.А. Объемное моделирование туфогенно-эффузивной толщи Норильского района по данным аэромагнитной съемки и прогноз медно-никелевого оруденения // Геология и геофизика. 1990. № 10. С. 87—90.
10. Ремпель Г.Г., Салов В.М. Природа региональных гравитационных аномалий и их использование при оценке объема интрузивных масс в Норильско-Хараелакском прогибе // Геология и геофизика. 1977. № 9. С. 86—96.
11. Солодилов Л.Н. Центр «ГЕОН» — 25 лет глубинных сейсмических исследований // Разведка и охрана недр. 1994. № 10. С. 2—8.

Прогнозно-поисковые модели платиноносных расслоенных мафит-ультрамафитовых плутонов

Е.С.ЗАСКИНД, О.М.КОНКИНА, В.И.КОЧНЕВ-ПЕРВУХОВ (ЦНИГРИ)

Месторождения металлов платиновой группы (МПГ) в расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексах являются основным источником этих металлов. В них сосредоточено около 87% мировых запасов.

Главные особенности этих месторождений — ассоциация металлов платиновой группы с сульфидами никеля и меди и преобладание платины и (или) палладия над всеми остальными металлами этой группы. От вкрапленных медно-никелевых платино-палладиевые руды отличаются значительно более высокой концентрацией МПГ в сульфидной массе. Содержания цветных металлов в рудах месторождений соответствуют некондиционным убоговкрапленным рудам медно-никелевых месторождений и не представляют самостоятельного промышленного интереса. Состав сульфидной вкрапленности месторождений металлов платиновой группы специфичен и отличается повышенными содержаниями никеля и меди по отношению к сере (рис. 1). Технология обогащения руд — гравитационно-флотационная с получением гравитационного концентрата рассматриваемых металлов в «голове» процесса в отличие от чисто флотационной для руд медно-никелевых месторождений. Перечисленное позволяет выделить платинометалльные месторождения расслоенных комплексов в особый платино-палладиевый геолого-промышленный тип, называющийся в мировой практике *малосульфидный*.

Платинометалльная минерализация *малосульфидного* типа широко распространена в расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексах, однако промышленные месторождения пока единичны. Каждое из них уникально по своим характеристикам, поэтому возможность выделения типовых объектов обеспечивает лишь привлечение сведений по рудопроявлениям, обобщенные черты которых формируют комплекс поисковых признаков [1—15].

Как объект прогноза, расслоенные массивы представляют собой систему разноранговых металлогенических таксонов — рудный район, рудное поле, месторождение (табл. 1).

1. Геологическая позиция металлогенических таксонов в расслоенных мафит-ультрамафитовых комплексах

Металлогенические таксоны	Геологическая позиция
Металлогеническая зона	Площадь распространения дифференцированных мафит-ультрамафитовых массивов в зонах тектономагматической активизации
Рудный район	Расслоенный перидотит-пироксенит-габброноритовый интрузив или группа сближенных интрузивов
Рудное поле	Нижняя норит-габброноритовая часть разреза габброидной серии
	Верхняя часть разреза ультрамафитовой серии
	Краевая часть массива
Месторождение	Пачки переслаивания платиноносных сульфидсодержащих анортозитов, габброидов, плагиоклазовых ультрамафитов и хромититов
	Зоны платиноносных сульфидсодержащих плагиоклазовых пироксенитов
	Зоны платиноносных сульфидсодержащих такситовых габброидов и плагиоклазовых ультрамафитов

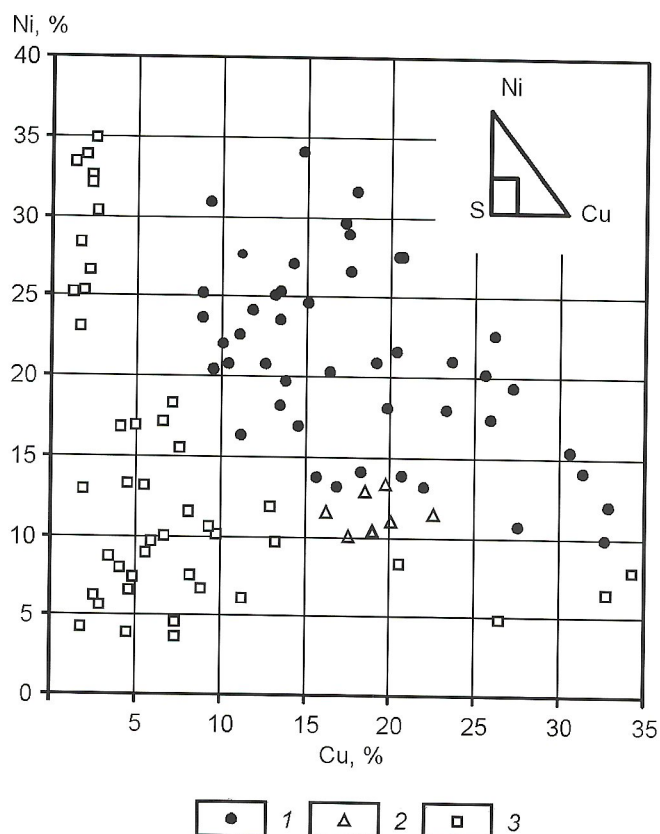


Рис. 1. Составы платинометалльных и вкрапленных медно-никелевых руд на барицентрической диаграмме Cu—Ni—S:

1 — платинометалльные руды; 2 — руды месторождений Норильского района; 3 — прочие медно-никелевые месторождения

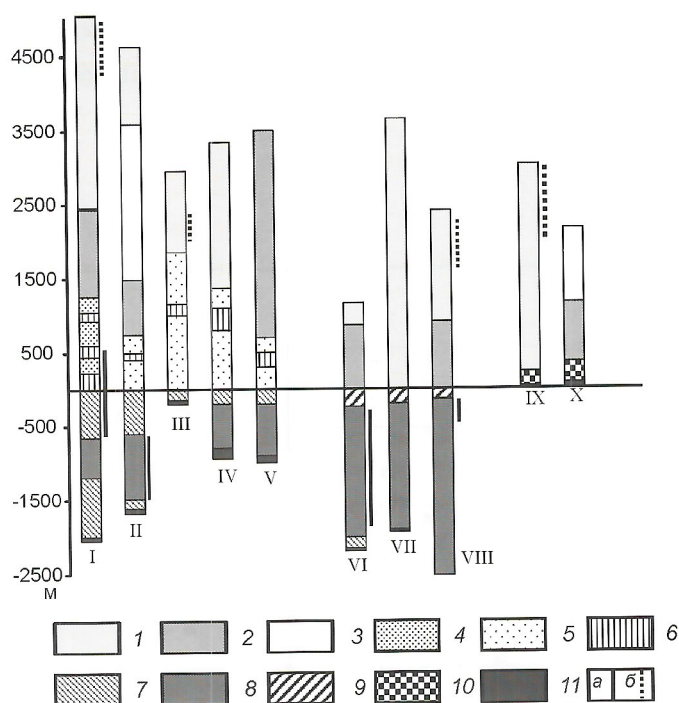


Рис. 2. Разрезы рудоносных расслоенных массивов:

габброидная серия: 1 — пижонитовые и магнетитовые габбро-нориты и габбро, 2 — габбро-нориты, 3 — анортозиты, габбро; породы рудного поля: 4 — нориты, 5 — габбро-нориты, нориты, 6 — пачки переслаивания норитов, габбро-норитов, анортозитов, плагиоклазовых ультрамафитов ± хромититов (соответствуют месторождениям); ультрамафитовая серия: 7 — ортопироксениты, 8 — переслаивание дунитов, перидотитов, пироксенитов, хромититов, 9 — зона пироксенитов (соответствует рудному полю); 10 — зона такситовых плагиоклазовых ультрамафитов и габброидов краевой части интрузива (соответствует рудному полю); 11 — породы эндоконтактовой части интрузива; 12 — интервал распространения: а — хромититов, б — вкрапленных и сплошных титаномagnetитовых руд; массивы: I — Бушвельдский (восточная часть), II — Стиллуотерский, III — Западно-Панский, IV — Луккулайсваара, V — Мончетундровский, VI — Великая Дайка, VII — Муни-Муни, VIII — Бураковский, IX — Бушвельдский (северная часть, район месторождения Платриф), X — Федоровотундровский

Рудные районы в пределах металлогенических зон выделяются как ареалы распространения рудоносной перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации и эквивалентны крупным расслоенным массивам или группам сближенных интрузивов.

Расслоенные плутоны — особая группа дифференцированных мафит-ультрамафитовых массивов, строение главных дифференциатов которых осложнено перемежаемостью и повторяемостью, часто ритмической, различных по составу и структуре пород (рис. 2). Повторяющаяся расслоенность — главная особенность рассматриваемых массивов, которая отличает их от дифференцированных силлов, спектр дифференциатов которых эквивалентен, по существу, одному ритму расслоенных интрузивов.

Разрезы платиноносных расслоенных массивов представлены тремя вертикальными рядами дифференциатов: гарцбургит—ортопироксенит—норит—габбро-норит; гарцбургит—ортопироксенит—вебстерит—габбро-норит; лерцолит—клинопироксенит—вебстерит—габбро-норит, отражающими порядок кристаллизации главных породообразующих минералов и, в итоге, состав исходных магм [2].

Для выявления и оконтуривания потенциальных рудных районов необходимо установить наличие скоплений магматитов рудоносной формации в осадочном чехле протоплатформенных мульд (прогибов), либо в основании вулканотектонических депрессий, либо зонах глубинных разломов, разделяющих разнородные блоки протоплатформенного фундамента, которые фиксируются линейными или изометричными грави- и магнитометрическими аномалиями, электроаномалиями в контуре массивов или их экзоконтактах; повышенным геохимическим фоном Ni, Cu, Co. Обязательным признаком является вкрапленность сульфидов Fe, Cu и Ni, титаномagnetита и хромита. К косвенным признакам относятся шлиховые ореолы сперритита, сульфидов меди и никеля, хромита и титаномagnetита. Перечисленные факторы и признаки — основа для создания прогнозно-поисковой модели рудного района (табл. 2).

Рудные поля эквивалентны специфическим зонам неоднородного строения габброидной или ультрамафитовой серий интрузивов. Геологическими элементами строения рудных полей являются: зоны чередования габброидов (нориты и габбро-нориты) и пачек переслаивания различного, часто контрастного (ультрамафит—анортозит) состава в низах габброидной серии; зоны плагиопироксенитов в верхах ультрамафитовой серии; зоны такситовых пород в краевой части интрузива или его блока (см. рис. 2).

По условиям локализации (положению в разрезе массива, петрографическому контролю) рудные поля делятся на четыре типа: бушвельдский, стиллуотерский, хартли и платриф (табл. 3).

Потенциальным месторождениям в пределах перспективных рудных полей эквивалентны области развития сульфидоносных частей разреза, отличающиеся резким локальным увеличением концентраций полезных компонентов и характеризующиеся комплексом особенностей геологического строения. Признаковые модели месторождений металлов платиновой группы представлены в табл. 4. Они включают обобщенные петрографо-петрохимические, рудно-минералогические, геохимические и геофизические характеристики (элементы) околорудного и рудного пространства. Согласно типам рудных полей выделено четыре типа месторождений.

Рудные поля месторождений *бушвельдского типа* локализируются в нижней норитовой части разреза габброидной серии массива, содержащей пачки переслаивания хромититов, ультрамафитов (плагиоклазовые ортопироксениты и гарцбургиты), габброидов (нориты, лейконориты) и анортозитов. Переходы между слоями разного петрографического состава как постепенные, так и резкие. Месторождения и рудопроявления металлов платиновой группы приурочены к пачкам переслаивания, в которых размещение рудных тел контролируется пластами (рифами) сульфидсодержащих плагиобронзититов, сменяющимися по латерали плагиогарцбургитами (месторождения рифа Меренского) или сульфидсодержащих хромититов (месторождения слоя УГ-2 и рудопроявления в хромититах

2. Прогнозно-поисковая (признаковая) модель рудного района

Элементы модели	Рудный район и его признаки (критерии выделения)
Формационные — рудоносная (рудовмещающая) плутоническая формация	Перидотит—пироксенит—габброноритовая
Структурные	Интрузив (или часть крупного интрузива) рудоносной формации в осадочном чехле протоплатформенной мульды (прогиба), основании вулканотектонической депрессии, зоне глубинного разлома, разделяющего разнородные блоки протоплатформенного фундамента
Петрографические (главные ассоциации пород)	Ультрамафитовая серия: гарцбургит-ортопироксенитовая; гарцбургит-ортопироксенит-вебстеритовая; верлит-клинопироксенит-вебстеритовая; характерно присутствие плагиоклазсодержащих разностей Габброидная серия: норит-габброноритовая; габброноритовая
Геохимические	Повышенный геохимический фон цветных металлов — Ni, Cu, Co
Шлихо-минералогические	Шлиховые ореолы сперрилита, сульфидов Cu и Ni, магнетита, титаномагнетита, хромита
Геофизические	Аномальные (положительные) гравитационное и магнитное поля; аномальное электрическое поле

групп УГ и МГ). Руды характеризуются равномерным распределением концентраций МПГ при преобладании платины над палладием. Запасы металлов месторождений данного типа уникальны по величине и качеству, а рудные тела — по протяженности и выдержанности содержания платиноидов (6—9 г/т).

Рудные поля месторождений *стиллуотерского типа* расположены в нижней габбронорит-норитовой части раз-

реза габброидной серии, содержащей пачки прерывистых слоев и линз норитов, габброноритов, троктолитов, анортозитов и плагиоклазовых ультрамафитов; отсутствие хромититовых слоев — главное отличие от продуктивной части разреза бушвельдского типа. Породы пачек неоднородны по структуре — характерны обособления крупнозернистых и пегматоидных разностей. Месторождения и рудопроявления металлов платиновой группы приурочены к сульфид-

3. Прогнозно-поисковые (признаковые) модели рудных полей

Элементы модели	Рудные поля и их типы			
	Бушвельдский	Стиллуотерский	Хартли	Платриф
Структурные:				
положение в разрезе интрузива	Нижняя норитовая часть разреза габброидной серии	Нижняя габбронорит-норитовая часть разреза габброидной серии	Верхняя часть разреза ультрамафитовой серии	Красевая часть интрузива
перекрывающие породы	Пижонитовые и магнетитовые габброиды, габбронориты	Пижонитовые и магнетитовые габброиды, габбро, анортозиты	Породы габброидной серии	Породы габброидной серии
подстилающие породы	Породы ультрамафитовой серии	Породы ультрамафитовой серии	Хромититы, перидотиты, дуниты ультрамафитовой серии	Породы экзоконтакта массива
Фациальные особенности	Зона чередования норитов и пачек переслаивания хромититов, плагиоклазовых ортопироксенитов, норитов и анортозитов	Зона чередования норитов и габброноритов с пачками переслаивания плагиоклазовых ультрамафитов, норитов, габброноритов, троктолитов и анортозитов	Зона пироксенитов	Зона такситовых плагиоклазовых ультрамафитов и габброидов
Геохимические	Повышение локального фона Cu, Ni, Co, Au, Ag, МПГ в породах, слагающих рудное поле			
Минералогические	Вкрапленность пирротина, пентландита, халькопирита			
Положение рудной минерализации иного минерального состава	Титаномангнетитовая в перекрывающих габброидах; хромитовая в подстилающих ультрамафитах			
Геофизические	Гравиметрические, магнитные и электроаномалии			

4. Прогнозно-поисковые (признаковые) модели месторождений металлов платиновой группы различных типов

Элементы модели	Типы платино-палладиевых месторождений			
	Бушвельдский	Стиллуотерский	Хартли	Платриф
Рудоносная часть разреза	Пачка переслаивания хромититов, плагиоклазовых ортопироксенитов и гарцбургитов, норитов и анортозитов	Пачка прерывистых слоев и линз норитов, габброноритов, троктолитов, анортозитов и плагиоклазовых ультрамафитов	Верхняя плагиоипроксенитовая часть разреза пироксенитовой зоны	Верхняя часть разреза зоны такситовых плагиоклазовых ультрамафитов и габброидов
Рудовмещающие породы	Плагиоклазовые ортопироксениты или хромититы	Плагиоклазовые гарцбургиты и ортопироксениты, троктолиты, анортозиты, нориты	Плагиоклазовые ортопироксениты и вебстериты	Плагиоклазовые ортопироксениты, нориты, габбронориты, ксенолиты вмещающих пород
Геохимические	Локальные аномалии Cu, Ni и Co; повышенные (более 0,1 г/т) содержания МПГ в пределах локальных аномалий Cu, Ni и Co; струйные ореолы рассеяния; локальные аномалии по придонной морене			
Минералогические	Халькопирит+пентландит>пирротин; халькопирит+пентландит			
Геофизические	Электроразведочные (ВП) аномалии; электромагнитные радиоволновые аномалии (РВЗ, РВП)			
Форма рудных тел	Пласт выдержанной мощности	Прерывистые пластообразные тела с локальными раздувами, уплощенные линзы	Пласт с незначительными вариациями мощности	Линзовидные и линзовидно-пластовые тела
Состав руд	Минералы МПГ, пирротин, халькопирит, пентландит±хромит	Минералы МПГ, пирротин, халькопирит, пентландит		

содержащим пачкам переслаивания, в которых рудные тела прослеживаются в виде пластов мощностью до 10 м. Основные отличия от месторождений бушвельдского типа являются: отсутствие петрографического контроля размещения платиноносной сульфидной вкрапленности, неравномерное распределение содержаний МПГ с обособлением участков высоких концентраций (до 70 г/т), существенно палладиевый состав руд — Pd/Pt обычно более 3,5 (в некоторых рудопроявлениях — до 10 и более). Ресурсы и разведанные запасы существенно уступают бушвельдскому типу месторождений.

Рудные поля месторождений *типа хартли* (Великая Дайка) приурочены к верхней пироксенитовой зоне ультрамафитовой серии. Месторождения металлов платиновой группы находятся в венчающих разрез зоны сульфидсодержащих плагиоклазовых ортопироксенитах и вебстеритах. Рудные тела представляют собой пласты внутри сульфидоносной зоны, не имеют геологических границ и оконтуриваются только по данным опробования. Средняя мощность рудного пласта около 2 м, содержания МПГ изменяются от 2 до 6 г/т. По соотношениям платины и палладия руды близки бушвельдскому типу, а по уровням содержаний МПГ — беднее месторождений первых двух типов.

Рудные поля месторождений *типа платриф* локализуются в сульфидоносных породах краевых или базальных частей массивов, в которых содержания цветных металлов на отдельных участках достигают значений, кондиционных для вкрапленных руд медно-никелевых месторождений. Распределение концентраций металлов платиновой группы в пределах зоны сульфидоносных пород неравномерное. Выделяе-

мые по бортовому содержанию платиноносные рудные тела имеют форму линз и прерывисто-пластообразных залежей различной протяженности и переменной (от 5 до 200 м и более) мощности. Иногда руды, как и в сульфидных медно-никелевых месторождениях, локализуются в породах экзоконтакта. По концентрациям МПГ в сульфидной массе руды аналогичны комплексным платинометалльно-медно-никелевым рудам норильского типа.

На площадях с выявленными прямыми поисковыми признаками палладиево-платинового оруденения и установленными геофизическими и геохимическими аномалиями предположительно рудной природы на основе уточненной прогнозно-поисковой модели месторождения обнаруживаются и оцениваются рудные подсечения.

Для качественной оценки поисковых участков (потенциальных месторождений) необходимо:

увязать рудные подсечения и оконтурить тела палладиево-платиновых (платино-палладиевых) руд по бортовому содержанию МПГ, принятому с учетом геолого-экономических условий района проведения работ;

определить морфологию, размеры и условия залегания рудных тел и охарактеризовать в общих чертах распределение содержаний МПГ;

изучить минералого-геохимические особенности руд;

детализировать комплексную геолого-поисковую модель месторождения для использования при разбурке перспективных участков, геофизических и геохимических аномалий.

Роль перечисленных типов в общем балансе мировых запасов и ресурсов металлов платиновой группы различна. Главными являются месторождения бушвельдского типа.

В России на территории Мурманской области и Республики Карелия учтены прогнозные ресурсы платино-палладиевых (малосульфидных) месторождений стиллуотерского типа (Ковдор-Зеленоборский и Центрально-Кольский рудные районы, рудные поля и рудопроявления Восточно- и Западно-Панского, Вуручайвенч, Мончегорского, Мончетундровского, Луккулайсваарского массивов), типов платриф (Федоротундровский массив) и хартли (Бураковский массив).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология и генезис месторождений платиновых металлов.* — М.: Наука, 1994.
2. Кочнев-Первухов В.И., Заскинд Е.С., Конкина О.М. и др. Оценка платиноносности мафит-ультрамафитовых массивов // Руды и металлы. 1995. № 4. С. 20—28.
3. Латыпов Р.М., Митрофанов Ф.П., Скиба В.И. и др. Расслоенный интрузив Западно-Панских Тундр, Кольский полуостров: механизм дифференциации и последовательность становления // Петрология. 2001. Т. 9. № 3. С. 254—293.
4. Николаев Г.С., Коптев-Дворников Е.В., Ганин В.А. и др. Вертикальное строение Бураковского-Аганозерского расслоенного массива и распределение петрогенных элементов в его разрезе // Докл. РАН. 1996. Т. 347. № 6. С. 799—801.
5. Cameron E.N. The lower zone of the Eastern Bushveld complex in Olifants river trough // Journ. Petrol. 1978. Vol. 19. Part 3. P. 437—462.
6. Cameron E.N. Evolution of the lower critical zone, Central sector Eastern Bushveld complex and its chromite deposits // Econ. Geol. 1980. Vol. 75. № 6. P. 845—871.
7. Cameron E.N. The upper critical zone of the Eastern Bushveld complex — precursor of the Merensky reef // Econ. Geol. 1982. Vol. 77. № 6. P. 1307—1327.
8. Ehlers D.L., du Toit M.C. Explanation of the Nylstroom metallogenic map, sheet 2428, scale 1:250 000. — Council for Geoscience. 2002.
9. Gain S.B., Mostert A.B. Geological setting of the platinoid and base metal sulfide mineralization in the Platreef of the Bushveld complex in Drenthe, North of Potgietersrus // Econ. Geol. 1982. Vol. 77. № 6. P. 1395—1404.
10. Hoatson D.M., Keays R.R. Formation of platiniferous sulfide horizons by crystal fractionation and magma mixing in the Munni-Munni layered intrusion, West Pilbara Block, Western Australia // Econ. Geol. 1989. Vol. 84. № 7. P. 1775—1803.
11. Mc Callum I.S., Radeke L.D., Mathez E.A. Investigation of the Stillwater complex: part I. Stratigraphy and structure of the banded zone // Amer. Journ. of Science. 1980. Vol. 280-A. P. 59—87.
12. Oosterhuis W.R. Explanation of the Pilgrim's Rest metallogenic map, sheet 2430, scale 1:250 000. — Council for Geoscience. 2002.
13. Schissel D., Tsvetkov A.A., Mitrofanov F.P. et al. Basal platinum-group elements mineralization in the Fedorov Pansky layered intrusion, Kola peninsula, Russia // Econ. Geol. 2002. Vol. 97. № 8. P. 1775—1803.
14. Todd S.G., Keit D.W., Le Roy L.W. et al. The J-M Platinum-Palladium reef of the Stillwater complex, Montana: geology and guide. Spec. Publ. 92. 1985.
15. Wilson A.H., Tredoux M. Lateral and vertical distribution of platinum-group elements and petrogenetic controls on the sulfide mineralization in the P1 pyroxenite layer of Gread Dyke, Zimbabwe // Econ. Geol. 1990. Vol. 85. P. 556—584.

УДК 553.481

© А.В.Салаев, 2006

Геология никеленосных массивов ультрамифитов Ийско-Кукшерского прогиба (Восточный Саян)

А.В.САЛАЕВ (ФГУТП «Иркутскгеофизика»)

В Ийско-Кукшерском прогибе Бирюсинской глыбы наибольшее количество рудоносных массивов ультрамифитов закартировано в бассейнах рек Желос, Дергалсы, Токты-Ой, Мандрьк. Согласно исследованию А.С.Мехоношина, Т.Б.Колотилиной и др. [1, 2, 3], минеральный состав ультрамифитов достаточно однообразен и отвечает амфиболитизированным лерцолитам. По их мнению, ультрамифиты — слабодифференцированные производные пикритовых магм. Лерцолитовые тела участвовали в складчатости, а формировались в условиях высоких давлений. Они тесно ассоциируют с амфиболитами, чаще локализуясь среди них, нередко образуют самостоятельные тела среди осадочных метаморфических пород.

Нами изучались гипербазит-базитовые массивы Мантагырский, Желосский, а также ультрабазитовый Токтыойский, в результате чего получены дополнительные данные по особенностям их строения и рудоносности.

Массив Мантагырский, площадь которого 22 км², расположен на водоразделе рек Мандрьк и Мантагыр (рис. 1). Он сложен метаморфизованными основными (амфиболиты) породами и ультрабазитами в соотношении (3—5):1, нередко чередующимися с мраморами, кальцифирами, гнейсами биотитовыми, дистен-гранат-биотитовыми, гранат-биотитовыми, двуслюдяными, реже кварцитами алхадьрской свиты нижнего протерозоя. В породах отмечается развитие

мигматизации (вплоть до мигматитов), сопровождаемой образованием жил микроклиновых пегматитов, лейкогранитов, мусковитизацией и биотитизацией пород.

В массиве развиты разрывные нарушения северо-восточного и субширотного плана. Падение разломов обычно крутое. По широтным разломам отмечаются левосдвиговые смещения с дроблением, катаклизмом, милонитизацией, а также окварцеванием, сульфидизацией (с пирротинном, пиритом).

Породы массива смяты в сложнопостроенную опрокинутую к югу синформную структуру субширотного простирания. Форма массива чашеобразная. В южной и юго-западной частях мощность массива амфиболитов уменьшается. В восточном центриклинальном замыкании структуры шарнир погружается на запад под углами 70—75°, предполагается крутое погружение западного контакта интрузии на восток.

В центральной и южной частях массива в ядрах синформных структур обнажаются гнейсовые толщи алхадьрской свиты. Геологические наблюдения и магнитометрические данные свидетельствуют об относительно пологом (20—40°) погружении шарниров, сложенных ультрабазитами складок на запад на правобережье р.Мандрьк. Широкое проявление складок в центральной и южной частях рассматриваемого массива, по-видимому, обуслов-

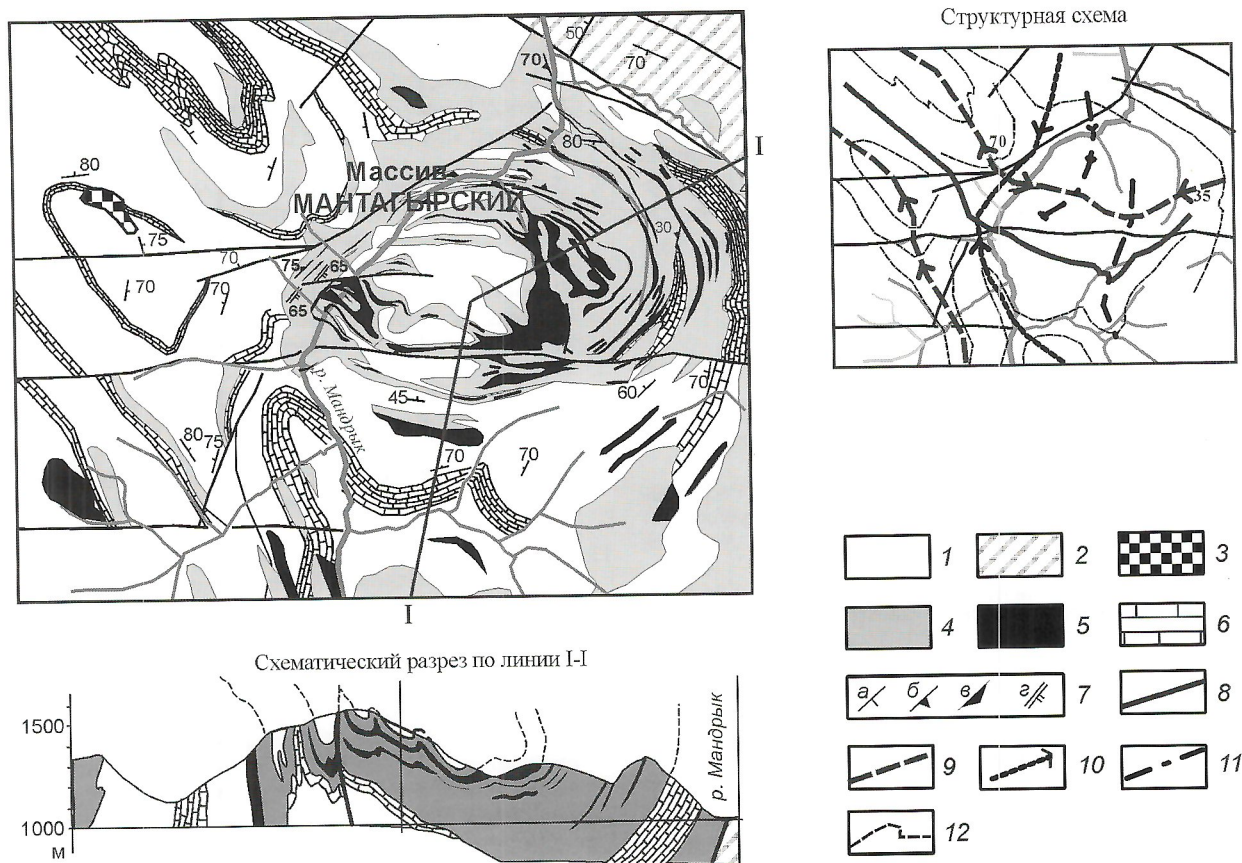


Рис. 1. Мантагырский массив:

1 — алхадырская свита (сланцы, гнейсы, кварциты, кальцифилы, мраморы); 2 — хайламинская толща (гнейсы, мигматиты, амфиболиты); 3 — саянский комплекс (граниты лейкократовые, гранодиориты); 4 — урдаокинский комплекс (амфиболиты); 5 — перидотиты метаморфизованные; 6 — мраморы, кальцифилы; 7 — элементы залегания: а — слоистость, б — сланцеватость, в — гнейсовидность, з — отдельность; оси складок первого этапа: 8 — антиклинальных, 9 — синклинальных; оси складок второго этапа: 10 — антиформных и 11 — синформных; 12 — структурные линии

лено меньшей сплошностью массива амфиболитов, где имеет место чередование гнейсов и магматических субпластовых тел, относительно легко сминаемых в складки. Более монолитная северо-восточная часть массива менее подвержена мелкой складчатости.

По данным магнитометрии тела перидотитов фиксируются аномалиями интенсивностью от первых сотен до 4000 нТл. Их магнитная восприимчивость от первых сотен до $13\,000 \times 10^{-5}$ ед.СГС. Поля развития перидотитов отражены и в материалах аэромагнитной съемки. Наиболее интенсивные магнитные аномалии ложатся на южную часть массива, что подтверждается и наземными исследованиями. В этой части массива наблюдаются наиболее высокие значения магнитной восприимчивости.

Для тел сульфидизированных пород характерны отрицательные аномалии естественного электрического поля интенсивностью до 300—600 мВ, часто совмещенные с аномалиями магнитного поля интенсивностью до первых тысяч нанатесла.

Ультрамафиты залегают, как правило, среди амфиболитов. Форма тел субпластовая, мощности от первых метров до 50—70 м, реже более. Откартировано несколько десятков тел протяженностью до 4,5 км. Широкие в плане тела перидотитов наблюдаются на участках развития складчатости и бронирования ими склонов. В центральной и

южной частях массива тела ультрамафитов более мощные (до 70 м), чем в северной и восточной (до 10 м, реже более) частях.

Анализ морфологии складчатых дислокаций показывает проявление в массиве минимум двух этапов складчатости (пересекающаяся складчатость). В результате складкообразования тела перидотитов испытали разрывы сплошности, будинирование, иногда опрокидывание. Отмечается грубая расщеповка в перидотитах центральной части массива, имеющая крутое северное падение. Вероятно, она отражает реликты кливажных структур, образованных в процессе складчатости.

Перидотиты амфиболитизированы (до 80% амфибола). Отмечается серпентинизация, количество серпентина до 10% [2]. Амфиболиты средне-, крупнозернистые роговообманково-плагноклазовые с подчиненным количеством сфена, ильменита и сульфидов.

Сульфидная минерализация чаще проявлена в телах перидотитов, тяготеющих к кровлевой части массива амфиболитов в близосевой части синформов. Здесь развиты максимальные концентрации сульфидов. Для ультрамафитов нижней части массива развитие сульфидной минерализации менее характерно. Морфология тел сульфидизированных пород близка к субпластовой, линзовидной, мощность до 42 м. Содержания сульфидов обычно от долей процента до

3—5% (участками достигая 10—15%). В телах перидотитов сульфиды тяготеют к лежащему боку. Комплексом методов отдельные тела сульфидизированных перидотитов прослежены на расстояния до 1,2 км при мощности до 20 м. Выделяются сульфиды как явно магматические, так и связанные с зонами вторичной переработки.

В сульфидизированных перидотитах в редких пробах установлены относительно низкие содержания Au до 0,484 г/т, Ni до 0,15%, Cu до 0,047%. Содержание Pt до 0,58 г/т, Ag до 1,2 г/т, Pd до 0,15 г/т.

Сульфиды в гипербазитах представлены вкрапленными пирротинном, пентландитом, халькопиритом, реже пиритом. Они расположены как в межзерновом пространстве, так и каплеобразных выделениях. Каплевидные мелкие выделения имеют постоянное соотношение пирротин/пентландит (1/5—1/10). Во вторично сульфидизированных породах пентландит, как правило, отсутствует. Сульфидная минерализация отмечается в амфиболитах в количествах не более первых процентов (иногда до 15%), в кальцифирах (пирротин до 3%), пироксеновых кристаллосланцах (пирротин до 10%), реже в гнейсах (пирротин до 5%). Магнезиальность перидотитов относительно низкая (MgO 18,6—25,7%).

Желосский массив амфиболитов расположен на правом берегу р. Желос, имеет неправильную форму. Его площадь около 1,5 км², протяженность около 3 км, мощность 0,4 км. Сложен массив амфиболитами, вмещающими тела перидотитов. Породы, окружающие массив, представлены мраморами, кальцифирами, гнейсами биотитовыми, двус-

людяными, реже кварцитами алхадырской свиты. Незначительно развиты дайки и покровы базальтоидов тиссинского комплекса неогена (рис. 2). Во вмещающих породах также развиты субсогласные пластовые тела перидотитов.

В гнейсах, реже в амфиболитах, отмечается развитие мигматизации (вплоть до мигматитов), сопровождаемое образованием жил микроклиновых пегматитов, мусковитизацией пород. На контакте с основными породами в мраморах появляется пироксен.

Породы алхадырской свиты смяты в сложнорасчлененные изоклинальные складки различного порядка, часто опрокинутые с падением крыльев под углами 40—75°. По характерным признакам диагностируются складки двух этапов (пересекающаяся складчатость), аналогичные наблюдаемым в Мантагырском массиве. Массив амфиболитов образует синформную структуру северо-западного простирания. В краевых частях амфиболиты расчленованы, мигматизированы. Во вмещающих породах согласные тела ультрамафитов, реже амфиболитов часто в деталях повторяют и подчеркивают флексурообразные изгибы поздних складок.

Падение разломов обычно крутое (80°), отмечаются межслоевые срывы. По широтным разломам наблюдаются левосдвиговые смещения, дробление, окварцевание, иногда мелкие складки с крутопогружающимися шарнирами. По межслоевым срывам наблюдаются милониты, катаклазиты, сопровождаемые окварцеванием, сульфидизацией (пирротин, пирит, халькопирит), лимонитизацией, омарганцеванием (с вадом).

По данным магнитометрии тела перидотитов фиксируются аномалиями интенсивностью от 500 до 8800 нТл. Их магнитная восприимчивость $(300—7000) \times 10^{-5}$ ед. СГС.

Установленная мощность тел перидотитов до 50 м, протяженность до 2 км. Морфология зон сульфидизации также близка к субпластовой при протяженности до 500 м. В массиве амфиболитов направление падения тел ультрамафитов пологое северо-западное, за его пределами субсогласное залегание мраморов.

Петрографические особенности магматических и метаморфических пород массива и его обрамления аналогичны описанным Мантагырского массива. Сульфиды представлены вкрапленными пирротинном, халькопиритом, реже пиритом. Количество сульфидов колеблется от долей процента до 10%. В шлифах установлены (в %): магнетит 2—5, пирротин 2—5, халькопирит 2—3, пирит 1, пентландит до 3.

Пирротин, пентландит, пирит, халькопирит встречаются в тесном срастании, образуя агрегаты размером 0,5—0,8 мм. Пентландит отмечается и как продукт распада пирротина.

По содержанию оксида магния ультрамафиты правобережья р. Желос занимают промежуточное поло-

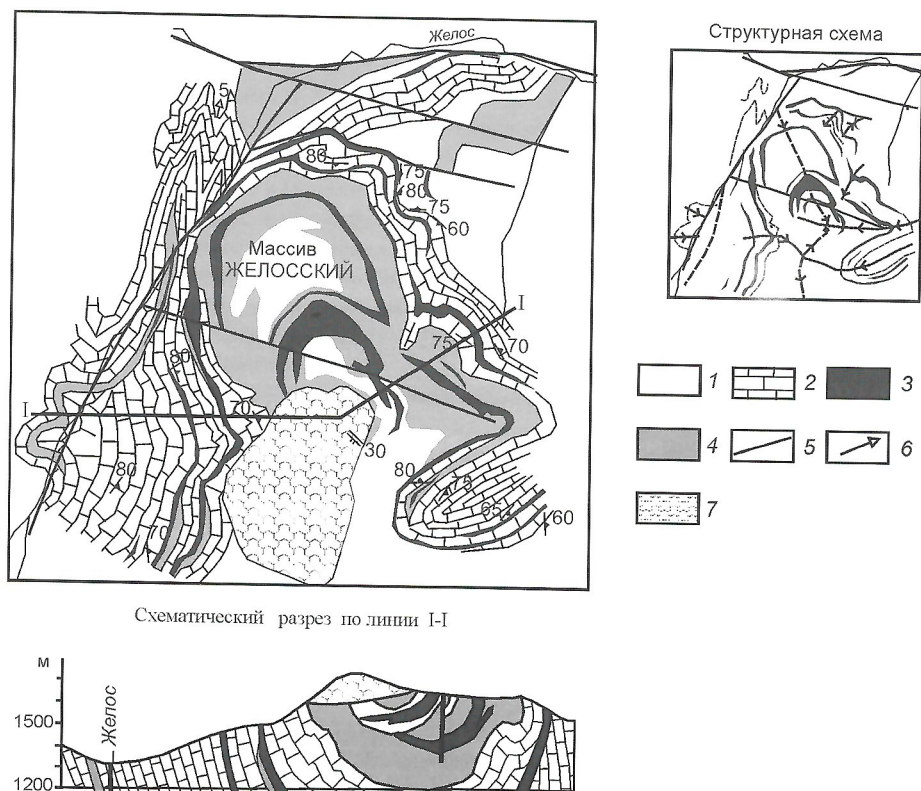


Рис. 2. Желосский массив:

алхадырская свита: 1 — гнейсы биотитовые, биотит-амфиболовые, мигматизированные, 2 — мраморы; 3 — перидотиты; 4 — амфиболиты; 5 — разрывные нарушения; 6 — шарниры мелких складок; 7 — платобазальты; остальные услов. обозн. см. на рис. 1

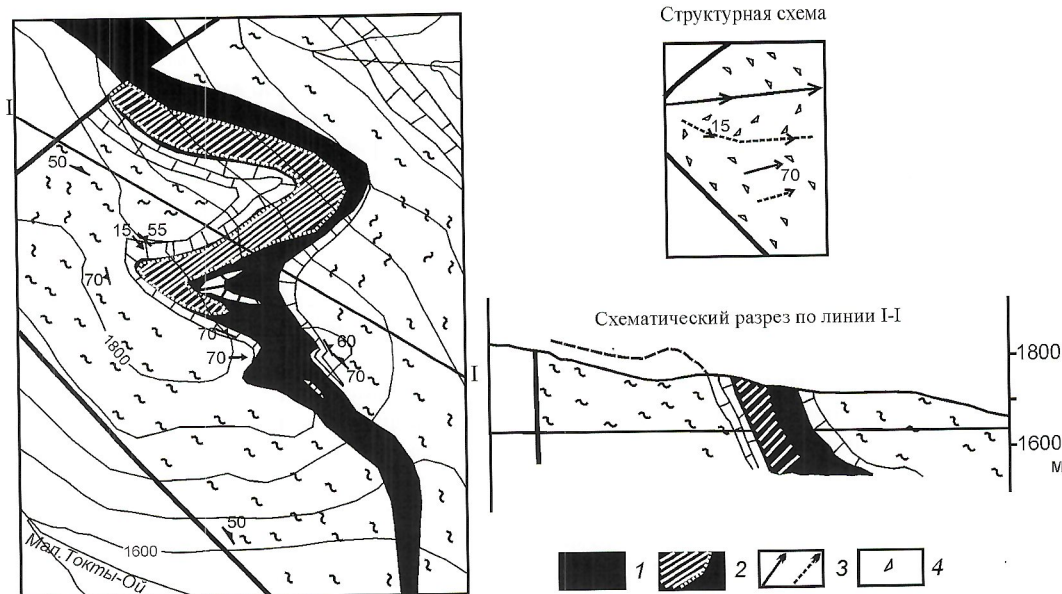


Рис. 3. Токтыойский массив:

1 — серпентинизированные перидотиты; 2 — участки развития сульфидной минерализации; 3 — разрывные нарушения; 4 — оси: а — антиклиналей, б — синклиналей; 4 — направление падения моноклинали; остальные услов. обозн. см. на рис. 2

жение между ультрафитами Мантагырского и Токтыойского массивов.

Токтыойский массив расположен на водоразделе рек Большой и Малый Токты-Ой. Рудопоявление никеля и металлов платиновой группы приурочено к одноименному массиву перидотитов, вытянутому в северо-западном направлении. Протяженность его около 5 км, при видимой мощности от 50 до 400 м, ожидаемая истинная мощность более 100 м. Предполагаемое падение субпластового массива северо-восточное под углами 40—60°. Он образует флексуобразный изгиб, согласный изгибу вмещающих пород. В отличие от описанных, ультрафиты Токтыойского массива залегают только среди метаморфизованных осадочных пород (гнейсы, мраморы, кварциты) и слагают единый массив. Кроме того, они претерпели более низкие метаморфические преобразования.

В изученной части массив сложен преимущественно серпентинизированными гипербазитами, реже тальк-серпентиновыми породами. Окрестности его представлены гнейсами и мигматизированными гнейсами биотитовыми, амфибол-биотитовыми, мигматитами, в меньшей степени мраморами, кальцифирами, кварцитами алхадырской свиты. Амфиболиты в окрестностях массива практически отсутствуют. В мраморах и кальцифирах алхадырской свиты широко проявлены скарны амфибол-эпидот-пироксеновые. Породы алхадырской свиты, при общем северо-восточном падении моноклинали под углами 50°, смяты в флексуобразную складку. Погружение шарниров, образуемых флексурой складок, восточное под углами 15—70° (рис. 3).

В серпентинизированных ультрафитах установлена сульфидная (до 15%) минерализация (с пирротитом, халькопиритом, пентландитом, реже пиритом), в скарноидах отмечается редко вкрапленный пирротин, наблюдавшийся также в обохренных пироксеновых кристаллосланцах (до 3%). Тальк-серпентиновые породы не рудоносны.

В лежачем боку тела серпентинизированных перидотитов установлена зона сульфидной минерализации. В плече флексуобразного изгиба массива сульфиды представлены первичным пирротитом, халькопиритом, пентландитом, вторичными минералами — виоларитом, пиритом, миллеритом [1, 2]. Они образуют рассеянную вкрапленность — от пылевидной до широкого проявления гнезд размером 5—15 мм. Максимальные содержания сульфидов приурочены к лежачему юго-западному боку сульфидной зоны.

В сульфидизированных перидотитах содержания рудных элементов составили: Ni 0,7—0,98%, Cu 0,08—0,20%

(химический анализ), МПГ от 0,3 до 3,41 г/т, Au до 0,41 г/т, Ag до 3,5 г/т [1, 2]. Указанные перидотиты характеризуются содержаниями MgO 27,7—36,9%, что относительно выше, чем в Желосском и Мантагырском массивах.

Таким образом, получены первые детальные материалы по геологии и рудоносности ультрафит-базитовых и ультрафитовых массивов, подтверждающие высокую перспективность Ийско-Кукшерского прогиба на выявление ликвационных месторождений никеля и платиноидов.

Изучены три типа сочетания ультрафитов с вмещающими породами. Перидотиты Мантагырского массива локализуются преимущественно среди амфиболитов. В Желосском массиве ситуация аналогичная, но половина выявленных тел перидотитов локализуется за пределами массива, обычно среди мрамора. Токтыойский массив локализуется уже только среди мраморов и гнейсов. Вероятно, существует некоторая зависимость степени рудоносности от условий локализации массивов ультрафитов.

Магнезиальность ультрафитов наименьшая в Мантагырском массиве, несколько выше в Желосском, а в Токтыойском наиболее высокая. Такая же закономерность устанавливается и для содержаний никеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б. Платиноносные ультрафиты бирюсинского выступа Сибирской платформы / Платина России. Т. III (в двух книгах). — М.: Геоинформмарк, 1999. С. 97—105.
2. Мехоношин А.С., Цыпуков М.Ю., Прокопчук С.М., Мельникова Р.Д. Оценка перспектив платиноносности Восточного Саяна / Платина России. Т. II. Кн. 2. — М.: Геоинформиздат, 1999. С. 125—132.
3. Колотилина Т.Б., Мехоношин А.С. Гранатовые ультрафиты и ассоциирующие метабазиты бирюсинского блока // Геология и геофизика. Т. 42. — Новосибирск, 2001. С. 1221—1238.

Петролого-геохимические и структурно-вещественные критерии прогноза и оценки интрузивно-дайки системы мамонского типа на сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды

М.Н.ЧЕРНЫШОВА (Воронежский государственный университет)

На основе комплекса структурно-петрологических, геолого-геофизических и других данных разработаны критерии прогноза и оценки ресурсов сульфидного платиносодержащего медно-никелевого оруденения в интрузивно-дайки рудно-магматической системе мамонского комплекса Воронежской никеленосной провинции. В качестве основного, определяющего фактора использована модель эволюции длительно развивающейся интрузивно-дайки рудно-магматической системы Подколотновского рудного района. Выявлены значительные черты аналогии этого рудного района с известным месторождением Линн-Лейк (Канада), на основе эталона которого выполнен подсчет ресурсов сульфидных медно-никелевых руд восточной зоны Подколотновского рудного района.

Типы и общие закономерности размещения никель-платиноносных интрузивно-дайки тел мамонского комплекса. При значительном многообразии в пределах Воронежского кристаллического массива проявлений ультрамафит-мафитового магматизма наиболее важные в промышленном отношении сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения связаны с раннепротерозойским циклом развития. Этот цикл характеризуется наибольшим разнообразием геодинамических обстановок — внутриконтинентальный рифтогенез и реактивизация позднеархейских рифтов, тыловой рассеянный спрединг, — возникших в результате сложного механизма субдукционных процессов в зоне взаимодействия континентов (более «легкого» КМА и Хопёрского с «тяжелой» литосферой [5]) и обусловивших высокую степень эндогенной активности, разноразовный характер очагов магмагенерации, существенное возрастание роли ассимиляции мантийными расплавами корового материала. Предполагается, что на субдукционном этапе развития Лосевской зоны с миграцией восходящих мантийных потоков в сторону Хопёрского мегаблока и заглублением очагов магмагенерации связано широкое развитие в его пределах в разной степени дифференцированных ультрамафит-мафитовых интрузий и даек мамонского комплекса (2100—2080±10 млн.лет [6]), внедрившихся по рассредоточенным зонам растяжения в результате механизма рассеянного спрединга [5], а также более поздних по времени формирования норит-диоритовых тел еланского комплекса (2065—2050±14 млн.лет) в зонах реактивизации позднеархейских рифтогенных структур. С последовавшим за ним коллизионным этапом в пределах Хопёрского мегаблока сформировался бобровский комплекс субщелочных гранитов возрастом 2022±3 млн.лет, обнаруживающих признаки параавтохтонности.

Одна из самых характерных особенностей Хопёрского мегаблока — исключительно широкое развитие в его пределах ультрамафит-мафитовых, мафитовых и мезомафитовых интрузивно-дайки тел мамонского комплекса. В его составе выделяется несколько групп интрузивно-дайки тел, образовавшихся, вероятно, в условиях неодинаковых уровней магмагенерации или очаговых

зон и различающихся по структурному положению и разному уровню эродированности, составу породных ассоциаций и минеральных парагенезисов, полноте дифференцированности, масштабам и степени продуктивности на цветные и благородные металлы [3, 7, 8, 10]: 1) ранние ультрамафитовые высоко- и умеренномагнезиальные в разной степени дифференцированные, бесполовошпатовые промышленно рудоносные (мамонский тип); 2) ультрамафит-мафитовые умеренно магнезиальные камерно-дифференцированные (расслоенные) с амфибол (титанистая роговая обманка)-плагноклазсодержащими рудоносными ультрамафитами (ширяевский тип); 3) ультрамафит-мафитовые (фазные) камерно-дифференцированные рудоносные (елань-вязовский тип); 4) количественно преобладающие в комплексе слабодифференцированные с неуставленным оруденением и недифференцированные безрудные габброноритовые, габбровые и габбро-диоритовые интрузивы (каменский тип), завершающие становление всей рудоносной дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой формации. Исключительно высокая степень насыщения ультрамафит-мафитовыми и мафитовыми интрузивно-дайки породами ассоциациями является, вероятно, следствием существования в пределах крупного (375×475 км²) Хопёрского мегаблока магматических систем, развивающихся над головными частями мантийного суперплюма с возникновением над поднимающейся его поверхностью локальных плюмов. В соответствии с ранее разработанной моделью формирования Воронежского кристаллического массива ультрамафит-мафитовые тела концентрировались в трех достаточно протяженных (до 200—300 км) северо-западных (СЗ 340—350°) зонах рассеянного спрединга [4]: 1) Западная (Лосевско-Мамонская) с широким проявлением интрузивно-дайки тел мамонского типа; 2) Центральная (Озерковско-Ширяевская), в пределах которой развиты интрузивно-дайки образования ширяевского типа и 3) Восточная (Елань-Эртильская) с многообразными плутонами елань-вязовского типа мамонского комплекса и многочисленными интрузивно-дайки телами еланского комплекса. Каждая из них выделяется цепочкой выстроенных вдоль осевых структур в определенный ряд сближенных разномасштабных по размерам и интенсивности локальных гравитационных и магнитных аномалий, которые соответствуют различным по количественному соотношению ультраосновных и мафитовых составляющих интрузивно-дайки систем (табл. 1; рис. 1).

Отдельные звенья такой системы представляют собой, по существу, конвективные ячейки (магматические центры) в пределах автономных структур зон рассеянного спрединга, встроены в строгий ряд, в котором максимальное количество ультрамафит-мафитовых тел размещается над восходящими потоками.

Важно подчеркнуть, что комагматичность всего спектра пород интрузивно-дайки системы распространяется лишь на автономно функционирующую конвективную

1. Относительная количественная распространенность ультрамафит-мафитовых пород мамонского и норитов еланского комплексов в пределах отдельных зон Хопёрского мегаблока

Породы	Число интрузий	Площадь интрузий, км ²	На 1 км ² зоны		%
			Число интрузий	Площадь интрузий, км ²	
Западная (Лосевско-Мамонская) зона (1950 км ²)					
Ультраосновные породы	96	122	0,050	0,063	40,9
Габброиды	34	176	0,017	0,090	59,1
Центральная (Озерковско-Ширьевская) зона (6300 км ²)					
Ультраосновные породы	131	146	0,021	0,023	26,5
Габброиды	69	404	0,011	0,064	73,5
Восточная (Елань-Эртильская) зона (5250 км ²)					
Ультраосновные породы	37	73	0,007	0,001	10,0
Габброиды	24	306	0,004	0,058	42,1
Нориты	49	348	0,090	0,066	47,9

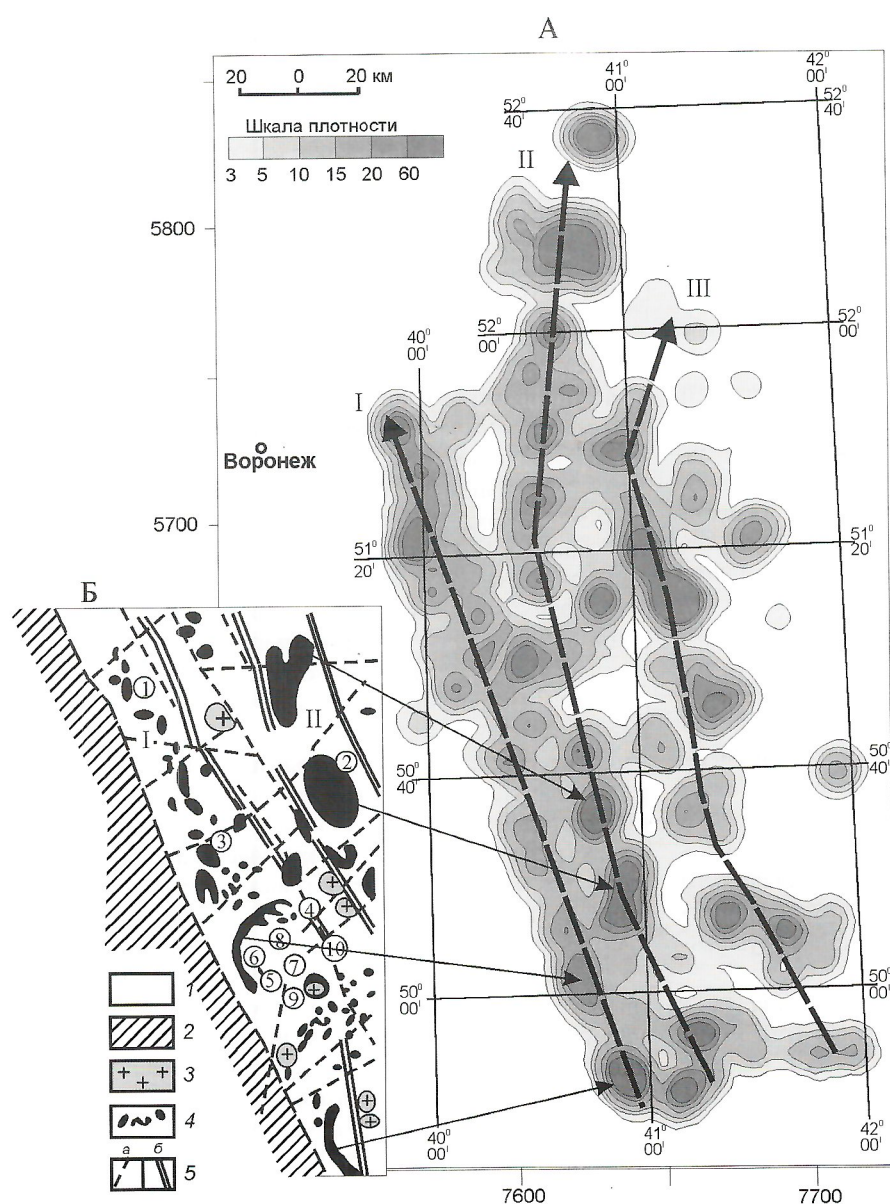


Рис. 1. Плотность распределения интрузивно-дайковых тел мамонского комплекса Хопёрского мегаблока:

А — плотность распределения, ультрамафит-мафитовые тела и направление осевых структур зон рассеянного спрединга; Б — схема размещения этих тел в пределах Мамонско-Подколодновского рудного района (врезка): 1 — песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии; 2 — вулканогенно-осадочные отложения лосевской серии (в пределах Лосевской шовной зоны); 3 — гранитоиды бобровского комплекса; 4 — ультрамафит-мафитовые интрузивно-дайковые тела мамонского никель-платиноносного комплекса; 5 — тектонические нарушения (а) и границы зон (б): I — Западная (Лосевско-Мамонская), II — Центральная (Озерковско-Ширьевская), III — Восточная (Елань-Эртильская); месторождения и рудопроявления (цифры в кружках): 1 — Петровское, 2 — Ширьевское, 3 — Мамонское, 4 — Артюховское, 5 — Подколодновское, 6 — Юбилейное, 7 — Северо-Бычковское, 8 — Мартовское, 9 — Коммунальное, 10 — Бычковское

ячейку, а совокупность в пределах осевых структур (зон) рассеянного спрединга определяет в целом их петрологический и рудно-геохимический облик [4, 7].

Выявленные закономерности пространственного размещения различных петролого-геохимических типов интрузий и связанных с ними руд выступают в качестве основы для металлогенических построений и прогнозной оценки никель-платиноносности Воронежского кристаллического массива. Длительный многоэтапный процесс рудообразования, начавшийся с формирования собственно магматических медно-никелевых руд в ультрамафитах мамонского комплекса и завершившихся образованием богатых никель-кобальтовых руд в норит-диоритовых телах, в которых помимо пентландит-пирротинового ($\pm$ халькопирит) парагенезиса широко проявлена кобальт-никелевая арсенид-сульфоарсенидная минеральная ассоциация, предопределяет возможность обнаружения новых значительных концентраций руд. Многообразие типов руд, в локализации которых наряду с петрологическими факторами значительная роль принадлежит структурным элементам, нередко их пространственное сонахождение в пределах различных зон рассеянного спрединга и реактивизации древних структур не только расширяет общие перспективы никель-платиноносности Воронежского кристаллического массива, но и требует иного методологического подхода к их прогнозированию и поискам.

Критерии прогнозирования и оценки сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения на основе модели эволюции интрузивно-дайковой системы мамонского типа (на примере Подколодновского рудного района). В основе принципов моделирования наряду с данными региональных геологических исследований Хопёрского мегаблока Воронежского кристаллического массива использованы результаты разнородных геофизических данных типизации крупных, а так же локальных минерогенических зон и участков для определения глубинных критериев прогноза платиноидно-медно-никелевых месторождений.

В качестве опорного модельного объекта для выявления глубинных критериев прогнозирования на основе установления условий и механизма формирования интрузивно-дайковой никель-платиноносной рудно-магматической системы, ее последующей эволюции выбран Подколодновский район с одноименным месторождением и многочисленными разномасштабными рудопроявлениями, ассоциирующими нередко с дайковыми телами. Этот выбор определялся следующими критериями: 1) приуроченностью рудного района к западной (Лосевско-Мамонской) зоне, сопряженной с Лосевской шовной структурой (рис. 2); 2) установленными комплексом геофизических методов, количественными параметрами глубинной модели коры и верхов мантии Подколодновского блока; 3) латеральной неоднородностью этой зоны в коре и верхней мантии с включениями магматитов с высокоскоростными параметрами (слои аномальной электрической проводимости, зоны разуплотнения и разогрева), связанные с участками глубинной трещиноватости и высокой проницаемости; 4) зональностью и эволюцией фронта тектонических дорудных деформаций в коре, определяющих вероятные пути миграции рудно-силикатных расплавов и флюидов (этот критерий использован при оценке потенциальной рудоносности Подколодновского рудного района (см. рис. 2); 5) сравнительно небольшой мощностью платфор-

менного чехла (от 60 м на западе до 170 м на востоке), полнотой проведенных детальных геофизических исследований, достаточно высоким уровнем геологической изученности разреза докембрийских образований; 6) широким развитием различных по масштабам, характеру дифференциации и степени рудоносности мафит-ультрамафитовых и ультрамафитовых массивов мамонского комплекса (включая его дайково-жильные образования) в единой раме гнейсового блока воронцовской серии нижнего протерозоя; 7) широким распространением дайково-жильного комплекса пород и метасоматитов в пределах Центральной и Восточной зон рудного района с разномасштабным платиносодержащим сульфидным медно-никелевым оруденением (типа Юбилейного месторождения, Коммунского и других рудопроявлений) и богатыми сульфоарсенидными никель-кобальтовыми рудами мартовского типа (см. рис. 2).

Модель очагового плавления в головных зонах локальных мантийных плюмов (рис. 3) предполагает развитие промежуточных магматических очагов в пределах континентальной коры разных уровней через систему подводящих каналов — «даек». Самые нижние из них формировались на границе охлажденной кровли плюмов, определяя появление новообразований расплавов в зоне нижней базитовой коры.

Разномасштабные (от 2 до 56 км²) расслоенные ультрамафит-мафитовые и существенно ультрамафитовые интрузивно-дайковые тела (типа Донского рудоносного, Подколодновского и Юбилейного промышленно-рудноносных) в раме гнейсовой толщи Западной и Центральной зон (см. рис. 2) с развитием позднеколлизийной крупноблоковой трещиноватости образовывались из однотипных расплавов, но различающихся кумулятивной стратификацией и незначительной пространственной разобщенностью. Механизм формирования расслоенных массивов на средних и верхних уровнях коры предполагает эшелонизированные многократные поступления порций остаточного расплава из промежуточных очагов нижних частей магматической системы в затвердевающих интрузивных камерах с постепенным ростом их объемов [11, 13]. Процессы зонной плавки гранитных расплавов на верхних уровнях коры («гранит-2») при интенсивном массообмене (по K и Na) в двухслойных камерах между горизонтами базитового и кислого расплавов с самостоятельной системой конвекции перекрыли действия нижних корово-мантийных очагов.

В Восточной зоне рудного района с преобладанием мелкообломочного линейного меланжа и брекчирования гнейсов, развиты мелкие бескорневые ультрамафитовые тела (в т.ч. рудоносные) и разнообразный по составу пород дайково-жильный комплекс метасоматитов с выявленными рудопроявлениями (Мартовское, Коммунское, Северо-Бычковское).

Важно особо подчеркнуть, что приуроченность интрузивно-дайковых тел к различным зонам отчетливо прослеживается в характере и масштабах оруденения, соотношении сингенетических и эпигенетических руд при возрастающей роли эпигенетических в Восточной зоне (III). К этой зоне, осложняющей купольно-сводовую структуру гнейсового блока, приурочена субмеридиональная сеть разломов постколлизийной активизации с проявлениями высокоинтенсивных процессов деформаций и объемным течением пород, их дроблением, диспергацией и частичным

локальным переплавлением с образованием узлов псевдо-тахиллитов. Вовлечение в такие зоны наряду с породами гнейсовой рамы мелких рудоносных интрузий ультрамафитов и их дайково-жильных образований определило увеличение проницаемости всей совокупности пород, повышение химической активности, условий миграции и концентрации рудоносных растворов и флюидов на поздних этапах рудогенеза, что отчетливо прослеживается

на примере Юбилейного месторождения и ряда рудопроявлений.

Юбилейное месторождение, находящееся восточнее Подколотновского (см. рис. 3) приурочено к серии дайкообразных тел ультрамафитового и мафитового составов, инъецированных дайками диоритов и гранитоидов. Прерывистая по мощности (от 3 до 85 м) основная рудная залежь в роговообманковых перидотитах, сложена сингене-

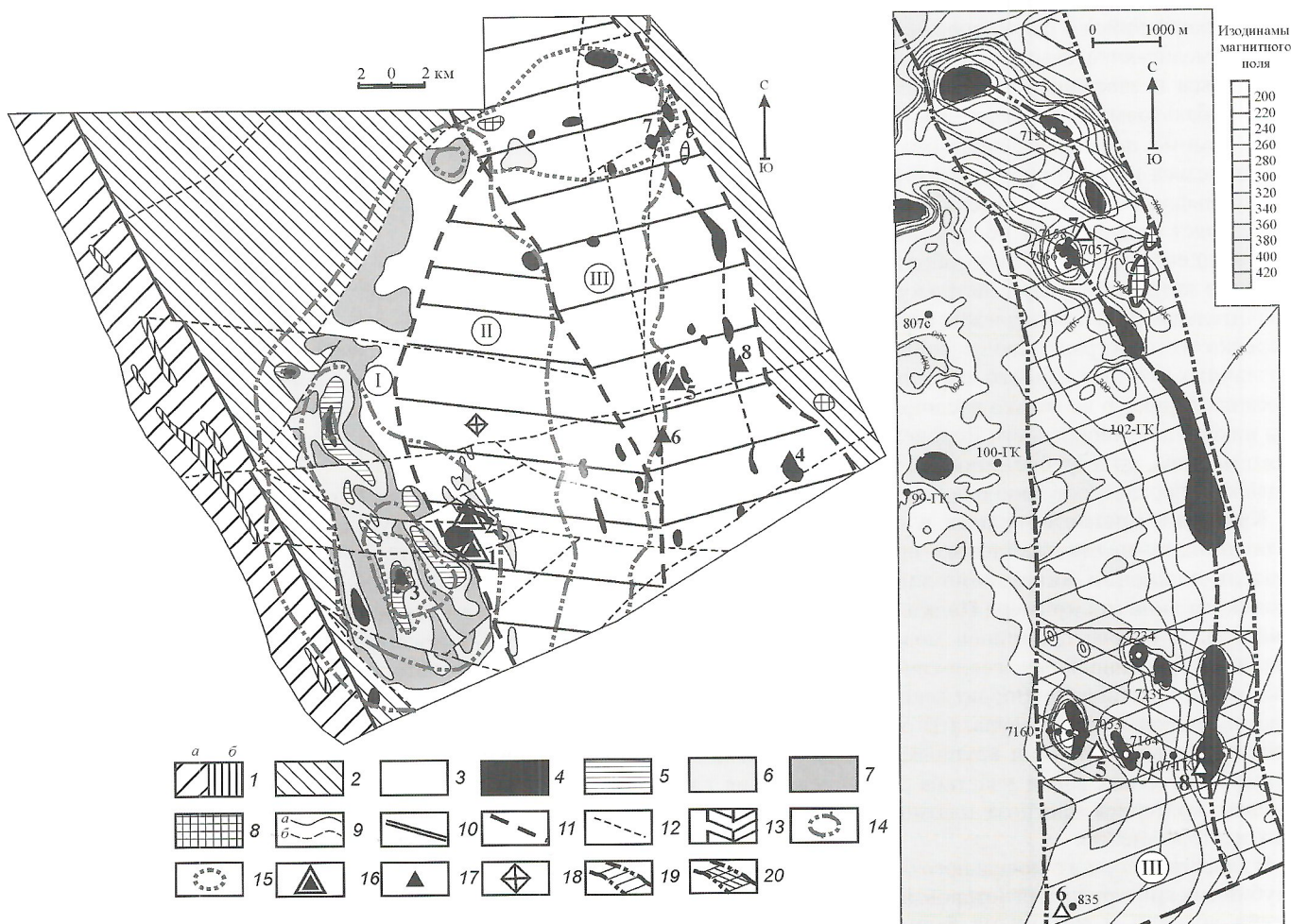


Рис. 2. Схематическая геологическая карта (с элементами прогноза) Подколотновского рудного района:

лосевская серия нерасчлененная ($PR_1:AR_1 ls$): 1 — мигматиты по метабазитам и вулканогенным породам среднего и основного составов (а), реликтовые тела ортоамфиболитов (б); воронцовская серия нерасчлененная (PR_{vc}): 2 — песчанико-сланцевые образования: ритмично слоистые метапесчаники, металевоолиты, сланцы двуслюдяные, филлитовидные и углеродсодержащие (s/PR_{vc}); 3 — гнейсы биотитовые, силлиманит-биотитовые, гранат-биотитовые, двуслюдяные, кордиерит-гранатогранитсодержащие и графитовые, в различной степени мигматизированные ($gnPR_{vc}$); мамонский интрузивно-дайковый комплекс, ультрамафиты (σPR_{m_i}): 4 — дуниты, оливиниты, перидотиты, в различной степени серпентинизированные, плагиоперидотиты, оливиновые пироксениты, пироксениты; мафиты (σPR_{m_i}); 5 — габбронориты меланократовые, амфиболитизированные; 6 — габбро-мезократовые, амфиболитизированные; 7 — габбронориты лейкократовые, кварцсодержащие габбро, габбро-диориты; породы среднего состава: 8 — диориты биотит-роговообманковые, роговообманковые, кварцевые диориты и биотит-плагиоклазовые породы жильно-дайковой серии; 9 — геологические границы: а — установленные, б — предполагаемые; 10 — зона глубинного Лосевско-Мамонского разлома; зоны разломов: 11 — второго порядка, 12 — более высоких порядков; 13 — зоны позднеколлизийного структурно-тектонического развития Подколотновского рудного района с элементами прогноза: I — Западная, II — Центральная, III — Восточная; 14 — расположение гравитационных аномалий в пределах рудного района с эпицентром над Донским массивом; 15 — локальные высокоинтенсивные аномалии низких (до 5—50 Ом·м) электросопротивлений в осевой зоне расслоенного Донского интрузива мафит-ультрамафитов и на северном фланге зоны III; 16 — месторождения сульфидных платиносодержащих Cu-Ni руд: 1 — Подколотновское, 2 — Юбилейное; 17 — сульфидные платиноидно-медно-никелевые рудопроявления: 3 — Донское, 4 — Бычковское, 5 — Северо-Бычковское, 6 — Мартовское, 7 — Артюховское, 8 — Коммунское; 18 — Сухоярское месторождение графита; на врезке: граница Коммунско-Артюховского участка подсчета прогнозных ресурсов металлов эпигенетических брекчиевых платиноидно-медно-никелевых руд коммунского типа в III зоне по категориям: 19 — P_3 , 20 — P_1+P_2

тическими вкрапленными (Ni 0,303—2,90%; Cu 0,15—2,0%; Co 0,03—0,16%) и более богатыми эпигенетическими массивными (Ni 1,3—3,0%, Cu до 10,12%, Co 0,13—0,20%) рудами [7, 9, 10]. Наличие в дайках пироксе-

нитов Юбилейного месторождения ксенолитов рудных перидотитов, свидетельствует о временном разрыве их внедрения из промежуточного очага, с одной стороны, и возможности более широкого установления эпигенетических

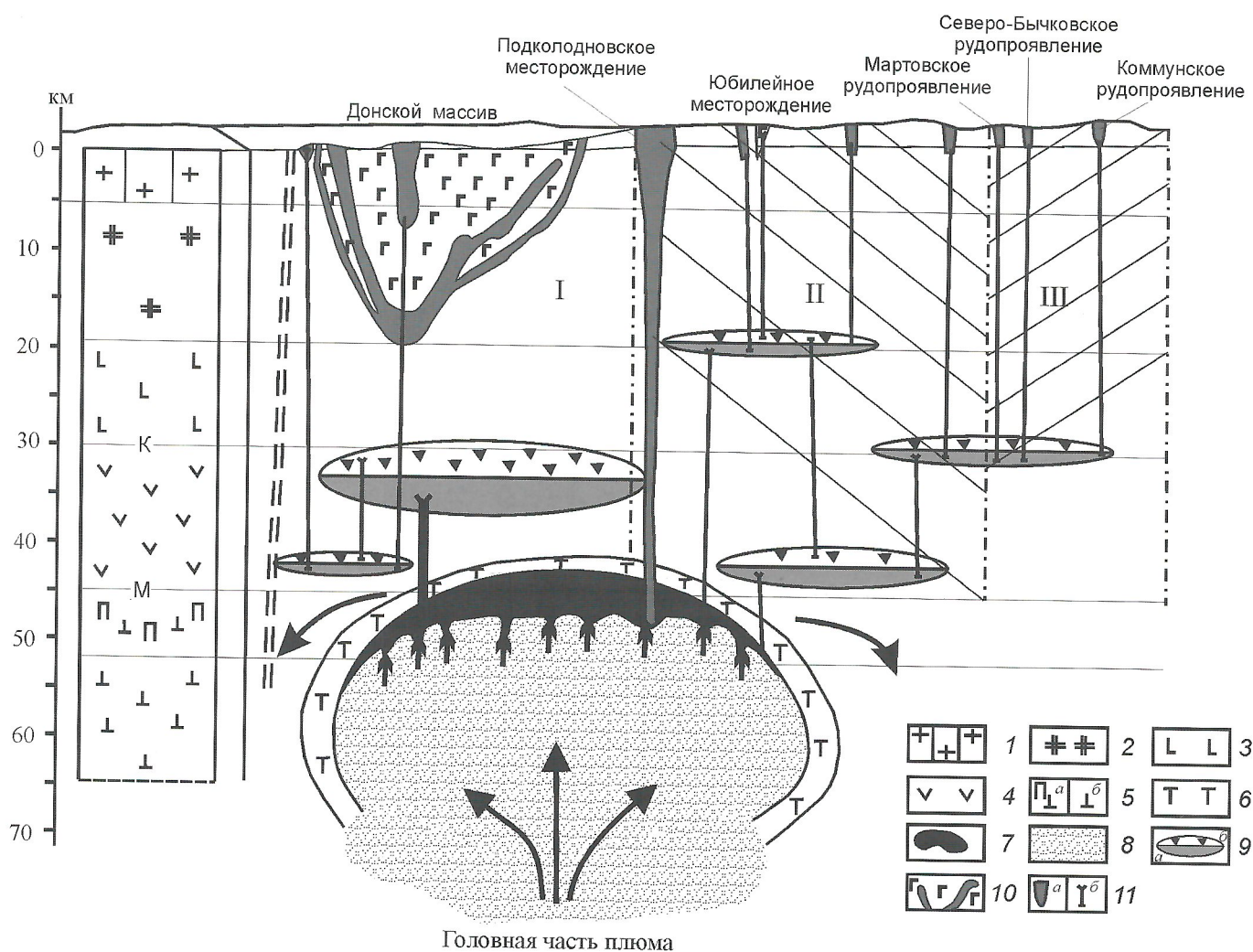


Рис. 3. Принципиальная схема транскоровой эволюции магматической системы над локальным плюмом при формировании рудоносного (Подколонновский рудный район) мафит-ультрамафитового интрузивно-дайкового мамонского комплекса (с элементами прогноза):

разрез глубинной геоплотностной модели коры и верхов мантии Подколонновского блока: 1 — слой «гранит 1» (стратифицированная часть — петрографически разнородный комплекс); 2 — слой «гранит 2» — амфиболсодержащие гранитогнейсы; 3 — «диоритовый слой» (переходный): амфибол-гиперстеновые плагиогнейсы, гранулиты высокожелезистые; 4 — метабазитовый слой: габбро-амфиболиты, основные гранулиты, гиперстеновые плагиогнейсы, энтербито-гнейсы; 5 — верхи мантии по сейсмopлотностным свойствам: а — переходная зона коры (К)—мантия (М): габбро-амфиболитовые гранулиты, пироксениты, перидотиты, б — верхнемантийные образования (бесполовошпатовый амфибол-шпинель-гранатсодержащий парагенезис); головная часть плюма: б — охлажденная краевая часть плюма; 7 — область мантийного магнемаобразования; 8 — внутренняя часть плюма; 9 — промежуточные магматические очаги, дифференцированные от ультрамафитового (а) до мафитового (б) расплава; 10 — расслоенный мафит-ультрамафитовый Донской массив; 11 — условные магмаводы: а — из верхней зоны плюма (Подколонновское месторождение), б — из промежуточных очагов с формированием интрузий и дайковой серии в процессе механизма рассеянного спрединга; зоны позднеколлизионной структурно-тектонической трещиноватости Подколонновского рудного района с элементами прогноза: I — Западная преимущественно крупноблокового строения рамы гнейсового блока и расслоенного Донского массива мафит-ультрамафитов; II — Центральная крупно-среднеблокового строения с развитием линейных северо-западного простирания разломно-блоковых структур (Юбилейный тип) и узлов интенсивного катаклаза и трещиноватости «центрального» (Подколонновский тип); III — Восточная повышенной трещиноватости, катаклаза гнейсов с будинированными бескременными малыми телами гипербазитов (Бычковское, Артюховское, Северо-Бычковское рудопроявления с дайково-жильным комплексом метасоматитов по мафит-ультрамафитовым породам среднего состава — диоритов, биотит-плагиоклазовых жил, в т.ч. сульфидизированных (Коммунское рудопроявление); дайки гранитов бобровского комплекса, узлы линейного меланжа, будинажа с развитием узлов сетчатых псевдотрахиллитов

руд в группе дайковых пород по всем зонам рудного района, с другой.

Особенность **Артюховского рудопоявления** — ассоциация ряда разномасштабных по мощности (от 1,5 до 17,5 м) пласто-жильобразных залежей сингенетических руд (Ni 0,3—0,6%, Cu 0,22—0,46%, Co 0,05%) с многочисленными жилами (0,1—0,5 м) богатых эпигенетических руд (Ni 2,83%, Cu 10,1%, Co 0,13%, Pt+Pd до 0,06 г/т и Au до 0,88 г/т) с метасоматитами по ультрамафитам в контактах с многочисленными дайками диоритов, гранодиоритов и гранитоидов и в зонах их брекчий с ксенолитами сульфидизированных ультрамафитов [7, 9].

Для **Коммунского рудопоявления** характерна [9] отчетливая приуроченность многочисленных разномасштабных по мощности (0,2—3 м) рудных тел с прожилково-вкрапленным и в большей степени брекчированным типом сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд (Ni 0,36—0,80%, Cu 0,2—0,67%, Co 0,06%) к зоне катаклаза, меланжа и брекчирования серии даек рудных ультрамафитов, кварцевых диоритов и биотит-плаггиоклазовых пород с ксенолитами рудных ультрамафитов.

В пределах **Северо-Бычковского рудопоявления** установлены небольшие по мощности (до 1,2 м) тела жильных пироксеновых горнблендитов с вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией (Ni 0,57%, Cu 0,38%, Co 0,062% и ЭПГ до 0,123 г/т), а также псевдотакхилиты, которые образуются в процессе быстрого расплавления кристаллического материала по сети объемных взрывных трещин и рассматриваются как следствие тектоно-кессонного эффекта [1] с проявлением концентрированного выделения значительной энергии, тепловые эффекты которого были достаточны для расплавления значительных масс горных пород.

В **Мартовском** кобальт-никелевом рудопоявлении вмещающими являются образовавшиеся в зоне контакта жильных пироксенитов и гранитоидов карбонат-хлорит-амфиболовые метасоматические породы с различной по густоте (3—30%) вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией (Ni 1,25%, Cu 0,41%, Co 0,032% на мощность 8,3 м) и рядом небольших по мощности (первые сантиметры) кварц-сульфидно-арсенидных жил с высокими концентрациями Ni (14,5%) и Co (2,2%). Кроме того, медно-кобальт-никелевые руды мартовского типа характеризуются высокими содержаниями Ag (200 г/т), Au (0,5 г/т) и повышенными — Mo, Pb, Zn, Sn, Bi, As, Sb.

Анализ достаточно сложной полукольцевой структуры в блоке гнейсов воронцовской серии, включающей (см. рис. 2) большую группу рудоносных мафит-ультрамафитовых и собственно ультрамафитовых интрузий, а также дайково-жильных (включая их метасоматиты) образований Подколдновского рудного района, позволяет сделать следующие выводы:

1. Вся совокупность рудоносных объектов принадлежит к петрологически единой ассоциации интрузивных и дайково-жильных образований мамонского комплекса. Характер проявлений магматизма этого комплекса и связанного с ними процесса платиноидно-медно-никелевого син- и эпигенетического рудогенеза подчеркивается структурной обстановкой вмещающей гнейсовой рамы в выделенных зонах и уровнем эрозионного среза с увеличением его глубины в направлении с запада на восток (от I к III зоне).

2. Во всех трех зонах наблюдаются признаки увеличения глубины эрозионного уровня среза в северной части

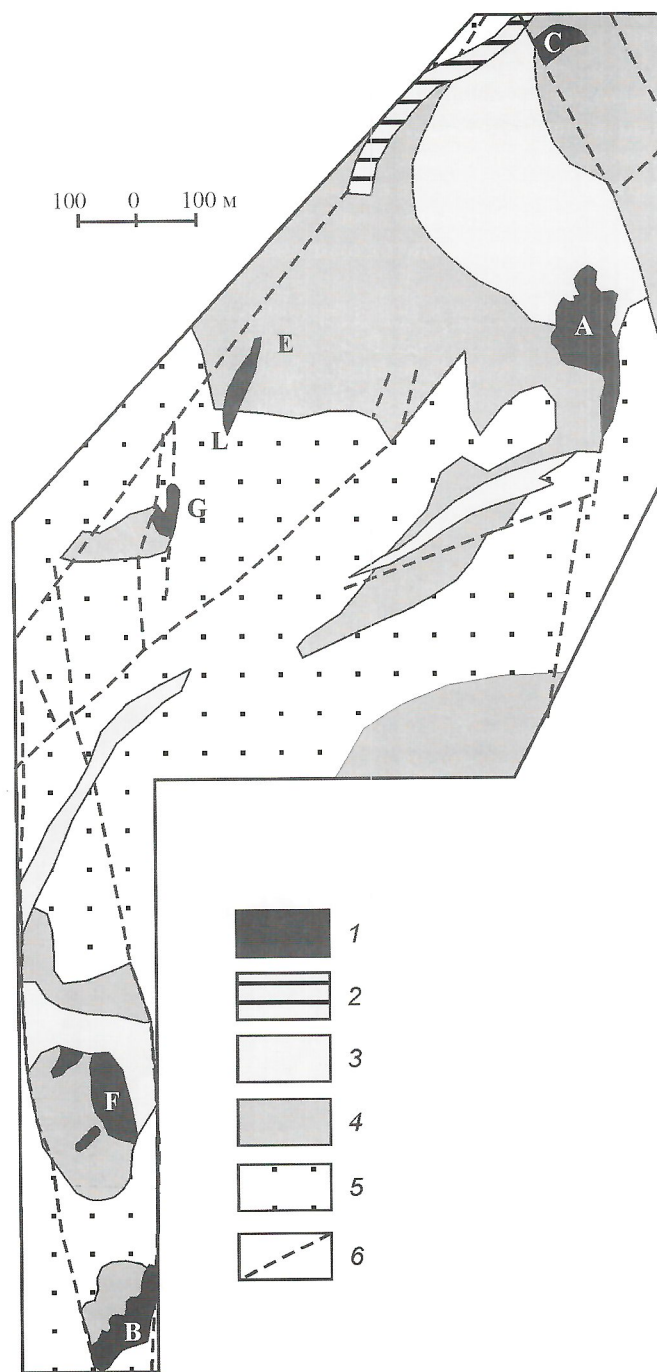


Рис. 4. Месторождение Линн-Лейк [2, 19]. Геологический план района шахты А (горизонт 328 м):

1 — рудные тела; 2 — полевошпатовые порфиры; 3 — кварцево-роговообманковые диориты; 4 — диориты; 5 — амфиболиты; 6 — зоны нарушения или дробления; 7 — граница участка расчета площадного коэффициента рудоносности по месторождению Линн-Лейк

рудного района, что отчетливо подчеркивается здесь спадом интенсивности и характером градиентов гравитационного поля (см. рис. 2).

3. Предполагается, что концентрически зональное замыкание цепочки тел преимущественно ультрамафитового ряда с Артюховским рудопоявлением донных сингенетических залежей в массиве серпентинизированных слюдис-

2. Расчет параметров площадной продуктивности (на 1 км²) запасов [2] эпигенетических медно-никель-кобальтовых руд рудного поля эталонного месторождения Линн-Лейк (провинция Манитоба, Канада)

Рудные тела	Запасы руды, млн.т	Среднее содержание металлов, %			Запасы металлов, тыс.т			Площадь рудного поля месторождения, км ²	Площадная продуктивность запасов металлов на 1 км ² площади месторождения, тыс.т		
		Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co		Ni	Cu	Co
A	5,000	1,22	0,64	—	61,0	32,0	—	1,3	47,0	24,6	—
B	4,275	0,74	0,50	—	31,6	21,4	—		24,3	16,5	—
C	0,760	0,77	0,50	—	5,8	3,8	—		4,5	2,9	—
E	1,600	0,79	0,43	—	12,6	6,9	—		9,7	5,3	—
F											
G											
EL* (до 300 м)	2,500	2,50	0,93	0,20	62,5	23,3	5,0	48,0	17,9	3,8	
Итого:	14,100				173,5	87,4	5,0		133,5	67,2	3,8

* На участке EL выделяется 2 типа руд: 1 — сплошные руды (около 18%) с содержанием Ni 4,5%; Cu 1,5%; Co 0,2%; 2 — вкрапленные руды в амфиболитах и диоритах с содержанием Ni 0,75%; Cu 0,4%

3. Подсчет потенциально перспективных ресурсов эпигенетических сульфидных медно-никель-кобальтовых руд в дайково-жильном комплексе пород мамонского комплекса в восточной зоне (III) Коммунско-Артюховского участка Подколотновского рудного района с использованием параметров площадной продуктивности эталонного месторождения Линн-Лейк

Площадь потенциально рудоносной зоны III (км ²)	Суммарные потенциально перспективные ресурсы металлов зоны III, тыс.т			
	Ni	Cu	Co	
Общая площадь	26,5	3538	1781	100
		С понижающим коэффициентом k=0,6 на низкую изученность и неравномерность распространения вкрапленных и богатых руд		
		2123	1068	60
Категории P ₁ +P ₂	13,0	1041	524	30
P ₃	13,5	1082	544	30

Примечание. В отдельных маломощных (0,1—0,4 м) жилах Подколотновского рудного района содержание Ni 1,1%, Cu 0,5%, Co 0,093%; на Мартовском рудопоявлении содержание возрастает Ni до 14,5%, Co до 2,2%.

то-роговообманковых гарцбургитов отражает вероятный уровень среза, вскрывающий фрагменты неровной подошвы Донского расслоенного интрузива с «карманами» оруденелых гипербазитов в его лежачем боку. Этому предположению не противоречит характер пологой затяжки в эту зону слабо аномального гравитационного поля (см. рис. 2). Структурное замыкание северо-восточного фланга Донского массива осложняется с юга Коммунско-Артюховской линейной субмеридиональной рудо-

носной зоной брекчирования даек ультрамафитов, биотит-плагноклазовых жил, диоритов и мелких тел гарцбургитов.

Таким образом, приведенные данные, базирующиеся на обобщенной модели эволюции магматической системы и анализе структурно-петрологических критериев размещения сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения, позволяют выделить три зоны, разнотипных по степени перспективности, в пределах Подколотновского руд-

ного района: I — Западная — преимущественно крупно-блокового строения рамы гнейсового блока и расслоенного Донского массива мафит-ультрамафитов, перспективной на установление сульфидных платиносодержащих медно-никелевых донных рудных залежей в ультрамафитах; II — Центральная — крупно-среднеблокового строения с развитием линейных северо-западного простирания разломно-блоковых структур (Юбилейный тип) и узлов интенсивного катаклаза и трещиноватости (Подколотновский тип), перспективная на установление в мелких массивах ультрамафитов и породах дайковой серии месторождений сингенетических и эпигенетических платиносодержащих медно-никелевых руд; III — Восточная — повышенной трещиноватости, катаклаза гнейсов с будинированными бескорневыми малыми и дайковыми телами гипербазитов (Бычковское, Артюховское, Северобычковское рудопроявления), дайково-жилым комплексом метасоматитов по ультрамафитовым породам (Мартовское рудопроявление) в ассоциации с породами среднего состава — диоритами, биотит-плагиоклазовыми жилами, в т.ч. сульфидизированными (Коммунское рудопроявление). Особое значение эта зона представляет на обнаружение объектов сульфидных платиносодержащих никель-кобальтовых руд мартовского типа. В совокупности выделенные перспективные зоны позволяют значительно (в 2—3 раза) увеличить ресурсы этого рудного района.

Высокая степень перспективности подтверждается также наличием мировых аналогов некоторых типов платиноидно-медно-никелевых руд, развитых в рудном районе. В частности, вероятным аналогом коммунского, мартовского, артюховского и других типов рудопроявлений может рассматриваться известное месторождение Линн-Лейк (Канада), которое расположено в 1600 км к северу от Садбери и представлено шестью рудными телами, приуроченными к двум штокам диоритов, габбро и амфиболитов (горнблендитов). На месторождении выделяются массивные, вкрапленные, прожилковые и брекчиевидные типы руд, представленные ассоциацией пирит—халькопирит—пентландит—пирротин.

Вмещающие породы пояса Линн-Лейк — метаморфические образования гнейсового ряда (AR-PR?) провинции Чёрчилл [12]. В их составе преобладают парагнейсы, мигматиты, гнейсодиориты. Брекчиевые руды месторождения Линн-Лейк состоят из обломков даек пироксенитов (амфиболитов), метаперидотитов, реже вмещающих гранито-гнейсов, парагнейсов, мигматитов и редко жильного кварца, сцементированных сульфидами.

В северном рудоносном штоке зафиксировано шесть небольших рудных тел: А, В, С, Е, F, G (рис. 4). Параметры оруденения месторождения Линн-Лейк, принятого в качестве эталонного объекта для подсчета прогнозных ресурсов (по категориям $P_1+P_2+P_3$) эпигенетических сульфидных медно-никелевых руд Коммунско-Артюховского участка (зона III) Подколотновского рудного района, приведены в таблицах 2 и 3.

Выполненный расчет свидетельствует о выявлении лишь в пределах Восточной зоны Подколотновского рудного района суммарных прогнозных ресурсов ($P_1+P_2+P_3$) Ni 2123 тыс.т; Cu 1068 тыс.т; Co 60 тыс.т.

Предложенная модель эволюции интрузивно-дайковой рудно-магматической системы мамонского типа, в которой дайковые образования не только структурно-вещественными, но и рудонесущими компонентами высту-

пают как поисково-оценочные критерии и могут служить методологической основой для прогнозно-металлогенических построений с целью наращивания потенциальных ресурсов платиноидно-медно-никелевых руд.

Следует отметить, что подобно Подколотновскому блоку (с одноименным рудным районом) Хопёрский мегаблок Воронежского кристаллического массива характеризуется широким развитием куполовидных структур с преобладающей ролью в их формировании вертикальной мантийно-коровой геодинамики с многократным проявлением магматизма и перемещением рудного вещества в процессе эндогенного рудообразования. К числу таких структур относятся Аннинская, Ширьевская, Восточно-Мамонская, Песковатская (Липов-Кустовская), Архангельско-Демьяновская и другие, которые в совокупности определяют высокий потенциал на цветные и благородные металлы Хопёрского мегаблока с целью проведения поисковых и оценочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горяинов П.М., Давиденко И.В. Тектоно-кессонный эффект в массивах горных пород и рудных месторождений — важное явление геодинамики // Докл. АН СССР. 1979. Т. 247. № 5. С. 1212—1215.
2. Кусочкин В.И. Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных месторождений полезных ископаемых. Никель. Серия: экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. — М., 1970. С. 3—50.
3. Чернышов Н.М. Типы никеленосных интрузий и медно-никелевого оруденения Воронежского массива // Советская геология. 1986. № 12. С. 42—54.
4. Чернышов Н.М., Богданов В.М., Кривцов И.И. Структурное положение никеленосных интрузий юго-востока Воронежского кристаллического массива // Изв. АН СССР. Серия геология. 1987. № 6. С. 50—57.
5. Чернышов Н.М., Ненахов В.М., Лебедев И.П., Стрик Ю.Н. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии // Геотектоника. 1997. № 3. С. 21—30.
6. Чернышов Н.М., Баянова Т.Б., Чернышова М.Н. и др. Уран-свинцовый возраст норит-диоритовых интрузий Еланского никеленосного комплекса и их временные соотношения с габброноритами дифференцированных ультрамафит-мафитовых плутонов мамонского комплекса Воронежского кристаллического массива // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 8. С. 1064—1071.
7. Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004.
8. Чернышова М.Н. Дайки никеленосных комплексов Воронежского кристаллического массива (формационно-генетические типы и пространственно-временные соотношения) // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. геол. 1996. № 1. С. 50—60.
9. Чернышова М.Н. Дайки мамонского никеленосного комплекса и их соотношение с оруденением. — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1999.
10. Чернышова М.Н. Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений еланского типа и их соотношение с оруденением (Воронежский кристаллический массив). — Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2002.
11. Шарков Е.В. Строение магматических систем крупных изверженных провинций континентов по геолого-петрологическим данным // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. геол. 2004. № 2. С. 7—22.
12. Щерба Г.Н. Никелевые пояса Томсон и Линн-Лейк // Геология рудных месторождений. 1973. № 2. С. 42—55.
13. Щукин Ю.И. Региональные исследования и актуальные проблемы глубинной геологии // Геофизика. 2000. № 1. С. 19—30.

Модели россыпеобразующих платиноносных массивов

Е.С.ЗАСКИНД, О.М.КОНКИНА, В.И.КОЧНЕВ-ПЕРВУХОВ, В.В.СТОЛЯРЕНКО, С.О.ФЕДОРОВА (ЦНИГРИ)

Для всех мафит-ультрамафитовых магматитов характерны повышенные концентрации элементов платиновой группы (ЭПГ), уровень которых нередко достигает промышленных значений. Все эндогенные месторождения платиноидов контролируются массивами мафит-ультрамафитового состава. Руды этих месторождений относятся к сульфидному, оксидно-сульфидному и оксидному типам. При разрушении руд и рудовмещающих пород минералы элементов платиновой группы (МЭПГ), благодаря их высокой плотности и устойчивости к химическим и механическим воздействиям, накапливаются в продуктах разрушения, образуя шлиховые ореолы, а в благоприятных геоморфологических условиях — россыпи, вплоть до промышленных.

Наиболее высоким россыпеобразующим потенциалом обладают магматиты с рудами (или минерализацией) оксидной группы. Их характерная особенность — преобладание среди МЭПГ самородных форм, сплавов и твердых растворов с размерами зерен, так называемых россыпеобразующих классов, более 0,1 мм. К ним относятся зональные мафит-ультрамафитовые плутоны разного состава и комплексы гипербазитовой формации — плутониты офиолитовой составляющей подвижных поясов.

Именно эти образования — предмет рассмотрения настоящей статьи. Для них разработаны геолого-поисковые модели, представляющие собой систему критериев и признаков, к числу которых относятся: геологическая обстановка нахождения платиноносных массивов, черты их строения и состава, особенности рудной минерализации, в т.ч. набор МЭПГ, а также минерально-геохимические типы россыпепроявлений, образующихся при их разрушении, и преобладающие масштабы россыпей.

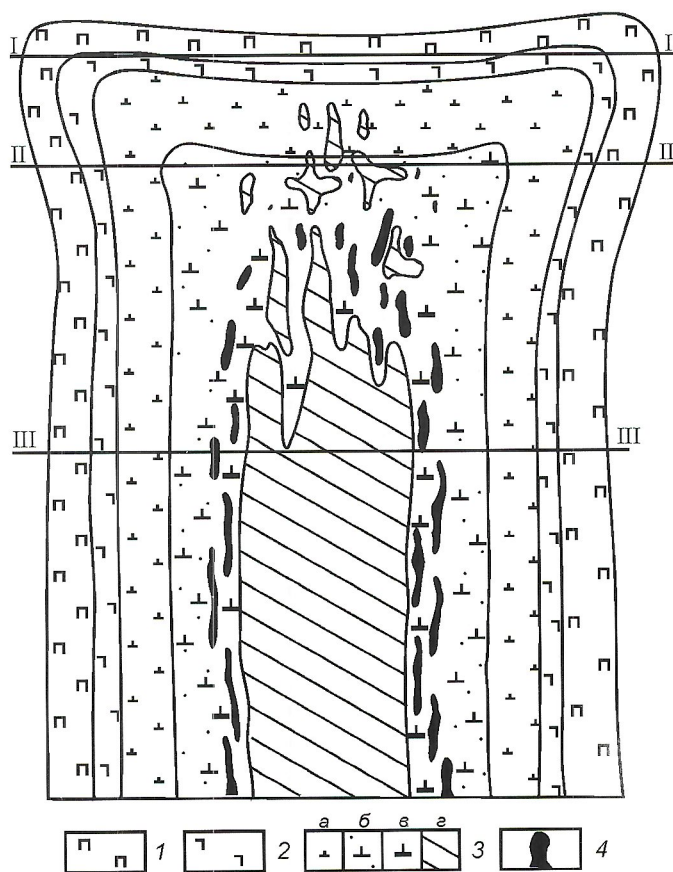
Зональные мафит-ультрамафитовые массивы. Россыпи металлов платиновой группы (МПГ) установлены в зональных мафит-ультрамафитовых массивах, развитыми в подвижных поясах (габбро-клинопироксенит-дунитовые массивы Платиноносного пояса Урала, юга Корякии, Аляски, Колумбии), зонах активизации кратонов, связанных с вулcano-плутоническими поясами (клинопироксенит-дунитовые массивы с щелочным габбро Алданского щита) и зонах рифтогенной активизации платформ (дунит-пироксенитовые массивы Северной Сибири со щелочными породами и карбонатитами). Наиболее продуктивны в отношении россыпеобразования массивы двух первых типов, с которыми ассоциируют очень крупные россыпи.

Габбро-клинопироксенит-дунитовые и клинопироксенит-дунитовые массивы, продуцирующие крупные и уникальные (более 100 т металла) россыпи МПГ [12], обладают четким зональным и концентрически-зональным строением. Их центральные части сложены дунитами, отделенными от внешних габбро-пироксенитовых и габброидных (щелочно-габброидных) частей полосой клинопироксенитов (табл. 1, рисунок). Зоны клинопироксенитов, габбро-пироксенитов и габбро могут быть непрерывны или распадаться на серию линз, связанных постепенными переходами [1, 3].

При малой глубине эрозионного среза таких массивов (см. рисунок, I—I) на дневную поверхность выходят только клинопироксениты, иногда с линзами оливинитов в них, и габбро (массивы Беринговской зоны южной Корякии [11] и некоторые массивы Платиноносного пояса Урала), в которых МЭПГ представлены самородной платиной и Fe-Pt твердыми растворами с высокими содержаниями

1. Основные параметры модели россыпеобразующих массивов

Параметры модели	Массивы и их характеристики	
	Габбро-клинопироксенит-дунитовый	Клинопироксенит-дунитовый со щелочным габбро
Обстановка нахождения	Подвижный пояс	Зона активизации щита в связи с ВПП
Строение; петрографический состав	Зональное; от внутренних частей к периферии — дуниты, клинопироксениты, габбро	Концентрически-зональное; от внутренних частей к периферии — дуниты, клинопироксениты, щелочное габбро
Рудная специализация	Дуниты — вкрапленный и шлировый хромит с Pt-(Ir-Os); пироксениты — титаномагнетит с Pt-(Pd)	
Состав россыпеобразующих МЭПГ	Fe-Pt твердые растворы, преобладает изоферроплатина, менее развита железистая платина и тетраферроплатина; второстепенные Ir-Os твердые растворы	
Минералого-геохимический тип россыпей; масштабы; основной источник	Иридисто-платиновый; крупные и уникальные; дунитовая часть массива	
Минеральный состав шлихового металла	Изоферроплатина (>95%) с содержанием Ir до 7%, тетраферроплатина, железистая платина, туламинит, иридосмины, осмириды	
Минеральный состав шлиховых ореолов	Хромит, титаномагнетит, изоферроплатина, осмирид, иридосмин	
Примеры	Массивы Платиноносного пояса Урала, Гальмознан (Корякия)	Массивы Кондер, Чад, Инагли (Алданский щит)



Модель строения зональных габбро-клинопироксенит-дунитовых (клинопироксенит-дунитовых со щелочными габбро-идами) массивов:

I—I — клинопироксенит-габбровые с линзами оливинитов; II—II — с дунитовыми «ядрами», сложенными мелко- и среднезернистыми дунитами с вкрапленностью хромита; III—III — с дунитовыми «ядрами», сложенными крупнозернистыми и пегматоидными дунитами с прожилковым и шлировым хромитом; 1 — клинопироксениты с изоферроплатиной с повышенными содержаниями Pd, Rh и Cu и самородной платиной; 2 — оливиниты с железистой изоферроплатиной; 3 — дуниты: а — мелкозернистые с аксессуарным хромитом и высокоиридистой изоферроплатиной с вростками тетраферроплатины (структуры распада твердого раствора), б — среднезернистые с бедной вкрапленностью хромита и высокоиридистой изоферроплатиной с вростками платосмирида (структуры распада твердого раствора), в — крупнозернистые с шлирами хромита и высокоиридистой изоферроплатиной с вростками платосмирида, г — пегматоидные с густой вкрапленностью хромита и малоиридистой изоферроплатиной повышенных классов крупности; 4 — шлиры хромита

Pd (до 2%), Rh (1—2%) и Cu (0,4—6%) [13, 15]. Россыпеобразующий потенциал рассматриваемых массивов на таком уровне эрозионного среза невелик и в этих случаях с ними ассоциируют мелкие россыпи палладистой платины и изоферроплатины с пониженным содержанием железа вплоть до самородной платины.

С увеличением глубины эрозионного среза на поверхность выходят дуниты центральных частей массивов (см. рисунок, II—II), площадь которых с ростом глубины эрозионного среза возрастает, а строение усложняется (см.

рисунок, III—III). Возрастает и россыпеобразующий потенциал массивов, что связано как с увеличением содержания МЭПГ в дунитах, так и с их укрупнением (значительную долю в шлиховом металле, поступающем при разрушении этих частей массивов, играет металл крупностью +3 мм).

Усложнение строения дунитов центральной части массивов, так называемого дунитового «ядра», с увеличением глубины эрозионного среза выражается в появлении, а затем в широком развитии крупнозернистых вплоть до пегматоидных разновидностей дунитов, а также в увеличении доли прожилкового и шлирового хромита, сменяющего его равномерную вкрапленность. Здесь наряду с идиоморфными кристаллами МЭПГ («дунитовый» тип МЭПГ), преобладающими в верхних частях массивов, широко развиты ксеноморфные зерна платиноидов в сростаниях с хромитом («хромитовый» тип МЭПГ, который, как правило, пространственно и генетически связан с крупнозернистыми и пегматоидными дунитами с повышенным содержанием хромшпинелидов). Изменяется и состав Fe-Pt твердых растворов, что можно продемонстрировать при сравнении составов металла россыпей МПГ Урала мезозойского и четвертичного возрастов, ассоциирующих с одними и теми же коренными источниками — Нижнетагильский и Омутнинский зональные габбро-клинопироксенит-дунитовые массивы.

В россыпях мезозойского возраста, отвечающих более высокому уровню эрозионного среза, чем срез четвертичного времени, среди Fe-Pt твердых растворов преобладает высокоиридистые (Ir > 5%) и иридистые (Ir 2—5%) разновидности с высокими содержаниями меди и железа. Широко распространены вростки тетраферроплатины — туламины в изоферроплатине, отражающие распад железо-платинового твердого раствора.

В четвертичных россыпях, ассоциирующих с Нижнетагильским и Омутнинским массивами, содержания Ir обычно не превышают 2%, Fe — ниже и Cu — резко снижается [14].

Именно с массивами, обладающими глубиной эрозионного среза II и III уровней (см. рисунок), ассоциируют наиболее крупные россыпи иридистой и малоиридистой платины, в которых преобладает металл «хромитового» типа. Таким образом, габбро-клинопироксенит-дунитовые и клинопироксенит-дунитовые массивы, проявившиеся в различных геотектонических обстановках (см. табл. 1), обладают рядом общих особенностей и одинаково высоким россыпеобразующим потенциалом [4, 16].

Дунит-пироксенит-щелочно-карбонатитовые массивы (табл. 2) выявлены в Маймеча-Котуйской провинции на севере Восточно-Сибирской платформы (массивы Гулинский и Бор-Урах). Они также относятся к типу зональных и являются источником небольших россыпей иридий-осмиевого типа. Для массивов характерно концентрически-зональное или ассиметрично-зональное строение. В шлихах и россыпях преобладает или самородный осмий (россыпи Гулинского массива), или иридосмин (россыпи проявления Бор-Урахского массива), которые сопровождаются золотом.

Гулинский массив — единственный, в связи с которым известны близкие к промышленным россыпи МЭПГ. Массив в плане представляет собой серповидное тело длиной 30 км, шириной 10—12 км, площадь порядка 600 км². Большая часть обнаженной площади массива (около 330

2. Основные параметры модели россыпеобразующего дунит-пироксенит-щелочно-карбонатитового массива

Параметры модели	Характеристики массива
Обстановка нахождения	Зона рифтогенной активизации платформы
Строение; петрографический состав	Зональное — дуниты и оливиниты, щелочные перидотиты и пироксениты, карбонатиты
Рудная специализация	Дуниты — вкрапленный и шлировый титанистый хромит с Os-(Ir-Os); оливиниты — перовскит
Состав россыпеобразующих МЭПГ	Os-(Ir-Os) твердые растворы
Минералого-геохимический тип россыпей; масштабы; основной источник	Иридий-осмиевый; мелкие; дунитовая часть массива
Минеральный состав шлихового металла	Самородный осмий, иридосмин; примесь золота
Минеральный состав шлиховых ореолов	Титанистый хромит, ильменит, перовскит, иридосмин, золото
Примеры	Гулинский и Бор-Уряхский массивы (Северная Сибирь)

км²) представлена дунитами. Дуниты, слагающие центральную часть массива, сменяются к его краевым частям клинопироксенитами и меймечитами. В центральной части массива обнаружены два штока карбонатитов до 5 км в поперечнике каждый.

В дунитах развиты мелкие прожилки и шлиры титанистых хромшпинелидов с рутениридосминовой специализацией. Характерная особенность рудной минерализации массива — широкое развитие перовскита. Минералы платиновой группы представлены преимущественно тверды-

ми растворами Os-(Ir-Ru) с преобладанием самородного осмия и, в меньшей степени, иридосмина. Содержание в иридосмине Ir составляет от 0,73 до 40,80% (массовое содержание). Твердые растворы Os-(Ir-Ru) характеризуются высокими содержаниями Os, изменяющимися от 54,36 до 99,05% и низкими концентрациями Ru 0,10—6,71% [6, 7].

Гипербазитовые массивы. Одни из коренных источников МПГ в россыпях, являются плутонической составляющей офиолитов, которые выведены на поверхность в подвижных поясах различного возраста. Выходы таких

3. Основные параметры модели россыпеобразующих дунит-верлит-габбрового, дунит-гарцбургитового, дунит-перидотитового массивов гипербазитовой формации (плутоническая составляющая офиолитов)

Параметры модели	Массивы		
	Дунит-верлит-габбровый	Дунит-гарцбургитовый	Дунит-перидотитовый
Обстановка нахождения	<i>Подвижный пояс</i>		
Строение; петрографический состав	Полосчато-шлировое чередование дунитов, верлитов и габбро	Постепенные переходы от дунитов к гарцбургитам	Полосчатое чередование дунитов и перидотитов
Рудная специализация	Дуниты — вкрапленный и шлировый хромит с родистой Pt	Дуниты — шлировые и жильные тела хромита с Ru-Ir-Os (Pt)	
Состав россыпеобразующих МЭПГ	Fe-Pt твердые растворы, преобладает родистая изоферроплатина	Ru-Ir-Os твердые растворы	
Минералого-геохимический тип россыпей; масштабы; основной источник	Родистая платина; мелкие; дунитовая часть массива	Ru-Ir-Os; мелкие; дунитовая часть массива	
Минеральный состав шлихового металла	Родистая изоферроплатина (преобладает), рутениридосмины, осмириды, иридосмины	Рутениридосмины, осмириды и иридосмины (преобладают), родистая изоферроплатина	
Минеральный состав шлиховых ореолов	Хромит, изоферроплатина, рутениридосмины	Хромит, рутениридосмины	
Примеры	Пекульнейский массив (Корякия), Среднетерсинский массив (Кузнецкий Алатау)	Верх-Нейвинский и Тагило-Невьянский массивы (Урал)	

плутонитов образуют протяженные (сотни километров длиной и десятки километров шириной) пояса линзовидных и пластообразных тел. Для массивов характерна отчетливая вертикальная зональность. Снизу вверх выделяются следующие вещественные комплексы: дунит-гарцбургитовый (расслоенный), лерцолитовый и дунит-верлит-габбровый (такситовый), которые могут быть как совмещены в одном поясе, группе массивов или в одном массиве, так и разобщены. Перечисленные комплексы несколько различаются россыпеобразующим потенциалом. Они продуцируют мелкие россыпи и россыпепроявления (десятки, редко первые сотни килограммов МПГ), относящиеся к различным минералого-геохимическим типам (табл. 3) [2, 5, 9].

Общие особенности массивов этой формации (семейства формаций) — их хромитовая специализация, ассоциация МЭПГ с хромитом и преобладание среди МЭПГ устойчивых при гипергенезе самородных форм, сплавов и твердых растворов Fe-Pt и Os-Ir-Ru составов.

Дунит-гарцбургитовый комплекс автономен или слагает нижние части разреза плутонитов. Дуниты содержат шпильры и крупные залежи массивного хромита с Ru-Ir-Os минерализацией; МЭПГ представлены сплавами и твердыми растворами, реже самородными формами иридия и рутения. Выходы таких комплексов на дневную поверхность сопровождаются мелкими россыпями иридия, иридосмина, осмирида, рутениридосмина, содержащими изоферроплатину; чаще являются источником примеси МПГ в россыпях золота.

Лерцолитовый (±дуниты) комплекс также автономен или слагает низы разреза, занимая позицию дунит-гарцбургитового. Дуниты комплекса вмещают пластовые и жильные тела хромитов с рассеянной вкрапленностью сульфидов и сульфоарсенидов МПГ. Россыпи данного комплекса неизвестны.

Дунит-верлит-габбровый (такситовый) комплекс расположен над лерцолитовым (с дунитами) или дунит-гарцбургитовым комплексами. Обычно представлен полосчато-шпильровым чередованием высокожелезистых дунитов, верлитов и клинопироксенитов. Состав его изменяется от дунит-верлитового до однородного габбрового. С ним ассоциируют МЭПГ группы железо-платиновых твердых растворов, преимущественно родистой изоферроплатины. Группа иридосминов имеет подчиненное значение. Комплекс сопровождают мелкие россыпи и россыпепроявления рутений-иридий-осмий-платинового (родисто-платинового) состава [8, 9, 10].

Россыпеобразующий потенциал конкретных массивов и их групп тем выше, чем обширнее выходы дунитов дунит-гарцбургитового и дунит-перидотит-пироксенит-габбрового (такситового) комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Г.Гурович, В.Н.Землянухин, Е.П.Емельяненко и др. Геология, петрология и рудоносность Кондерского массива. — М.: Наука, 1994.
2. Дмитренко Г.Г., Мочалов А.Г., Паланджан С.А. и др. Химические составы породообразующих и акцессорных минералов альпинотипных ультрамафитов Корякского нагорья. Препринт. — Магадан, 1985.
3. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала (минералогия, петрология, генезис). — Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1997.
4. Кривцов А.И. Месторождения платиноидов (геология, генезис, закономерности размещения). Итоги науки и техники // Рудные месторождения. Т. 18. — М.: ВИНТИ, 1988.
5. Крячко В.В. Минералого-геохимические особенности и закономерности формирования платиновой минерализации ультрамафитовых массивов Майницкой структурно-формационной зоны (Корякское нагорье). Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. — М., 1987.
6. Лазаренков В.Г., Малич К.Н., Сахьянов Л.О. Платинометалльная минерализация зональных ультраосновных и коматитовых массивов. — Л., 1992.
7. Малич К.Н. Платиноиды клинопироксенит-дунитовых массивов Восточной Сибири (геохимия, минералогия, генезис). — СПб., 1999.
8. Марков М.С., Некрасов Г.Е., Паладжян С.А. Офиолиты и меланократовый фундамент Корякского нагорья / Очерки тектоники Корякского нагорья. — М.: Наука, 1982. С. 30—70.
9. Мочалов А.Г. «Шлиховая платина» россыпей Дальнего Востока России. Автореф. дисс. ... докт. геол.-минер. наук. — М., 2001.
10. Паланджан С.С., Дмитренко Г.Г., Мочалов А.Г. Платиноидная минерализация альпинотипных ультрамафитов и геодинамические обстановки формирования офиолитов / Научные труды. Геология и генезис месторождений платиновых металлов. — М.: Наука, 1994. С. 155—167.
11. Полетаев В.А. Камчатско-Корякский платиноносный пояс. Платина России Т. III. — М.: Геоинформмарк, 1999. С. 76—87.
12. Россыпные месторождения России и других стран СНГ (минералогия, промышленные типы, стратегия развития минерально-сырьевой базы) / Под ред. Н.П.Лаверова, Н.Г.Патык-Кара. — М.: Научный мир, 1997.
13. Столяренко В.В. Россыпная платиноносность северо-восточной части Олюторско-Камчатской зоны / Роль минералогии в развитии минерально-сырьевой базы благородных металлов и алмазов XXI в. Тез. докладов годичной сессии МО ВМО РАН. — М., 1998.
14. Столяренко В.В., Амосов Р.А., Лапина М.И. Минералого-геохимические критерии оценки глубины эрозионного среза зональных габбро-пироксенит-дунитовых массивов. Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 1. С. 80—89.
15. Толстых Н.Д., Сидоров Е.Г. Состав Pt-Fe сплавов как отражение условий их образования в концентрически-зональных массивах / Платина в геологических формациях Сибири. — Красноярск, 2001. С. 86—89.
16. Экзогенная золотоносность и платиноносность Российской Федерации. Объяснительная записка к комплексу карт / Под ред. А.И.Кривцова, Н.М.Риндзюнской, Г.В.Ручкина. — М., 1997.

Многофакторные модели платиновых россыпей Дальнего Востока и их классификация по сложности строения

В.И.КУТОРГИН, В.А.ДЖОБАДЗЕ, Ю.С.БУДИЛИН, А.С.ТАРАСОВ (ЦНИГРИ)

Многофакторные модели платиновых россыпей Дальнего Востока создавались по плану исследований ЦНИГРИ при разработке методических рекомендаций по оценке и разведке россыпей благородных металлов на основе многофакторного моделирования.

Основные задачи при составлении и анализе многофакторных моделей следующие:

показать закономерности распределения полезных компонентов в зависимости от геолого-геоморфологических обстановок и технических средств разведки и методики обработки проб;

разработать критерии, влияющие на повышение эффективности разведки и достоверности оценки ресурсов и запасов россыпей на примере ведущих геолого-промышленных типов россыпных месторождений платиноидов.

Модели созданы на базе реальных детально изученных объектов, характеризующихся определенными закономерностями в распределении полезных компонентов в продуктивных пластах и их морфологическими и концентрационными различиями в конкретных геолого-геоморфологических обстановках, в связи с чем концентрационные и морфологические модели послужили базовым материалом для классификации россыпей по сложности их строения, определяющие выбор рациональных методов и средств разведки.

Модели платиновых россыпей Корякии (Сейнав-Гальмоэнанский рудно-россыпной узел) и месторождения р.Кондер (Хабаровский край) создавались по материалам организаций «Корякгеолдобыча», «Дальгеология», старательской артели «Амур», а также по материалам исследований ЦНИГРИ на стадиях разработки технико-экономических обоснований (ТЭО) кондиций и подсчета запасов для представления на государственную экспертизу ГКЗ СССР и России. По месторождениям р.Инагли (Якутия) и Моховой-Чад (Хабаровский край) использованы материалы отчетов ПГО «Якутскгеология» и «Дальгеология».

К настоящему времени в мире выявлено весьма значительное количество платиноносных россыпных месторождений, но 85% запасов «шлиховой платины» содержится в очень ограниченном числе россыпей — их не более 10. Это крупные и уникальные объекты с запасами более 20 и 50 т соответственно. К числу таких объектов относятся месторождения, модели которых изучены более детально. По данным Б.И.Беневольского [1], при оценке разведанных запасов россыпных и рудных месторождений россыпные месторождения содержат платины всего лишь около 1%, а их вклад в общую добычу составляет около 5%, но при этом россыпи обладают важным достоинством — они содержат больше особо ценных платиновых металлов: Pt, Ir, Os, что повышает общую стоимость добываемого из них металла до 12%.

К настоящему времени установлено, что в общей сложности «шлиховая платина» состоит почти из 100 минералов весьма пестрого химического состава. Вместе с этим в россыпных месторождениях наблюдаются устойчивые ассоциации минералов платиновой группы с определенными химическими характеристиками типа Ir-Os-Pt-Ru или Os-Ir. Это

обстоятельство позволило А.Г.Мочалову [1, 11] разделить шлиховую платину на пять минералого-геохимических типов: рутен-иридосминовый, рутен-платосмиридовый, иридисто-платиновый, иридосминовый, платиновый.

Особое место среди других минералого-геохимических типов занимает иридисто-платиновый тип шлиховой платины, так как именно с ним связана большая часть запасов россыпных месторождений. Некоторые из них относятся к крупным и даже уникальным. Такие месторождения формировались в складчатых областях и зонах активизации платформ на выходах габбро-пироксенит-дунитовых массивов и концентрически-зональных интрузивных тел щелочно-ультраосновного состава.

На территории Северо-Востока и Дальнего Востока России аллювиальные россыпи платины, представленные иридисто-платиновым и в меньшей степени платиновым минералого-геохимическими типами, имеют весьма большую ценность и в настоящее время активно отрабатываются. Такие месторождения выявлены в Сейнав-Гальмоэнанском платиноносном узле Корякии (р.Левтыриновьям, руч.Ледяной с притоком руч.Сентябрь) и на Алданском щите (реки Кондер-Уоргалан, Инагли, Моховой-Чад).

Шлиховая платина иридисто-платинового минералого-геохимического типа характеризуется существенным преобладанием изоферроплатины, относящейся к группе интерметаллидов. Этот минерал на 80—87% состоит из Pt, 10—15% из Fe и лишь первые проценты приходятся на Ir, Os, реже Rh и Pd. Наиболее значимый среди этих элементов-примесей — иридий. Соотношение Pt и Fe в изоферроплатине относительно устойчивое, в то время как содержания элементов-примесей отличаются сильной изменчивостью.

На Северо-Востоке и Дальнем Востоке России известные промышленные россыпи платиноидов связаны с гипербазитовыми массивами двух основных формационных типов: клинопироксенит-дунитовым и дунит-клинопироксенит-габбровым [4, 13]. Практикой геологоразведочных работ установлено, что в ряду массивов идентичных по составу и сходных по геотектоническим условиям образования далеко не каждый россыпеобразующий. Причина этого заключается во многих факторах, в числе которых размер выделений платиновых минералов, их химическая устойчивость в зоне гипергенеза, уровень содержаний платиновых минералов, глубина эрозионного среза и т.п. Так, по материалам В.М.Шашкина, В.В.Столяренко и др. (1988) геолого-минералогическая модель вертикальной зональности платинометалльной минерализации включает по меньшей мере 5 зон минерализации дунитовых ядер концентрически зональных и зональных массивов клинопироксенит-дунитовой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций, попадающие в область эрозионного среза (сверху вниз): 1) с самородным осмием иридистым; 2) железистой изоферроплатиной, 3) высокоиридистой изоферроплатиной, 4) высокоиридистой изоферроплатиной со структурами распада с платосмиридом, 5) иридистой изоферроплатиной повышенных классов крупности. При этом для трех нижних зон минерализации из пяти характерны вмещающие хромитоносные

среднезернистые, крупнозернистые до пегматоидных дуниты с обилием хромитовых шпиров (Инаглинский, Сейна-Гальмозанский массивы), а также пегматоидные с вкрапленностью хромшпинелидов и платины повышенных классов крупности (Кондерский массив). Наименьшая относительная глубина среза наблюдается в Чадском массиве, где в основном представлены две верхние уже перечисленные зоны минерализации.

Яркий представитель массивов рассматриваемого клинопироксенит-дунитового формационного типа — ультраосновная интрузия Кондер и весьма схожие с ним массивы Инаглинский и Чад, обладающие типичной зонально-концентрической структурой первично-магматического происхождения. С массивом Кондер связано уникальное по концентрациям и запасам месторождение шлиховой платины Кондер-Уоргалан (рис. 1). Центральную, ядерную часть

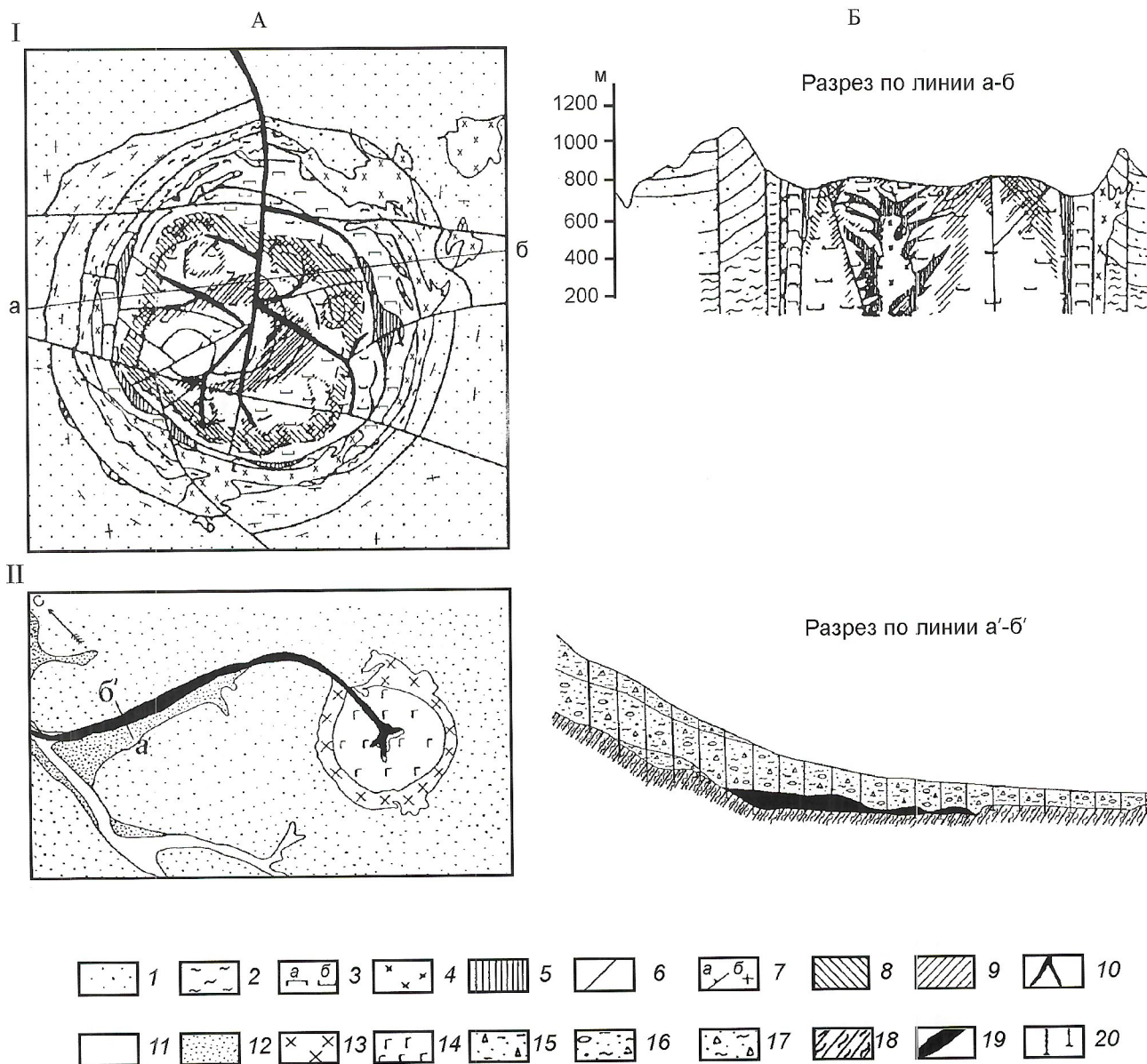


Рис. 1. Схема геологического строения массива и россыпного месторождения Кондер:

А — план; Б — гипотетический разрез (с использованием данных ПГО «Дальгеология»); 1 — алевролиты и песчаники среднего рифея; 2 — метаморфические породы раннего архея; 3 — позднепротерозойские ультраосновные породы кондерского комплекса: а — пироксениты, б — дуниты; 4 — интрузии мезозойского алданского комплекса: косциты, габбро, диориты, сиениты (дайковый и жильный комплексы не показаны); 5 — оливин-диопсидовые метасоматиты внутреннего периклинального разрыва и центральные щелочные метасоматиты (на разрезе); 6 — разрывные нарушения; 7 — залегание пород: а — наклонное, б — горизонтальное; 8 — участки развития платиновой россыпеобразующей формации; 9 — то же, иридино-платиновой россыпеобразующей формации; 10 — россыпи; 11 — современная пойма; 12 — верхнечетвертичные террасы; 13 — диориты, монцодиориты, пегматиты, аляскитовые граниты, порфириовидные плагиограниты раннемеловые; 14 — пироксениты, перидотиты, дуниты позднеюрские; отложения: 15 — щебнистые с примесью песка, 16 — галечно-гравийно-песчаные, 17 — щебнисто-глинистые; 18 — коренные породы; 19 — промышленный пласт; 20 — буровые скважины

этой структуры слагают разнотекстурные дуниты, занимающие большую (80%) часть объема интрузии (см. рис. 1, I). С хромитовыми дунитами и связана основная часть минералов платиновой группы. Массивы данной формации развиты в зонах мезозойской активизации фундамента платформ и в плане представляют собой округлые или овальные, чаще одиночные штоки, размер которых достигает в поперечнике 8 км. Центральные части интрузий сложены хромитовыми дунитами, краевые — титаномагнетитосодержащими клинопироксенитами. Основной минерал — изоферроплатина (более 98%), в значительных количествах (около 1%) присутствуют твердые растворы Os и Ru на основе Ir.

В отличие от аллювиальных россыпей Корякии россыпи рек Кондер, Инагли и Моховой-Чад относительно просты по строению, довольно обычны и «стандартны». Их связь с концентрически-зональными массивами характеризуется котловинной формой рельефа («кольцо»). Отличительной особенностью распределения россыпей, связанных с концентрически-зональными массивами типа Кондер, является то, что металл от первоисточников выносится за их границы лишь одной выводящей долиной (см. рис. 1, II).

Для примера более подробно рассмотрим *месторождение р.Кондер-Уоргалан*. Этот объект занимает ведущее место в общем ряду известных месторождений по количеству содержащейся в нем платины. По данным Аяно-Майской геологоразведочной экспедиции длина россыпи с учетом выноса в р.Уоргалан составляет почти 60 км при средней ширине 360 м.

Особенности морфоструктурного плана территории предопределили рисунок речной сети, строение долин и самым существенным образом сказались на распределении россыпной платины. Четко проявлены два участка — котловинный (в кольце) и за пределами кольца. В котловине рисунок гидросети хорошо выраженный радиальный (см. рис. 1, I). Здесь водотоками низких порядков сформированы долины с односторонними террасовыми комплексами. Террасы цокольные, преобразованы склоновыми процессами в пологонаклонные увальные поверхности. По исследованиям Т.С.Хорошиловой [12] формирование речного аллювия началось в плиоцен-четвертичное время и почти непрерывно продолжалось в плейстоцене и голоцене.

Россыпи, залегающие в котловине, характеризуются наиболее высокой продуктивностью и в целом содержат около 30% запасов всего месторождения р.Кондер. По отдельным выработкам концентрации металла здесь достигают 20 г/м^3 и более. В россыпях наблюдается повышенная крупность металла. Более 40% платины приходится на фракции крупнее 1 мм, из них 2,5% — на самородки, большое количество которых было поднято в процессе эксплуатации. Самые крупные из них весили 3,5 и 5,5 кг. Наличие самородков и общая высокая крупность платиноидов наряду с их высокими концентрациями явились естественным следствием непосредственного размыва водотоками коренных источников и сравнительно глубокого уровня эрозионного среза, захватившего пегматитовые зоны с вкрапленностью хромшпинелидов и изоферроплатины повышенных классов крупности. Этим же объясняются и относительно слабая окатанность металла, а также находки обломков пород с невысвобожденными кристаллами платиноидов. Основная часть россыпи расположена на коренном ложе поймы, представляющем собой довольно ровную поверхность, лишь изредка осложненную западинами глубиной до 1,5 м (см. рис. 1).

Ниже «кольцо» россыпь р.Кондер сохраняет тот же минералогический тип, что и в котловинной части, т.е. относится к иридисто-платиновой группе с незначительной долей собственно платиновой. По мере перемещения от коренных источников происходит освобождение изоферроплатины от хромшпинелидов и силикатов. Ее самостоятельные выделения истираются, что сказывается на улучшении их окатанности и гранулометрических характеристиках: исчезают самородки, увеличивается доля весьма мелких ($-0,25 \text{ мм}$) и мелких ($-0,5 \text{ мм}$) фракций.

Гранулометрические характеристики металла в месторождении Кондер-Уоргалан заметно отличаются от других россыпей региона, особенно в кольцевой части месторождения с наличием самородковой зоны. Также относительно крупный металл представлен в россыпи Моховой-Чад. Гранулометрический состав металла россыпи р.Инагли близок к россыпям Корякии, т.е. им соответствует мелкий металл.

Коренные источники дунит-клинопироксенит-габбрового формационного типа образуются в условиях формирования островных дуг и являются корневыми частями вулканоплутонических ассоциаций. При достаточно глубоком эрозионном срезе массивы этого типа представляют собой линзовидные тела, размер которых в поперечнике измеряется от первых сотен метров до десятков километров и вместе они образуют весьма протяженные, согласные общей структуре, пояса. Эти характеристики относятся к Корякско-Камчатскому региону, где общее число ультраосновных интрузий подобного формационного типа исчисляются десятками, но лишь в одной из них выявлена платинометаллическая минерализация промышленного значения — Сейнав-Гальмознанский рудно-россыпной узел.

К настоящему времени здесь открыто 10 аллювиальных месторождений шлиховой платины, 3 из которых отрабатываются. Из них 2 россыпи относятся к категории крупных месторождений — р.Левтыриновьям и руч.Ледяной с притоком руч.Сентябрь и одна средняя — руч.Пенистый. С учетом добытого металла и установленных запасов общая оценка Сейнав-Гальмознанского узла такова, что позволяет его отнести к числу уникальных объектов.

Большинство россыпей узла тесно связаны с аллохтонным Гальмознанским массивом, обладающим явно выраженным зональным строением. Его длина 16 км при ширине 2—3 км, ориентирован он в субмеридиональном направлении. Центральная часть интрузии представлена разнотипными дунитами. Обрамлением дунитового ядра служит оболочка клинопироксенитов мощностью 200—700 м. На границе с вмещающими породами развиты небольшие, протяженностью до 1 км, линзовидные тела габброидов. Их распределение носит прерывистый характер, а число невелико. Поэтому контакт интрузии с вмещающими породами возникает главным образом через клинопироксениты [2].

Многочисленность рудопоявлений и высокие концентрации платины в них стали причиной образования 7 россыпных месторождений, 2 из которых по масштабам крупные, одно среднее. С Сейнавским массивом связаны 3 россыпи малого масштаба.

Показательно, что аллювиальные россыпи узла довольно равномерно располагаются по протяжению массивов, освещая состав и продуктивность коренных источников разных частей этих интрузивов. Надо полагать, что подобное распределение россыпей в плане — неотъемлемое

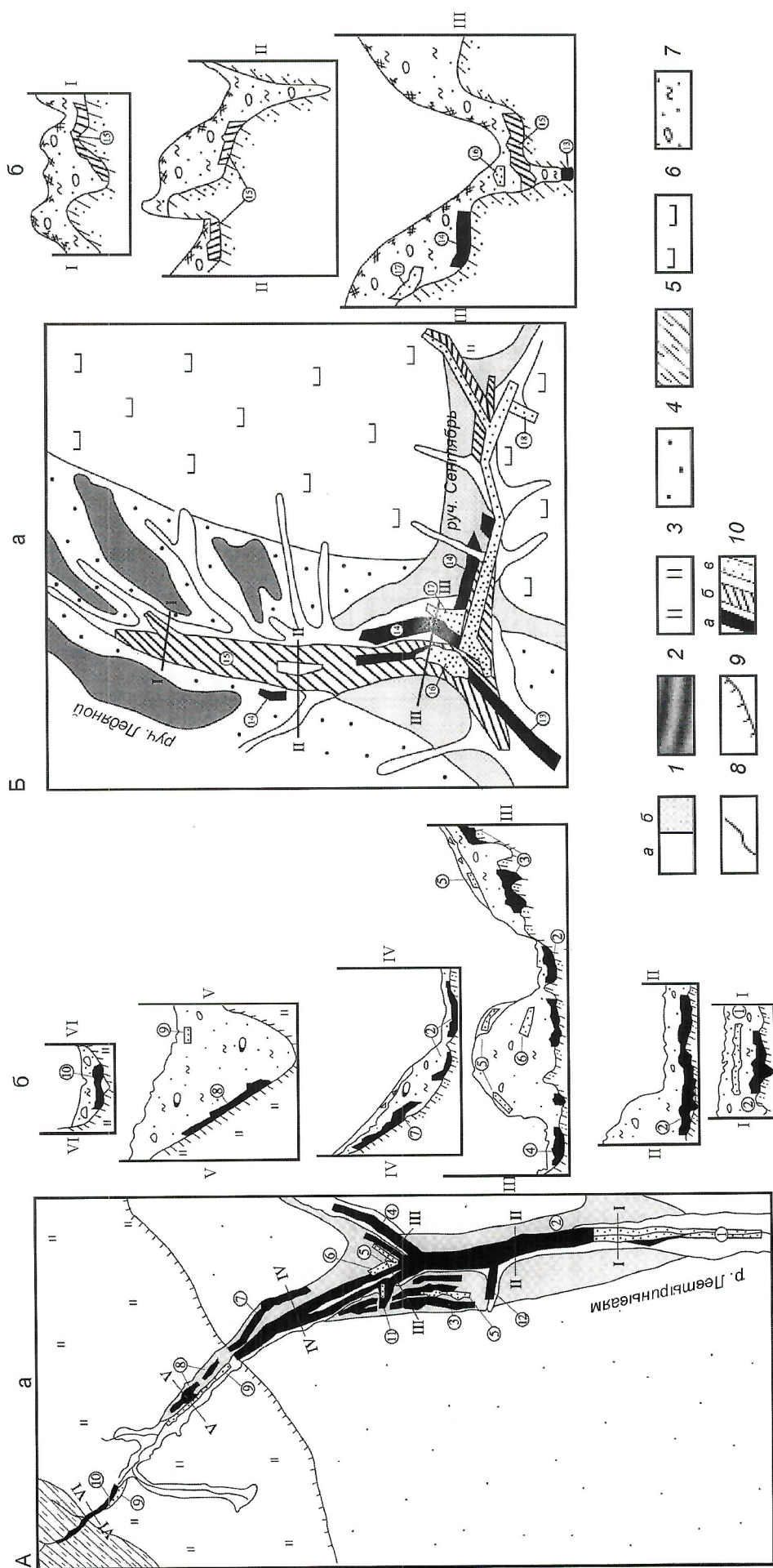


Рис. 2. Геолого-геоморфологические схемы (а) и разрезы (б) россышного месторождения платины бассейна р. Левтыриньевой (А) и руч. Лежневой (Б) (по материалам «Коржгеолодобыча»);

1 — отложения квартера: а — аллювиальные, б — ледниковые, волно-ледниковые; 2 — плиоценовые отложения полигенетических террас; 3 — вулканогенно-кремнистые образования позднемелового возраста; 4 — терригенный флиш позднемелового возраста; 5 — клинопироксениты, габбро; 6 — ультраосновные породы; 7 — валуны, галька, щебень, глина, песок; 8 — геологические границы; 9 — налив; 10 — продуктивные пласты: а — плотиковые, б — подвесные (цифры в кружках: 1 — подвесной нижнего течения, 2 — основной среднего течения, 3 — нижний правый террасы, 4 — нижний долины р. Левтыриньевой, 5 — склоновые, 6 — подвесной левой террасы, 7 — нижний левой террасы, 8 — погребенный, 9 — подвесной верхнего течения, 10 — нижний верховьев, 11 — нижний руч. Валунов, 12 — нижний руч. Базовый, 13 — нижний, 14 — террасовый, 15 — средний, 16 — верхний, 17 — склоновый, 18 — ложковый

1. Гранулометрический состав шлиховой платины россыпей Сейнав-Гальмознанского узла. По разведочным данным

Россыпь	Фракции, мм					Средняя крупность, мм
	–0,2	0,2—0,4	0,4—1,0	1,0—2,0	2,0—3,0	
Руч.Ледяной	$\frac{3,3^*}{3,3}$	$\frac{25,6}{28,9}$	$\frac{37,7}{66,6}$	$\frac{23,3}{89,9}$	$\frac{10,1}{100,0}$	0,74
Р.Левтыриновьям — буровые линии 183-207 (подвесной пласт)	$\frac{12,8}{12,8}$	$\frac{53,3}{66,1}$	$\frac{31,9}{98,0}$	$\frac{2,0}{100,0}$		0,34
Буровые линии 195-207 (основной пласт)	$\frac{3,8}{3,8}$	$\frac{23,5}{27,3}$	$\frac{70,9}{98,2}$	$\frac{1,8}{100,0}$		0,59
Буровые линии 211-272 (основной пласт)	$\frac{2,8}{2,8}$	$\frac{17,3}{20,1}$	$\frac{75,1}{95,2}$	$\frac{4,8}{100,0}$		0,64
Буровые линии 313-328 (основной пласт)	$\frac{1,9}{1,9}$	$\frac{9,8}{11,7}$	$\frac{71,9}{83,6}$	$\frac{16,4}{100,0}$		0,72
Среднее по месторождению	$\frac{3,6}{3,6}$	$\frac{20,2}{23,8}$	$\frac{71,1}{94,9}$	$\frac{5,1}{100,0}$		0,62
Руч.Пенистый (буровые линии 6-32)	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{11,6}{13,1}$	$\frac{73,7}{86,8}$	$\frac{9,0}{95,8}$	$\frac{4,2}{100,0}$	0,72
Руч.Ветвистый (буровая линия 4)	$\frac{1,9}{1,9}$	$\frac{21,2}{23,1}$	$\frac{73,4}{96,5}$	$\frac{3,5}{100,0}$		0,62

*Примечание: числитель — выход фракции, %; знаменатель — накопление, %.

свойство зональных массивов в отличие от концентрически-зональных типа Кондер, металлы которых всегда выносятся за их границы лишь одной выводящей долиной. Столь же отчетливы различия в геоморфологическом строении территорий разных геотектонических обстановок. Если концентрически-зональным массивам свойственны кольцевые морфоструктуры с формированием котловинной формы рельефа, то выраженность горных пород в рельефе складчатых областей существенно иная: здесь не наблюдается понижения относительных высот водоразделов, сложенных дунитами и пироксенитами.

Развитие эрозионного рельефа и, соответственно, россыпной платиноносности Сейнав-Гальмознанского узла осложнялось эпохами плейстоценовых оледенений. Воздействие ледников на речные долины было двояким. В пределах хребта, где начинается большинство водотоков, происходило выпаживание долин, а на площадях низкого рельефа роль ледников сводилась к захоронению ранее образованных эрозионных форм и их отложений. По мнению исследователей, эволюция рельефа рассматриваемой территории, определялась пятью циклами, которые отражены в сложнопостроенных продуктивных пластах,

2. Гранулометрический состав шлиховой платины по данным разведки и эксплуатации

Россыпь		Фракции, мм					Средняя крупность, мм
		–0,2(0,25)	0,2(0,25)—0,4(0,5)	0,4(0,5)—1,0	1,0—2,0	2,0—10,0	
Руч.Ледяной	Буровая линия -35	$\frac{0,2^*}{0,2}$	$\frac{4,0}{4,2}$	$\frac{54,3}{58,5}$	$\frac{19,7}{78,2}$	$\frac{21,8}{100,0}$	0,91
	Эксплуатационный блок С ₁ -29	$\frac{2,2}{2,2}$	$\frac{14,8}{17,0}$	$\frac{34,6}{51,6}$	$\frac{26,2}{77,8}$	$\frac{22,2}{100,0}$	0,88
Р.Левтыриновьям	Буровые линии 211-215	$\frac{4,0}{4,0}$	$\frac{26,0}{30,0}$	$\frac{68,0}{98,0}$	$\frac{2,0}{100,0}$	—	0,58
	Эксплуатация в районе буровых линий 211-215	$\frac{20,1}{20,1}$	$\frac{54,7}{74,8}$	$\frac{20,6}{95,4}$	$\frac{3,5}{98,9}$	$\frac{1,1}{100,0}$	0,39
Руч.Пенистый	Буровая линия 25	$\frac{0,8}{0,8}$	$\frac{8,9}{9,7}$	$\frac{76,4}{86,1}$	$\frac{11,1}{97,2}$	$\frac{2,8}{100,0}$	0,72
	Эксплуатационный блок С ₁ -8	$\frac{19,7}{19,7}$	$\frac{54,3}{74,0}$	$\frac{21,1}{95,1}$	$\frac{3,6}{98,7}$	$\frac{1,3}{100,0}$	0,39

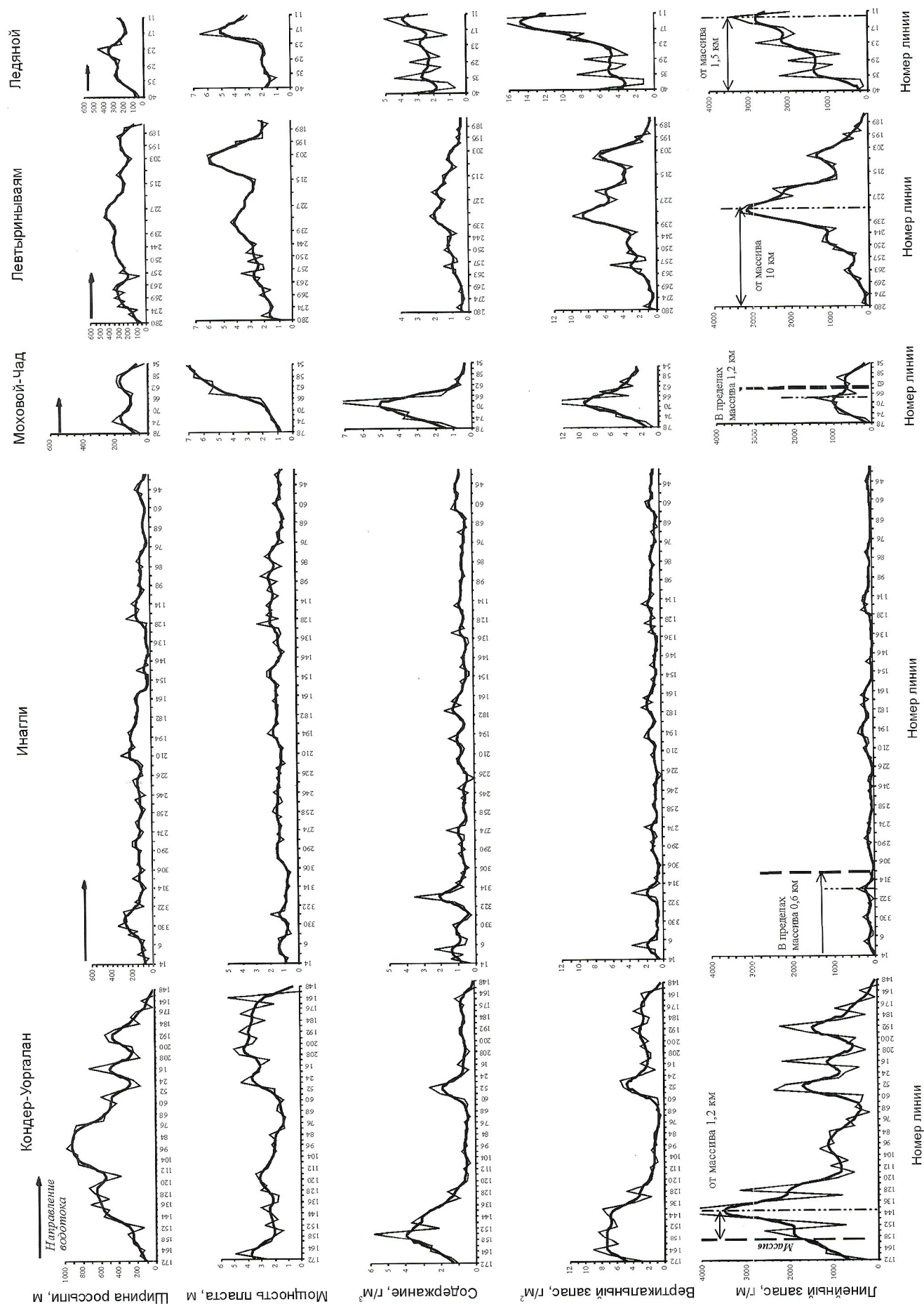


Рис. 3. Изменчивость параметров по простиранию россыпей платиноидов

особенно ярко проявившихся в крупных по запасам россыпях руч.Ледяной и р.Левтыриниваям (рис. 2) [2]. Как видно из приведенных схем, рельеф узла — следствие сложного взаимодействия морфоструктурных и климатических факторов, что сказалось на строении речных долин и связанных с ними россыпных месторождений. В этом отношении Сейнава-Гальмоэнанский узел несравненно сложнее Кондерского, Инаглинского и Моховой-Чад.

Россыпь руч.Ледяной достаточно наглядно показана на рис.2. Как видно, весьма неровный рельеф коренного ложа в

верхней части долины еще больше усложняется к ее низовьям. Столь же планомерно возрастает и сложность распределения россыпной платины — число пластов увеличивается, они становятся равноуровненными, наряду с приплотиковыми пластами появляются подвесные. Более того, в нижней части долины террасовый пласт без каких либо заметных изменений «зависает» над дном узкого каньона и становится подвесным. Е.Ю.Вильданова [2] выделяет на месторождении 6 типов пластов: нижний, средний, верхний, террасовый, ложковый, склоновый (см. рис. 2, Б).

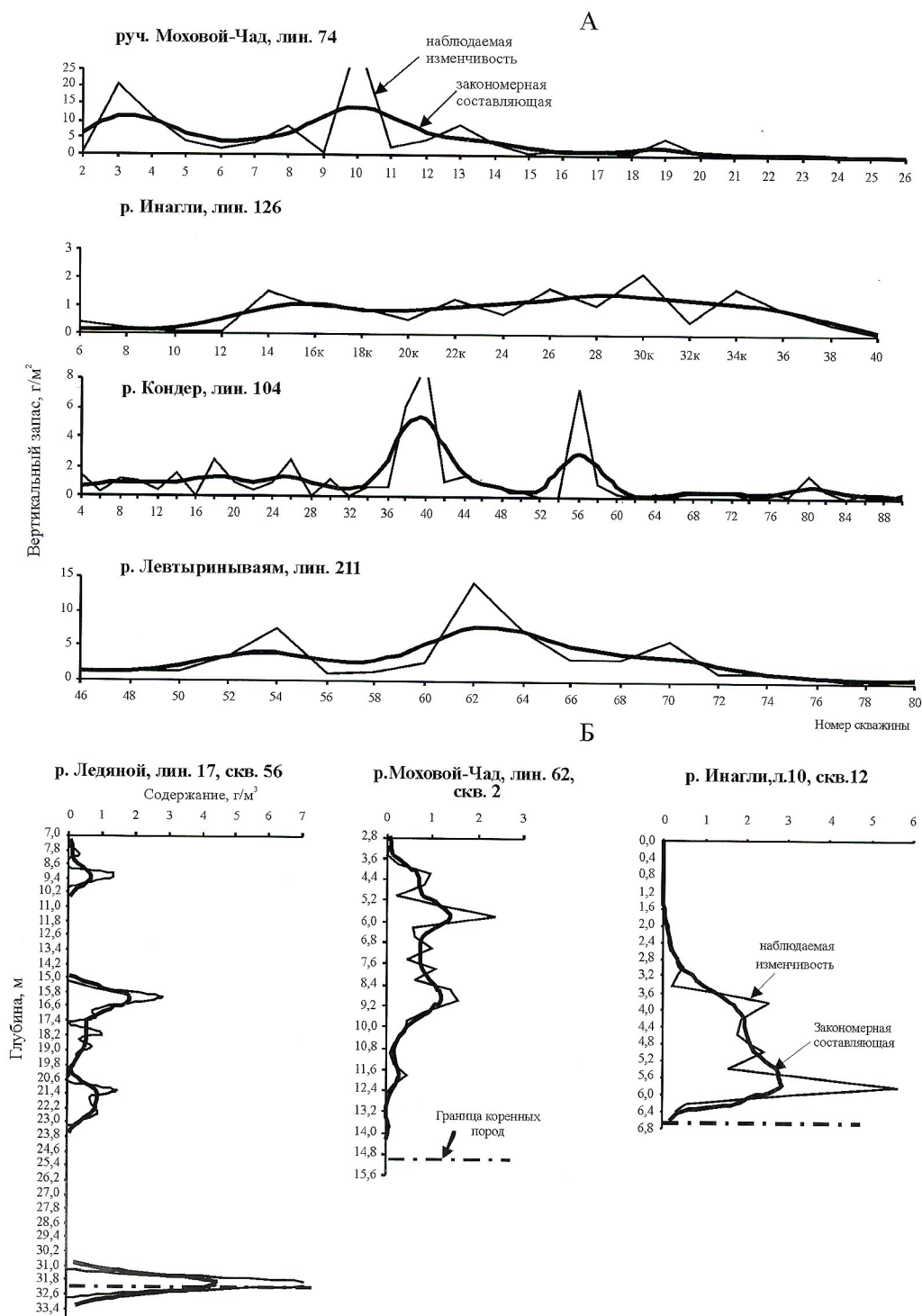


Рис. 4. Распределение шлиховой платины по ширине (А) и мощности (Б) пласта

3. Характеристика основных месторождений платиноидов Сибири и Дальнего Востока по неоднородности и сложности строения для выбора оптимальных средств и методики разведки

Характеристика, показатели			Месторождение				
			Кондер-Уорга- лан	Инагли	Моховой-Чад	Левтыриныва- ям ¹	Ледяной ¹
Крупность металла	Класс круп- ности, %	–0,25 мм	3,9—16,8	17,6	0,6	3,4—15,5	3,2
		+0,25—1,0 мм	55,4—82,1	74,3	14,9	92,8—83,4	63,3
		+1,0 мм	40,7—1,1	8,1	84,5	3,8—1,1	33,4
	Средняя крупность, мм		0,8—0,6	0,40	3,0	$\frac{0,67—0,38}{0,60}$	0,74
Параметры россыпи	Длина, км		60	36	5	10	4
	Ширина, м		570 (80—1000)	123	125	135—340	182
	Мощность торфов, м		3—26	2,9	$\frac{2—8}{3,1}$	$\frac{1,4—28,0}{7,7}$	6,2
	Мощность песков, м		$\frac{0,4—5,2}{2,5}$	1,4	3,1	$\frac{1,6—8,4}{3,2}$	2,7
	Среднее содержание, г/м ³		0,6—3,8	0,8	1,5	1,6	2,3
	Масштаб месторождения		Уникальное	Крупное	Среднее	Крупное	Крупное
Изменчи- вость	Радиус автокорреля- ции (R), м	По длине (ли- нейные запасы)	770	540	185	277—389	283
		По вертикали (содержания)	—	$\frac{0,38—0,6}{0,41}$	$\frac{0,6—1,1}{0,85}$	0,47—0,75	0,5
	Коэффи- ент вари- ации (K _{вар.}), %	Ширины рос- сыпи	27—65	61	—	21—45	49
		Мощности пес- ков	32—44	32	—	24—58	95
		Содержания металла	79—314	58	—	102—175	133
		Вертикальных запасов	79—314	59	—	53—165	182
	Неоднород- ность и сложность строения	ПЭН, %		$\frac{45—100}{76}$	$\frac{30—100}{85}$	$\frac{75—100}{93}$	$\frac{50—100}{87}$
Структурная группа		II	II	I	II	I	
Группа ГКЗ		2.1	3.1	3.1	2.1	3.1	
Разведочные средства			Траншеи, шур- фы, скважины УКБ-8"	Шурфы, сква- жины УКБ-8"	Скважины УКБ-8"		
Разведочная сеть			(400—200)× 10—20(40)	(400—200)× (20—10)	200×(10—20)	(400—200)× 20(10)	(200—100)×20
Интервал опробования			0,4—0,5	0,4	0,4	0,4	0,4

Примечание. 1. Данные по основному пласту. 2. Числитель — от ... до; знаменатель — среднее.

На россыпи р.Левтыринываям Е.Ю.Вильданова выделяет пласты: нижний (основной) среднего течения, подвесной нижнего течения, погребенный, нижний пласт верховьев, террасовые пласты, подвесные и склоновые пласты (см.

рис. 2, А). Нижний пласт среднего течения залегает на плотике. В нем сосредоточено 87% запасов месторождения.

Хорошо изучена важная для технологии разработки характеристика крупности полезного ископаемого россыпей

4. Классификация россыпных месторождений платиноидов по сложности строения

Группы сложности			Характеристика россыпей	Параметры россыпей					Россыпи платиноидов
По ГКЗ		Структурная группа		Запасы, кг	Длина, м	Средняя ширина, м		Мощность песков, м	
Группа	Подгруппа					общая	отдельных струй		
2	2.1	I-III	Аллювиальные крупные и средние, относительно выдержанные по ширине и мощности с неравномерным распределением металла и преобладанием обогащенных участков	>3000	>5000	>200	>200	До 10	Кондер, Левтыриниваям
	2.2	IV-V	Техногенные крупные и средние относительно выдержанные по ширине и мощности горной массы с весьма неравномерным распределением металла	>3000	>5000	>200	>200	Горная масса, до 10	
3	3.1	I-III	Аллювиальные средние и мелкие, выдержанные и невыдержанные по ширине и мощности с неравномерным распределением и чередованием бедных участков с обогащенными	До 3000	>3000	До 500	10—300	До 5	Левтыриниваям (верховья и участок среднего течения), Ле-дяной с руч.Сентябрь, Инагли, Моховой-Чад, Пенистый, Вет-вистый, Лев. Левтыриниваям, Базовый, Валунный, Кондер (нижний участок (л.л. 92-16))
	3.2	I-III	Аллювиальные, аллювиально-делювиальные, ложковые; средние и мелкие, изометричные и неправильной формы с неравномерным распределением металла	До 500	Параметры площадей: менее 10 тыс.м ² , 10—60 тыс.м ² , более 60 тыс.м ²			До 5	
4	-	IV-V	Техногенные, преимущественно мелкие и средние весьма сложного строения, выдержанные, не выдержанные по ширине с крайне неравномерным распределением металла	До 1000	По первичным россыпям		Горная масса, до 10		Ле-дяной с руч.Сентябрь, Пенистый, Инагли, Моховой-Чад

Корякии (таблицы 1 и 2) как по данным разведки, так и по данным эксплуатации.

При многофакторном анализе строения россыпей важнейшее место отводится разработке морфологических и концентрационных моделей месторождений [3, 6, 5, 7]. Характеристика линейных параметров и соотношений концентрационных неоднородностей, закономерностей изменения этих параметров в различных направлениях определяют масштабы объектов поисков и разведки, плотность и геометрию поисковой и разведочной сети, число необходимых пересечений, выбор технических средств, комплекс методов и типов разведочных систем. Для выбора методики опробования изучаются анизотропия строения россыпи, дается статистическая оценка изменчивости параметров (мощности песков, средних содержаний, вертикальных запасов) вдоль и поперек россыпи. Результаты геометро-статистических построений с целью оценки концентрационных и морфологических моделей платиноносных россыпей по их длине, ширине и мощности пласта показаны на рисунках 3 и 4. Отмечается общая закономерность в строении — при общей выдержанности параметров пластов четко проявляется гнездовый характер распределения металла во всех трех направлениях россыпи.

В табл. 3 сведены характеристики параметров и показателей по основным месторождениям платиноидов Дальнего Востока, определяющие неоднородность и сложность строения россыпей и в соответствии с этим выбираются оптимальные средства разведки. По геометро-статистическим показателям рекомендуется плотность сети разведки и методика опробования. Следует отметить, что для россыпей платиноидов, так же как и для традиционных россыпей золота, наиболее информативными признаками и факторами при создании разведочных моделей оказались 5 основных групп [7, 8, 10]:

длина и ширина россыпи, изменчивость мощности продуктивного пласта (морфологические факторы);

характер неоднородности строения, изменчивость концентрации металла (концентрационные факторы) и запасы горной массы и металла;

глинистость рыхлых отложений, соотношение фракций зерен платиноидов, характер коренных пород (вещественные факторы);

глубина залегания россыпи (мощность торфов), мерзлотно-геологические условия (горно-технические факторы);

надежность различных типов выработок и способов опробования (технические факторы).

Конечным результатом анализа геолого-геоморфологических, геологоразведочных и эксплуатационных данных, количественных и качественных оценок концентрационных и морфологических моделей явилась классификация россыпей платиноидов Дальнего Востока по неоднородности и сложности строения в соответствии с классификацией ЦНИГРИ и ГКЗ РФ [6, 7, 8, 9] для выбора методики разведки. Так, все аллювиальные россыпи платиноидов относятся к I—III структурным группам, по сложности строения к группе 2.1 или 3.1 по ГКЗ РФ. Принадлежность к той или иной группе по классификации ГКЗ РФ устанавливалась по степени сложности основных пластов, содержащих более 70% запасов месторождения (участка), учитывая размеры россыпи, морфологию и выдержанность пластов, крупность металла (табл. 4). Долинные россыпи рек Левтыриниваям и Кондер по своим параметрам и

строению относятся к месторождениям группы 2.1 как крупные и весьма крупные, относительно выдержанные по ширине и мощности пласта с неравномерным распределением металла и довольно редкими относительно бедными участками (см. табл. 3, рисунки 3, 4). Остальные объекты — россыпи ручьев Лебяжий, Сентябрь, Пенный, Ветвиный, Моховой-Чад, р.Инагли отнесены к группе 3.1 (см. табл. 3).

Учитывая горно-геологические признаки, а также результаты анализа данных опробования, наиболее крупные россыпи разделены на участки с разными характеристиками: россыпь р.Левтыриниваям — на 4 участка: верховье, средняя и нижняя части, притоки; россыпь р.Кондер — на 3 участка: в пределах массива, средняя и нижняя части. Таким же образом разделены на участки россыпи р.Инагли и руч.Моховой-Чад. Характеристики выделенных участков, их различия по морфологическим и концентрационным особенностям нередко требуют разной плотности сети, а также разных средств разведки.

Изученные и детально описанные реальные объекты могут рассматриваться как эталонные модели продуктивных пластов ведущих геолого-промышленных типов россыпей платины и использоваться в организациях МПР России и других, которые проводят оценочные, геологоразведочные и эксплуатационные работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беневолюский Б.И., Мочалов А.Г. Россыпи платиновых металлов // Россыпные месторождения России и других стран СНГ. — М.: Научный мир, 1997. С. 127—164.
2. Вильданова Е.Ю., Зайцев В.П., Кравченко Л.И. и др. Корякско-Камчатский регион — новая платиноносная провинция России. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2002.
3. Кривцов А.И., Гераков А.И. и др. Методика геометрического моделирования рудных тел месторождений колчеданного семейства для оптимизации оценочных и разведочных систем. — М., 1987.
4. Комплекс карт — экзогенная золотоносность и платиноносность Российской Федерации / Под ред. А.И.Кривцова. — М., 1997.
5. Кривцов А.И., Константинов М.М., Кузнецов В.В. и др. Система моделей месторождений благородных и цветных металлов // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 11—31.
6. Куторгин В.И., Будилин Ю.С., Джобадзе В.А. и др. Многофакторные модели аллювиальных россыпных месторождений золота и платиноидов как основа классификации в геологоразведочных целях // Руды и металлы. 1992. С. 81—88.
7. Куторгин В.И., Будилин Ю.С., Джобадзе В.А. и др. Многофакторные модели аллювиальных россыпных месторождений золота и платиноидов: Атлас. — М., 1994.
8. Куторгин В.И., Джобадзе В.А., Тарасов А.С. и др. Система оценки и разведки россыпных месторождений золота и платиноидов на основе многофакторных моделей. — М., 2002.
9. Методика разведки россыпей золота и платиноидов / Под ред. И.Б.Флерова и В.И.Куторгина. — М.: ЦНИГРИ, НТК «Геоэксперт», 1992.
10. Методические рекомендации по применению классификации запасов твердых ископаемых к россыпным месторождениям. Инструкция ГКЗ РФ. — М., 2000.
11. Мочалов А.Г., Николаева Л.А. Изучение самородного золота и платиноидов / Методика разведки россыпей золота и платиноидов. — М.: ЦНИГРИ, НТК «Геоэксперт», 1992. С. 181—196.
12. Хорошилова Т.С. Строение и эволюция кольцевых хребтов щелочно-ультраосновных массивов на Алданском нагорье (Кондер, Чад). Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. 1990.
13. Экзогенная золотоносность и платиноносность Российской Федерации. Объяснительная записка к комплексу карт / Составители: М.М.Константинов, В.И.Кочнев-Первухов, А.И.Кривцов и др. — М., 1997.

Анализ минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья России и пути ее развития

И.В.КОВАЛЕНКО, Т.Г.КОСТЕЛОВА (ВНИИСИМС)

Цветные камни — это группа нерудных полезных ископаемых, декоративные качества которых позволяют использовать их в ювелирном деле или для производства художественно-камнерезных изделий прикладного характера. В данную группу входят минералы, моно- и полиминеральные агрегаты, биогенные образования, модифицированные природные камни.

К 90-м годам XX столетия подразделениями Министерства геологии СССР была сформирована минерально-сырьевая база цветных камней Российской Федерации, в которой к настоящему времени госбалансом по 26 видам самоцветов учтено 105 месторождений. Среди них: 24 месторождения ювелирных камней (аметист, берилл, благородные корунд и опал, демантоид, изумруд, турмалин, хризолит, хромдиопсид), 52 — ювелирно-поделочных (агат, амазонит, жадеит, лазурит, нефрит, переливт, родонит, сердолик, халцедон, чароит, янтарь), 29 — поделочных (анортозит, гипс поделочный, обсидиан, оникс мраморный, офикальцит, серпентинит, яшма), одно месторождение коллекционного граната. При этом на ювелирные камни приходится около 4% от общих запасов камнесамоцветного сырья, ювелирно-поделочные — 58%, поделочные — 38%. В последние годы были открыты и ставились на учет только месторождения ювелирно-поделочных камней (нефрит, серпентинит, офикальцит). В составе минерально-сырьевой базы России отсутствуют месторождения таких дефицитных самоцветов, как александрит, бирюза, топаз, хризопраз, шпинель и другие, хотя предпосылки для их поиска имеются.

Данные о движении запасов цветных камней за 10 лет (табл. 1) свидетельствуют о том, что в постоянной разработке находятся месторождения турмалина, янтаря и нефрита. В последние 6 лет разрабатывается Борусское месторождение жадеита, 2 последних года — поделочного гипса. Следует обратить внимание на прекращение добычных работ на месторождении чароита. На берилловых, аметистовых, родонитовых, агатовых и сердоликовых объектах добычные работы в последние 7 лет не ведутся вовсе, а на месторождениях амазонита и коллекционного граната проводятся только при возникновении потребности в камне.

Оцененные ресурсы цветных камней, в частности ювелирного сырья, сконцентрированы преимущественно на Южном и Среднем Урале и в Южно-Сибирском регионе (рис. 1).

Роль камнесамоцветных провинций в концентрации прогнозных ресурсов заметно отличается и для отдельных самоцветов отражена на диаграммах (рис. 2). Для их построения использованы суммарные авторские и утвержденные прогнозные ресурсы категорий P_1+P_2 по всем камням за исключением демантоида и нефрита, для которых использованы только утвержденные прогнозные ре-

сурсы. Анализ диаграмм показывает, что наибольшие перспективы для расширения минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья имеют Уральская (IV), Енисейско-Алтае-Саянская (IX), Дальневосточная (XII), Корякско-Камчатская (XVI) провинции. Перспективными на поиски являются также слабо изученные территории таких регионов как Восточная Сибирь, Северо-Восток и Дальний Восток. На отдельные виды цветных камней, включая коллекционные разновидности, целесообразна переоценка Карело-Кольского региона.

Заметную роль в структуре минерально-сырьевой базы играет масштаб месторождений. Их ранжирование по объемам запасов сырья или кристаллосырья категорий В, С позволило выделить среди месторождений: уникальные, крупные, средние и мелкие. В табл. 2 приведено число таких месторождений по их масштабу.

Ранжированию подвергались все месторождения, как с балансовыми, так и предварительно оцененными, так называемыми, авторскими, запасами. В разряд уникальных попадают только месторождения хромдиопсида, чароита, янтаря; крупных: 2 — аметиста, по 1 — хризолита, турмалина, амазонита, жадеита, по 2 — лазурита и родонита, анортозита, 3 — яшмы. При этом роль уникальных и крупных месторождений в ресурсном потенциале цветных камней России не соизмерима с вкладом средних и мелких. Анализ распределения запасов цветных камней по месторождениям разной масштабности показывает, что 78—90% принадлежит ограниченному числу крупных и уникальных месторождений (табл. 3.). При значительном общем числе мелких месторождений их ресурсы составляют только первые проценты.

Данные об обеспеченности сырьем добывающих предприятий имеются лишь для некоторых месторождений. Так, срок обеспеченности добычи балансовыми запасами жадеита на месторождении Пусьерка составляет 9 лет, родонита на Корельском — 11 лет, торгового турмалина на Малханском — 14 лет, амазонита на Плоскогорском — 32 года, и только янтаря на двух месторождениях в Калининградской области — 90 лет, нефрита на пяти месторождениях Бурятии — длительный период.

Геологоразведочные работы на цветные камни проводятся в настоящее время в весьма скромных объемах, хотя существует определенный потенциал для прироста запасов, в частности таких ограниченных камней как изумруд, александрит, благородный корунд, берилл и др. При этом следует отметить, что даже незначительное оживление поисково-оценочных работ в Карело-Кольском, Уральском, Восточно- и Южно-Сибирском регионах в конце 90-х годов прошедшего столетия дало прирост прогнозных ресурсов александрита, граната, берилла, хризолита, сподумена, агата, родонита и др. [1]. Из ювелирно-поделочных камней хорошие перспективы на обнаружение высокосор-

1. Движение запасов цветных камней (данные Государственного баланса запасов)

Камни	Месторождения	1993 г.	1994 г.	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.
Янтарь	Пальменикенское	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Приморское	+		+	+	+	+	+	+	+	+
Турмалин	Малханское	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Чароит (Якутия)	Сиреневый камень		+	+	+	+	+	+	+	+	
Хромдиопсид	Инагли			+	+	+	+		+	+	+
Нефрит	Кавоктинское		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Оспинское	+				+	+	+			+
	Горлыкгольское	+	+	+	+	+					+
	Голубинское	+			+	+	+		+	+	
	Буромское								+	+	+
	Глыба Д-7									+	
	Зун-Оспинское					+					
Жадеит	Борусское					+	+	+	+	+	+
Берилл	Шерловогорское	+	+	+							
Аметист	Капаевское			+							
Гранат коллек- ционный	Синереченское									+	
Амазонит	Плоскогорское		+					+			
Родонит	Кургановское	+	+								
	Ирнимийское	+									
Яшма	Гора Полковник	+	+	+							
Агат	Западное	+									
Сердолик	Бурундинское	+									
Гипс	Егоршины Ямы									+	+
	На Шуму									+	+
	Федоровское									+	+
	Яковлевское										+

Примечание. 1. Добычные работы +. 2. Месторождения цветных камней, поставленные на баланс в 2002—2003 гг.: гипс — Егоршины Ямы, На Шуму, Федоровское, Яковлевское, Денисовское, Одиновское; гранат коллекционный — Синереченское; жадеит — Уривок; нефрит — Поле Чудес, Хуша Гол; анортозит — Геранское; обсидиан — Носичанское; мраморный оникс — Ахметовское; халцедон — Джегута I; яшма — Лутовское.

тного сырья имеют месторождения жадеита, лазурита, родонита, амазонита, агата, янтаря.

Краткий анализ рынка сбыта камнесамоцветного сырья показывает, что имеющиеся ресурсы могут обеспечить России ведущие позиции лишь по отдельным видам самоцветов. Прежде всего, это уральский демантоид, саянский нефрит, сибирские хромдиопсид и чароит. В случае возобновления геологоразведочных работ в Уральской

изумрудноносной полосе могут вернуться на мировой рынок российские изумруд и александрит.

I. Состояние минерально-сырьевой базы цветных камней Российской Федерации позволяет сделать следующие выводы:

1. Степень использования минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья весьма низка. Из общего числа месторождений, числящихся на госбалансе, в стадии до-

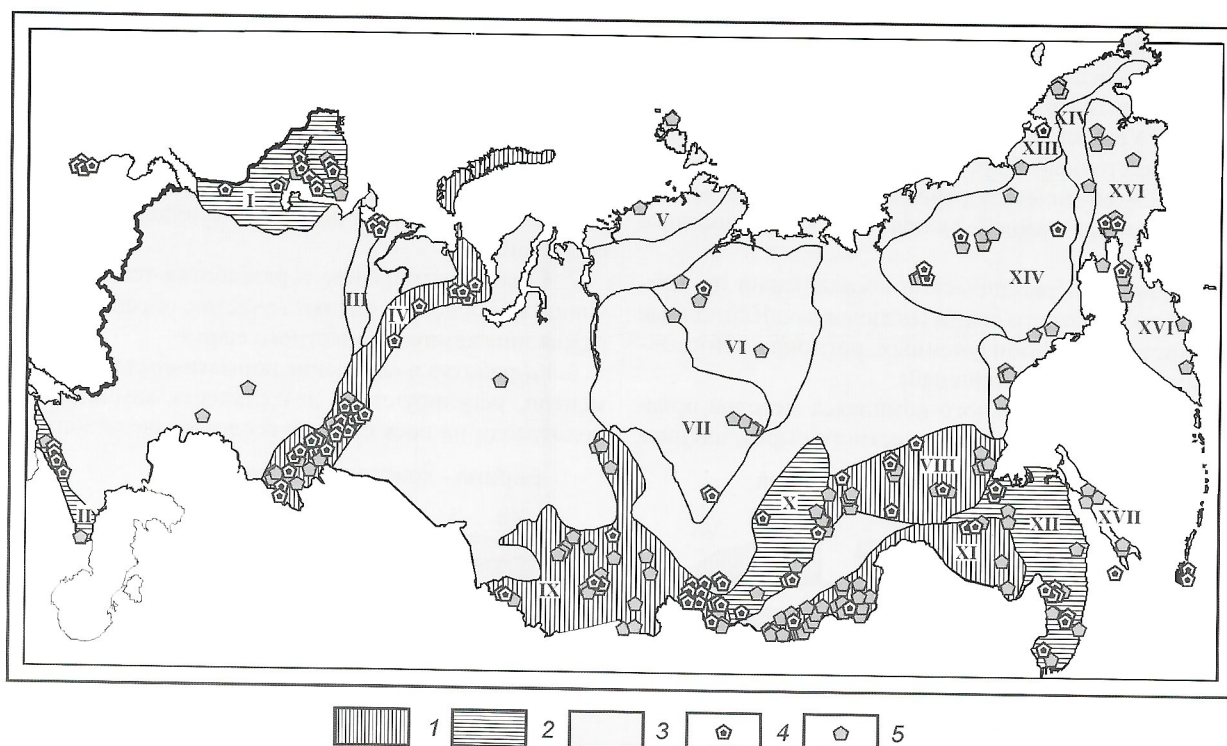


Рис. 1. Схема размещения месторождений и перспективных проявлений камнесамоцветного сырья:

1 — месторождения; 2 — проявления; удельный вес провинций в минерально-сырьевой базе: 3 — высокий, 4 — средний, 5 — низкий; провинции: I — Карело-Кольская, II — Кавказская, IV — Пойхойско-Уральская, VI — Оленёкско-Анабарская, VIII — Алдано-Становая, IX — Енисейско-Алдано-Саянская, X — Забайкальская, XI — Монголо-Охотская, XII — Дальневосточная; области: III — Тиманская, V — Таймырская, VII — Тунгусская, XIII — Чукотская, XIV — Колымская, XV — Охотско-Чукотская, XVI — Корякско-Камчатская, XVII — Сахалинская

бычи находятся 25%, подготавливается к освоению 6%, числится в госрезерве 69%, в стадии разведки месторождений нет.

2. Практически по всем видам цветных камней отсутствует прирост запасов и прогнозных ресурсов.

3. В условиях добычи сырья без сопровождающих геологоразведочных работ происходит истощение минерально-сырьевой базы.

4. В минерально-сырьевой базе камнесамоцветного сырья России существует дефицит высокосортного сырья, особенно — ювелирных камней.

5. Данные об обеспеченности сырьем добывающих предприятий имеются лишь для единичных месторождений и оцениваются по турмалину, бериллу, жадеиту и другим высококонъюнктурным камням в сроки не более 10 лет.

6. Несовершенство существующей правовой базы недропользования применительно к камнесамоцветной отрасли делает возможными варварскую отработку месторождений, нелегальную добычу, обработку и реализацию цветных камней (изумруд, александрит, демантоид, аметист и др.), что приводит к ощутимым потерям государства.

7. Отмечается низкий уровень комплексного использования ресурсов месторождений.

8. Применяемые технологии извлечения, обогащения, сортировки, оценки качества и обработки камнесамоцветного сырья требуют модернизации.

В последнее десятилетие существенно сокращены тематические и геологоразведочные работы на камнесамоцветное сырье. Поэтому большинство сведений об объектах

цветных камней устарело. Таким образом, необходимо возобновление работ по ревизии и переоценке имеющейся минерально-сырьевой базы, как на локальном, так и региональном уровнях.

Исходя из анализа современной ситуации в камнесамоцветной подотрасли, следует сосредоточить усилия по приросту минерально-сырьевой базы на перспективных территориях и ориентировать геологоразведочные работы поисковой и оценочной стадий на высококонъюнктурные дорогостоящие виды цветных камней, пользующихся стабильным спросом (изумруд, александрит, рубин, сапфир, демантоид, благородный опал, аквамарин, топаз, турмалин, ювелирные жадеит и нефрит, хромдиопсид и др.) [2, 3, 4]. Степень изученности территории Российской Федерации на цветные камни позволяет сделать выводы о необходимости постановки преимущественно средне-, крупномасштабных и детальных поисковых и оценочных работ на цветные и коллекционные камни в пределах перспективных площадей Уральского, Дальневосточного и Карело-Кольского регионов. На слабоизученных территориях Восточной, Южной Сибири (Северо-Байкальский и Мамско-Чуйский районы) и Северо-Востока России целесообразно проведение прогнозно-поисковых работ.

Следовательно, проблемы, стоящие перед камнесамоцветной подотраслью, позволяют сформулировать две основные группы задач по развитию минерально-сырьевой базы на ближнюю и дальнюю перспективу:

1. Развитие минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья в направлении прироста запасов и прогнозных ресурсов видится в следующем:

1. Переоценка минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья перспективных площадей с целью прироста ресурсов дефицитного высокосортного сырья, в т.ч. коллекционного: Уральский (первоочередной), Южно-Сибирский, Дальневосточный, Карело-Кольский регионы.

2. Геолого-экономическая ревизия ресурсной базы всего перечня цветных камней, включая их коллекционные разновидности.

3. Прогнозно-минерагенические исследования на комплекс камнесамоцветного сырья (включая коллекционные разновидности) в слабоизученных регионах (Восточно-Сибирский, Северо-Восточный).

4. Разработка рационального комплекса методов поисков конкретных видов камнесамоцветного сырья, начиная

с дефицитных высококонъюнктурных его разновидностей с ориентацией на высокосортное сырье.

II. Повышение эффективности использования минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья должно осуществляться в следующих основных направлениях:

1. Разработка и внедрение в практику методов стимулирования комплексных подходов к использованию месторождений.

2. Совершенствование и разработка технологий извлечения, обогащения, оценки качества, обработки и облагораживания камнесамоцветного сырья.

3. Разработка и внедрение нормативных правовых документов, регулирующих деятельность камнесамоцветной подотрасли на всех стадиях геологоразведочного процес-



Рис. 2. Удельный вес провинций и областей в прогнозных ресурсах отдельных цветных камней:

см. услов. обозн. к рис. 1

2. Распределение месторождений цветных камней по масштабам минерализации

Класс камня	Уникальные	Крупные	Средние и мелкие
Ювелирный	1 (хромдиопсид — Инагли)	4 (аметист — Ватиха, Хасаварка; турмалин — Малханское; хризолит — Кугдинское)	19
Ювелирно-поделочный	2 (чароит — Сиреневый Камень, янтарь — Приморское)	8 (амазонит — Плоскогорское; агат — Шайтанское, анортозит — Сайболахское; лазурит — Малобыстринское, Чернушка; нефрит — Оспинское; родонит — Бородулинское, Гагарское)	55
Поделочный	—	8 (змеевик — Беденское, Григорьевское, Северо-Шабровское, Шабровское; офикальцит — Алзагайское, Черешковское, яшма — Ревневское, Северо-Калиновское)	31

3. Удельный вес разномасштабных месторождений в суммарных (балансовых, утвержденных, авторских) запасах цветных камней

Масштаб месторождения	Класс камней		
	Ювелирные, кг/%	Ювелирно-поделочные, т/%	Поделочные, т/%
Уникальные	(1) $\frac{38\ 475,5}{27}$	(2) $\frac{234\ 311}{53}$	
Крупные	(4) $\frac{81\ 818,8}{58}$	(7) $\frac{113\ 646}{25}$	(7) $\frac{847\ 919}{90}$
Средние	(6) $\frac{18\ 148,1}{13}$	(12) $\frac{86\ 632}{19}$	(9) $\frac{88\ 137}{9}$
Мелкие	(10) $\frac{1997,5}{2}$	(42) $\frac{11\ 933}{3}$	(20) $\frac{1\ 232}{1}$

Примечание. Числитель — запасы сырья (кристаллосырья), знаменатель — удельный вес запасов, скобки — число месторождений.

са, добычи, переработки сырья и реализации готовой продукции.

4. Мониторинг состояния минерально-сырьевой базы с использованием современных компьютерных технологий.

5. Мониторинг внутреннего и внешнего рынков камне-самоцветного сырья.

Пути оживления камнесамоцветной отрасли, на взгляд авторов, лежат, не в последнюю очередь, в реанимации поисковых и поисково-оценочных работ на перспективных территориях; комплексной оценке объектов на ювелирные, ювелирно-поделочные, декоративные, коллекционные, строительные и технические материалы; создании технологической цепочки: поиск—оценка—разведка—добыча—выпуск и реализация товарной продукции. Важен также поиск новых нетрадиционных подходов к использованию цветного камня, более широкое применение техно-

логий облагораживания несортового сырья, поворот к внутреннему рынку самоцветов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотов К.К., Рапопорт М.С., Сурганов А.В., Хрылов В.Н. Рудный потенциал Ханты-Мансийского автономного округа. — Екатеринбург—Ханты-Мансийск, 2001.
2. Коваленко И.В., Костелова Т.Г., Шуляева Л.Н. и др. Сводная ресурсная карта цветных камней России // Разведка и охрана недр. 2004. № 1. С. 2—6.
3. Полянин В.С., Полянина Т.А. Прогнозно-минерогеническая оценка территории России на апоультрамафитовое камнесамоцветное сырье // Тр. 5 Международной конференции «Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение». 10—14 сентября 2001 г. Т. 2. С. 446—457. — Александров, 2001.
4. Юсупов А.А. и др. Мировой рынок цветных камней и минералов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1999. № 4. 1999. С. 52—58.

Геолого-экономический анализ минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья Российской Федерации (берилл, топаз)

А.В.ТУРАШЕВА (ВНИИСИМС)

Обширное наследие отечественной геологической отрасли требует переосмысления в новых реалиях, оценки перспектив его использования и развития. Важнейшим звеном такого рода исследований является геолого-экономический анализ территории России на различные виды полезных ископаемых.

Камнесамоцветное и коллекционное сырье в своем удивительном многообразии занимает важное место, поскольку придает дополнительное звучание статусу государства как сокровищницы мира и создает возможности пополнения его бюджета, особенно по профилю драгоценных камней.

Работы Всесоюзного научно-исследовательского института синтеза минерального сырья (ВНИИСИМС) в сотрудничестве с Центральным научно-исследовательским геологоразведочным институтом нерудного сырья (ЦНИИГеолнеруд), «Центркварц», «МузейСамоцветы» направлены на формирование и мониторинг баз данных, составление карт размещения и прогнозно-минералогических карт цветнокаменного и декоративно-коллекционного материала, поиск методов облагораживания их некондиционных разновидностей. Наряду с этим проводится геолого-экономический анализ территории Российской Федерации на ювелирные и ювелирно-поделочные камни и к настоящему времени завершен по наиболее приоритетным разновидностям: рубины, сапфиры, изумруды, alexandrites, демантоиды в декоративно-коллекционных материалах, аметисты [6, 8].

Методические принципы, положенные в основу анализа, приведены в соответствующих публикациях [1, 5, 6, 8] и сводятся к следующим этапам:

1. Стоимостная и геолого-экономическая переоценка отдельных месторождений согласно рекомендациям (единому стандарту) ВИЭМС (1997, 2002) и составление на ее основе геолого-экономического паспорта объекта с указанием его местонахождения, роли в общем балансе страны, изученности по этапам геологоразведочных работ и освоения, геологической характеристики, горно-техническим условиям эксплуатации, кондициям разработки, результатам современного пересчета экономических показателей по разным вариантам освоения.

2. Анализ минерально-сырьевой базы, осуществляемый согласно разработанным геолого-экономическим параметрам с целью выявления комплексного рейтингового показателя для камнесамоцветных провинций и субъектов Российской Федерации. К числу таких параметров относятся: уникальность и сортность камня; запасы (включая прогнозные ресурсы, приведенные к условной кат. С₂) всех видов сырья; потенциальная и потенциальная извлекаемая ценность недр, степень изученности; способ и глубина разработки, освоенность района; экономическая эффективность разработки: 1) в сырье, 2) в продукции (по исходным технико-экономическим показателям с индексом-дефлятором); наличие перспективных неопределенных ресурсов в провинции и др. [1, 3, 6].

В данной статье приведены результаты геолого-экономического анализа минерально-сырьевой базы берилла и

топаза Российской Федерации, проведенного исходя из положений конъюнктуры за 2000—2005 гг. (А.А.Юсипов, Е.П.Мельников, Г.Мишина, К.Розенберг, К.Янова), материалов за 1980—2003 гг. (В.М.Смертенко, Г.А.Юргенсон, В.Н.Кудрявцев, М.Б.Аринштейн, В.П.Демочкин, А.Н.Серков; В.Н.Данилов, Д.И.Удовенко, М.Б.Федоренко, В.Н.Бронников, В.В.Дмитриевский, В.А.Беляев и др.).

В качестве отправной точки использована база данных ВНИИСИМС и ФГУ «МузейСамоцветы» (Р.В.Коваленко, Т.Г.Костелова, Л.Н.Шуляева, Е.Е.Драмшева).

Сведения по конъюнктуре. Берилл (аквамарин, гелиодор, воробьевит и др.) и топаз, изменяя цветное многообразие, остаются неизменными в десятке популярных самоцветов. Лучшие в мире ювелирные и коллекционные камни происходят из Бразилии, в меньшей степени Мадагаскара, США, Мексики. Последние годы основные поставки производят Пакистан, Шри-Ланка, Нигерия.

Источник указанных минералов в России — известные около 300 лет копи Мурзинские на Среднем Урале и Шерловогорские в Забайкалье. И хотя добычные работы на российских объектах официально не ведутся (с 1995 г.), появляется информация о присутствии на мировом рынке уральских топазов, шерловогорских бериллов. Интернет-сайты продаж экспонируют образцы в сырье, кабошонах и декоративно-коллекционных материалах с объектов Шерловая гора, Адунчелонское, Борщовочного кряжа, Супруновское. На российских ярмарках самоцветов представлен в основном волынский топаз, реже бразильские аквамарины.

Цены мирового рынка на бериллы в огранке в течение некоторого времени остаются на уровне 10—50 долл./кар, аквамаринов достигают 400—850 и топазов 150—450 долл./кар. Цены внутреннего рынка на бериллы в сырье для огранки колеблются от 15 до 120 руб./г, для кабошонов 15 руб./г, изделия в виде кабошонов (3—47 кар.) стоят от 142 до 513 руб./кар. (средняя 285 руб./кар.), на коллекционные разности от 1,5 до 1740 руб./г., также в широком диапазоне от 5 до 2500 руб/г оценивается топаз в декоративно-коллекционном материале.

Суммарная добыча по Забайкальским и Мурзинским объектам берилла и топаза в соответствии с имеющимися официальными далеко не полными сведениями за весь период эксплуатации с 1796 г. составила: берилл — 5318,2 кг (в т.ч. аквамарин — 2520 кг), топаз — 297,4 кг (в т.ч. коллекционный 198,5 кг), друзовый материал 247 кг и 7128,9 дм², сопутствующий турмалин около 100 кг, морион и горный хрусталь 3,6 т. Сравним эти данные с данными за 1983—1987 гг. для Бразилии, где было добыто порядка 60 т аквамарина (от 4,7 до 17 т ежегодно), 16,8 т — топаза (в диапазоне 0,4—6,6 т) [2], в то время как добыча шерловогорских аквамаринов, гелиодоров и топазов в периоды подъема не превышала 80—300 кг в год.

Сведения по минерально-сырьевой базе. В Российской Федерации из 113 объектов берилла и 25 топаза, в большинстве комплексных, лишь 23 оценены ресурсами и по 6 есть сведения о наличии и добыче коллекционного

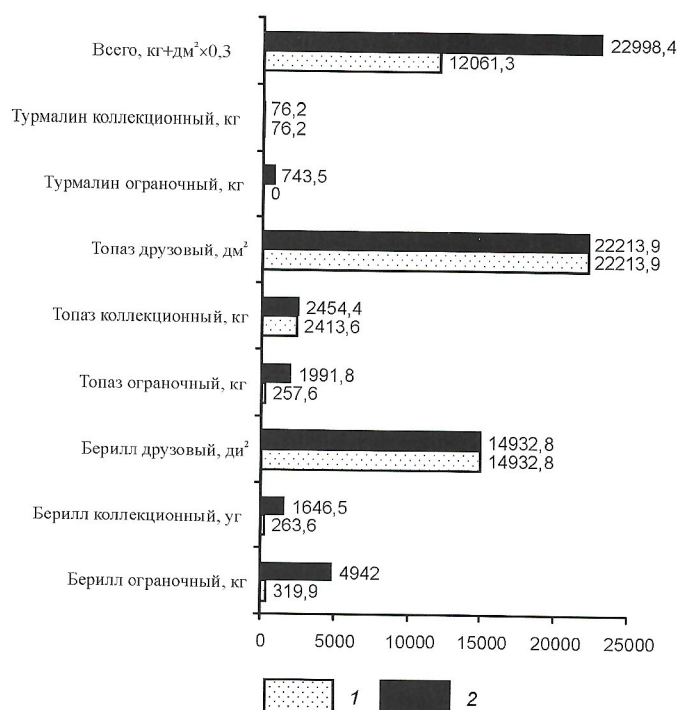


Рис. 1. Возможности прироста запасов по основным объектам берилла и топаза Российской Федерации:

1 — запасы, 2 — запасы и прогнозные ресурсы, приведенные к кат. С₂

сырья. Из этих 29 объектов предметом настоящего анализа стали наиболее значительные и те, на которых ресурсы декоративно-коллекционного материала или оценены количественно, или могут быть спрогнозированы по имеющейся информации фактической добычи, разбраковки сырья, структуре ценности реализованной продукции и др. Таких объектов 11. Размещаются они в 3 регионах (Уральский — 3, Дальневосточный — 2, Южно-Сибирский — 6). Большинство объектов (8) приходится на Мурзинские копи в Свердловской области и Забайкальские (Шерловогорские и др.) в Читинской.

Запасы сортового камнесамоцветного сырья числятся на 4 объектах (утвержденные государственным балансом — на Шерловогорском и Супруновском месторождениях берилла, авторские — на месторождении топаза Мурзинском (Могол) и проявлении берилла Светлинское). Всего насчитывается: берилла ограночного — 319,9 кг (в т.ч. 316 кг балансовых), коллекционного — 263,6 кг, друзового 14 932,8 дм³, топаза ограночного — 257,6 кг, коллекционного — 2413,6 кг, друзового — 22 213,9 дм³, турмалина коллекционного — 76,2 кг. В общей сложности 917,3 кг и 37 146,7 дм³.

Прогнозные ресурсы, утвержденные на 1.01. 2003 г., составляют: сортового берилла по 9 объектам 15 567,4 кг (кат. Р₁ 764,8; Р₂ 13672,6 и Р₃ 1130); сортового топаза по 4 объектам 789 кг (кат. Р₁ 13; Р₂ 500 и Р₃ 276). Большинство проявлений, чаще комплексных, размещается в Читинской области (Водораздельное и Шерловогорское месторождения, Кур-Куринское и Адун-Челонское поля, Соктуйское проявление, Нижнееловское поле) и по одному — в

Амурской области (Хунхо), Хабаровском крае (Этматинское), Иркутской области (Верхнекутумское) и Якутии (Полуосненская зона).

Общие по России запасы в сумме с прогнозными ресурсами сортового сырья (с учетом авторских) в приведенных к условным значениям запасов кат. С₂ составят, по нашим расчетам (рис. 1), всего 11 854,4 кг и 37 146,7 дм³. Эти показатели повышают перспективы на берилл и топаз в 15 и 8 раз, в т.ч. на коллекционные разности берилла — в 6,2 раза, топаза — лишь на 15%. С учетом сопутствующих 33 996,8 кг горного хрусталя и раухтопаза, 4417,6 кг коллекционного мориона получаем порядка 60 т самоцветного сортового материала.

Минерально-сырьевые ресурсы (запасы, в т.ч. в условной кат. С₂) берилла и топаза распределяются по регионам следующим образом (в %): Уральский 63, Южно-Сибирский 35, Дальневосточный 2, из них по субъектам и объектам Российской Федерации (рис. 2, А, Б).

Степень разведанности пообъектно иллюстрируется диаграммой рис. 3.

Максимальный прирост запасов из ресурсов (порядка 95% от общих) ожидаем в Южно-Сибирском регионе — Забайкальские копи, первые проценты приходятся на Уральский (за счет друзового берилла с турмалином проявления Тысячица) и Дальневосточный регионы (Этматинское, Хунхо).

Согласно общероссийской градации объектов камнесамоцветного сырья [Уральский горный журнал. 1998. №3]

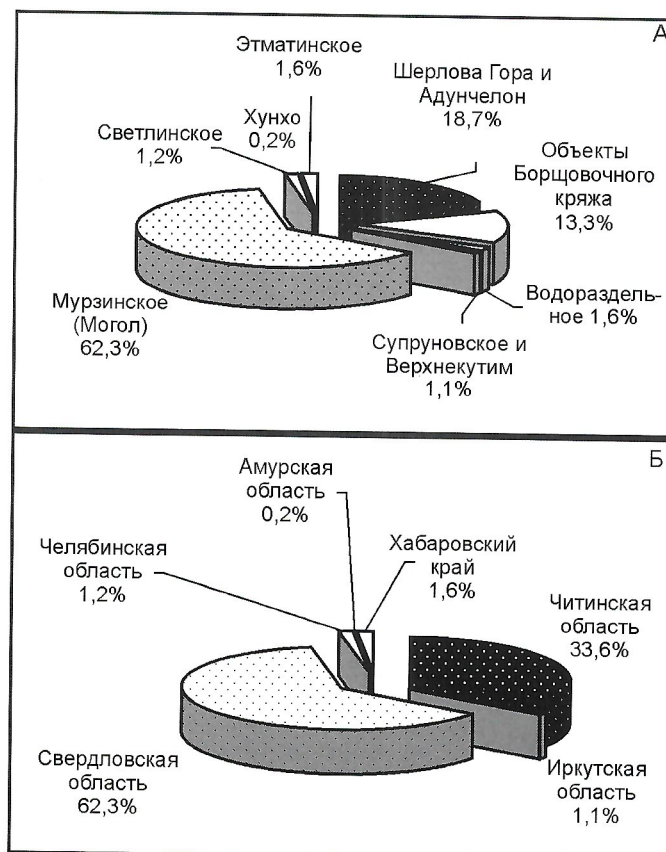


Рис. 2. Распределение минерально-сырьевых ресурсов берилла и топаза с коллекционным сырьем по объектам (А) и субъектам (Б) Российской Федерации

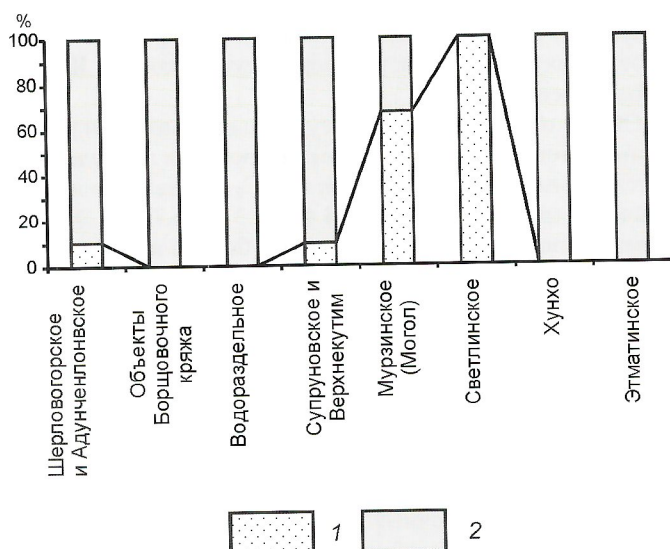


Рис. 3. Степень разведанности объектов берилла и топаза с коллекционным сырьем:

1 — запасы; 2 — прогнозные ресурсы, приведенные к кат. C_2

Мурзинское (Могол) и *Шерловгорское* — средней размерности (50—500 кг ювелирного камня, от десятков тысяч тонн — коллекционного), остальные — мелкие (учтены запасы, в т.ч. условно приведенные к кат. C_2).

Большинство месторождений и проявлений относится к пегматитам гранит-лейкогранитовой и гнейсо-гранитовой формациям, имеют приповерхностное залегание с открытым или комбинированным способом освоения.

Рейтинг объектов по качеству берилла и топаза, рассчитанный в соответствии с техническими условиями разных лет, а также описанием установленной в отдельных случаях сортности и цен по интернет-сайтам с 50% скидками: представлен месторождениями Мурзинское (Могол) и Шерловгорское, объекты Борщовочного края, проявления Водораздельное, Светлинское, Супруновское, Хунхо, Этматинское.

Потенциальная ценность (рис. 4) объектов берилла и топаза с учетом всех видов сопутствующих полезных компонентов составит по субъектам Российской Федерации (в млн.руб.): Южно-Сибирский регион — 678,8 (в т.ч. по Забайкальским копиям — 678,1), Уральский — в зависимости от цен реализации 705,5—1132,9 (в т.ч. по Мурзинским копиям 702,6—1130), Дальневосточный — 1,4. Всего 1385,3—1812,7 млн.руб. или 49,5—64,7 млн.долл. при курсе 28 руб/долл.

Сравнительный анализ, т.е. ранжирование, производилось по 9 геолого- и технико-экономическим показателям, бальность оценок измерялась числом объектов (в данном случае от 1 до 7). Сумма мест определяла рейтинг оцениваемых объектов.

Мурзинское (Могол) месторождение топаза с проявлением *Тысячница* в Свердловской области — наиболее крупное, изученное (в т.ч. и на декоративно-коллекционные материалы), концентрирующее до 75% ресурсов топаза и не менее половины потенциальной ценности, с возможностью создания горнодобывающего предприятия на срок 16—32 года, ранжировано на 1 месте, сумма мест — 12.

Этот объект — единственный с реально числящимися ресурсами на знаменитых некогда *Мурзинских коях*, в большинстве своем с поверхности отработанных. Одна из лучших — копь Мокруша (на месторождения *Могол*) была известна голубыми топазами и уникальными коллекционными друзами топаза с полевым шпатом, слюдой, морионом, турмалином, бериллом (гелиодором), которые экспонируются в музеях всего мира.

Шерловгорское (с Адунчелонским) в Читинской области — было и есть лучшее месторождение берилла в стране, где сосредоточено свыше 20% подсчитанных ресурсов и потенциальной ценности (в т.ч. 58% по бериллу). Расположено в экономически освоенном районе. Наличие декоративно-коллекционных материалов установлено эмпирически. Ранжировано на 2 месте, сумма мест — 19.

Подготовленные для промышленного освоения объекты в этой единой Адун-Челон-Шерловгорской рудно-магматической системе — россыпи и коренные источники *Поднебесных с жилами Новая, Миллионная, Гелиодоровая, Новиковская*. Палитра ювелирных бериллов здесь одна из самых разнообразных и лучших в мире: от бесцветных до ярко-голубых, желто-зеленых и оранжевых, а синие аквамарины имеют самую устойчивую окраску. По геммологическим параметрам бериллы отнесены к материалу среднего качества. В связи с общим дефицитом топазового сырья в стране возрос интерес и к топазу Шерловой Горы — преимущественно бесцветному, бледно-голубому, но выход сортового галтовочного камня довольно высок, встречаются к тому же разности голубого, золотистого, винно-желтого, розовато-дымчатого цветов.

Месторождение разрабатывалось до 1995 г., официально добыча сортового берилла составляла 5—10 кг, после 1998 г. Шерловгорский горнообогатительный комбинат прекратил свою деятельность. Однако ежегодно нелегально вывозится более 100 кг кондиционного ювелирного и коллекционного сырья. На интернет-сайтах 90% предлагаемого сырья и декоративного коллекционного материала берилла, иногда в друзовых ассоциациях с другими самоцветами (морион, флюорит, кремово-розовый альбит, турмалин) имеет шерловгорское происхождение.

Объекты Борщовочного края (Золотая Гора, Тулун, Стрелка, Кулинда, Гора Душная, Киберева Гора, Дорогой Утес и др.) — ряд проявлений в Читинской области, известные более полутора веков и получившие высокую оценку по минерально-сырьевому потенциалу берилла и топаза,

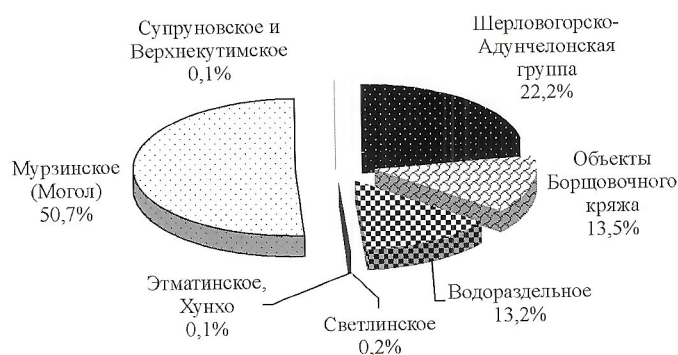


Рис. 4. Распределение потенциальной ценности минерально-сырьевых ресурсов объектов берилла и топаза с коллекционным сырьем. Учетны сопутствующие компоненты

их качеству и эффективности освоения при тех же условиях, что Шерловогорское. Ранжированы на 3 месте, сумма мест — 27.

В целом на территории Борщовочного хребта площадью 4000 км² (160×25 км) насчитывается более 2000 пегматовых тел, в 5% из них обнаружены миароловые пустоты и друзовая минерализация. Несмотря на кажущийся большой объем геологоразведочных работ, включая старательские, объекты характеризуются слабой изученностью на самоцветы, частично отработана малая часть приповерхностных жил. Здесь находили винно-желтые и бледно-голубые топазы, светлые аквамарины, густо-зеленые и розовые турмалины. Киберева Гора и Дорогой Утес дали самые крупные исторические камни, в т.ч. кристаллы топазов до 12 кг. В настоящее время интернет-сайты предлагают сырье и декоративно-коллекционный материал берилла, иногда в сростках с раухтопазом, морионом, мусковитом по цене 20—90 долл. за образец.

Водораздельное (жила Игнатьевская) — проявление в Читинской области, изученное на розовый берилл (воробьевит) и густо-зеленый или полихромный турмалин, с количественными данными по реализации декоративно-коллекционного материала. Ранжировано на 4 месте, сумма мест — 31.

Данное проявление, рассматриваемое среди наиболее важных в Забайкалье, после 1987 г. разрабатывалось «хитой». В 1993 г. проводились поисково-оценочные работы с опытной эксплуатацией. В настоящее время на рынке появляются сортового сырья для огранки по цене 15—120 руб/г и декоративно-коллекционный материал в виде бледно-розовых бериллов таблитчатой формы, с сильной штриховкой граней массой до 128 г. и цене до 3000 руб. (23 руб/г).

Светлинское проявление берилла и зеленого турмалина (Челябинская область) — учтен незначительный масштаб объекта, необходимость заверочных работ с целью определения сохранности и доступности цветнокаменного материала (место расположения пос. Светлый). Ранжировано на 5 месте, сумма мест — 32.

Супруновское месторождение и Верхнекутумское проявление (Иркутская область) — изучены, утверждены запасы и прогнозные ресурсы, с сырьем довольно низкого качества, что существенно ослабляет его позиции даже на внутреннем рынке. Ранжированы на 6—7 месте, сумма мест — 48.

Месторождение числится в государственном резерве, в отвалах и россыпях можно найти интересные, иногда ювелирные, образцы берилла от ярко-желтого до темно-синего цвета. Организованы минералогические туры на объекты. Имеется декоративный коллекционный материал на сайтах продаж, причем цены на сортовое сырье Супруновского месторождения на порядок ниже, чем Шерловогорских копей. Именно из-за невысокого качества и выхода сортового камня (1,1%) едва досрочно не завершились поисково-оценочные работы 1985 г., хотя в последующем запасы (23,4 кг) и прогнозные ресурсы были приняты на госбаланс. Кристаллы берилла размерами 6—15×1,5—6 см (до 40×30 см), имеют хорошие кристаллографические формы, но большей частью трещиноваты и непрозрачны, вкраплены в кварц, альбит и их агрегаты.

Хунхо (Голубое) в Амурской области, Этматинское в Хабаровском крае — сравнительно новые объекты на достаточно освоенных территориях, в качественном отношении мало изученные, по косвенным признакам с перевесом

в сторону более мелкого объекта топаза — Хунхо, и, следовательно, возможно, с его приоритетом при постановке ревизионно-поисковых работ. Ранжированы на 8—9 месте, сумма мест — 56,5.

Эти проявления Дальневосточного региона включены в систему геолого-экономического анализа, поскольку явились наиболее значительными из выявленных в 90-е годы XX столетия, прошли апробацию прогнозных ресурсов сортового берилла и топаза, получили оценку и в коллекционном сырье. Более перспективно на обнаружение аллювиальных россыпей проявление Хунхо (Голубое), которое в коренном залегании содержит в полостях в среднем по 80,3 кг сортового коллекционного и ювелирного оранжево-желтого и бесцветного прозрачного топаза, размерами кристаллов 6×8×14 мм. Бледно-голубые и бесцветные, часто трещиноватые и непрозрачные бериллы Этматинского проявления по визуальному описанию не превышают качество уровня супруновских.

Экономическая эффективность разработки в соответствии с проведенными расчетами, достигается для объектов Мурзинское (Могол), Шерловогорское (с Адун-Челонским) и хребет Борщовочный. Для проявлений Водораздельное (жила Игнатьевская) и Светлинское показатели на уровне пограничной (нулевой) рентабельности. Супруновское и Верхнекутумское неэффективны для освоения при существующих ценах реализации; минимально необходимый уровень на порядок выше расчетной по сортности. Для расчетов по Хунхо и Этматинскому исходных материалов недостаточно. Методом аналогий определилось преимущество Хунхо.

Решение о возможностях освоения объектов должно приниматься после дополнительных маркетинговых исследований.

Возможные практические шаги по освоению объектов берилла и топаза на территории Российской Федерации: Анализ минерально-сырьевого потенциала берилла и топаза, включая коллекционный материал, показывает, что перспективными объектами для постановки геологоразведочных работ являются, прежде всего, месторождения и проявления Забайкалья, получившие в 1991—1998 гг. всестороннюю полевую переоценку стараниями группы Г.А.Юргенсона, выводы которого весьма оптимистичны. Особенно высоко оцениваются перспективы *Шерловогорского месторождения и объектов Борщовочного хребта*, поскольку, несмотря на длительную историю, изучены они на глубину 5—20 м и лишь в отдельных частях. Их истинный потенциал требует уточнения, а «цифры прогнозных ресурсов едва ли отражают 20—30% того, что хранят недра» [7].

По мнению Г.А.Юргенсона, геологическое изучение с попутной эксплуатацией следует проводить по единому плану: карьерами шириной до 100 м, буровыми скважинами, геохимическими (по аномальным значениям Be, F, W, Mo, Bi) и минералогическими (обогащенные пробы топаза, флюорита, кварца) методами. Оценивая, в частности, перспективы Адун-Челона, Г.А.Юргенсон отмечает, что практически любые методически правильно проведенные геологоразведочные работы были успешными при условии достаточности затрат на проходку горных выработок. Весьма перспективными направлениями, в т.ч. и для выявления декоративно-коллекционного материала, называются поиски элювиально-делювиальных россыпей с самоцветами и отработка техногенных отвалов на старых место-

рождениях редкоземельной и редкометалльной специализации (Малокулидинское и др.). Кроме того, по представлениям Г.А.Юргенсона, в интервале глубин 0,05—0,6 км Шерловой Горы предполагаются нескрытые эрозией тела камерных пегматитов, что необходимо иметь в виду при долгосрочных прогнозах на постановку геологоразведочных работ. Экономические расчеты показали высокую перспективность возможных добычных работ при условии подтверждения количественного и качественного потенциала объектов.

Мурзинские копи, интенсивно осваиваемые в последнее десятилетие, тем не менее, в стратегическом плане не исследованы. В процессе геологоразведочных работ решаются локальные задачи добычи и оценки, чаще всего ресурсный потенциал равен фактически добытому сырью (Казенница, Топазница, Мыс 1, Старая Мыльница и др., 2001), но при ревизионных работах на отдельных копиях (Берилловая 1, 2, и др., 1992) оценки специалистов достаточно осторожны. Согласно проведенному анализу по имеющейся в распоряжении авторов информации рекомендуется, с одной стороны, отработка месторождения Могол (и Тысячицы), и, с другой, всестороннее полевое обследование территории Мурзинских копей на комплекс самоцветов и декоративно-коллекционного материала, аналогичное проделанному по Забайкалью.

Кроме оцененных, крупным объектом в Забайкалье с утвержденными прогнозными ресурсами является *проявление Соктуйское*, известное зелеными аквамаринами, розовато- и винно-желтыми топазами. Самого пристального внимания, как возможный источник россыпей, заслуживает *проявление берилла Халзанское*, близкое по геолого-промышленному типу копиям Борщовочного кряжа. *Нижнееловское* поле представлено продуктивными элювиально-делювиальными развалами пегматитов, содержащими в виде обломочного материала берилл, турмалин (до 50 минеральных видов) [7].

Из объектов без оцененных ресурсов необходимо выделить *Тигирецкое месторождение берилла* в Алтайском крае — ранее интенсивно разрабатываемое, в настоящее время геолого-промышленное проявление федерального значения историко-геологического типа. Здесь был найден самый крупный на территории России уникальный кристалл берилла длиной 1,5 м и массой 125 кг. Не более чем разовые сборы зеленовато-голубого полупрозрачного берилла возможны на *Инкурском* (вольфрамовое) *месторождении* (Республика Бурятия), *Забытое* (Приморский край) и *Светлое* (Магаданская область). В Уральском регионе по результатам поисково-оценочных работ 1995—2001 гг. на проявлении *Глинское* (*Изумрудные копи*) признано низкое качество ограночного и коллекционного берилла, а проявление *Ильменские Горы*, славившееся прекрасными образцами берилла, топаза (в начале XIX в. добыто несколько тонн прозрачных бесцветных кристаллов массой до 10 кг), и других, уже несколько десятилетий представляет собой минералогический заповедник.

В то же время, важным объектом для изучения вблизи Светлинского месторождения Челябинской области остается топазовая минерализация Кочкарского самоцветного

пояса, о которой А.Е.Ферсман еще в 1925 г. писал: «Розово-фиолетовые топазы р.Каменки составляют одну из наибольших достопримечательностей Южного Урала как по красоте, густоте и разнообразию тонов, так и по чистоте и прозрачности» (Избранные труды. Т. VII. С. 51), достаточно перспективной называл ее А.С.Таланцев (1993). Сказанное подтверждается экспонатами на интернет-сайтах 2005 г. мелких (чуть более 1 см), но идеальных малиновых топазов, и результаты маркетинговых исследований, согласно которым наиболее ценным на сегодняшний день на мировом рынке считаются желтовато-золотистые, красновато-золотистые и розовые («Имперал») топазы насыщенных и стойких к выцветанию тонов. Лучшие образцы таких кристаллов связаны с бразильским месторождением Оуро-Прету, приближаются к ним по качеству уральские топазы россыпей рек Каменки и Санарки.

Актуальность и целесообразность геологоразведочных работ на берилл и топаз в России в силу их качественных особенностей и невысокого рейтинга в мире возможно менее очевидны, чем на российские демантоид или изумруд и александрит. В то же время определенный интерес к проблеме существует. Так, в пообъектных планах на 2006 г. Сибирским федеральным отделением предложены прогноз-поисковые работы по оценке перспектив расширения минерально-сырьевой базы ювелирного берилла (аквамарин) в пределах Байкало-Витимского пегматитового пояса (вблизи Супруновского месторождения). Проведенный геолого-экономический анализ, как составная часть создаваемого полноценного информационного блока сведений по цветным камням России и их месте в мировой иерархической градации, позволит в более точных направлениях развивать комплекс работ на камнесамоцветное и коллекционное сырье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко В.П., Алискеров В.А., Денисов М.Н., Стафеев К.Г. Опыт составления геолого-экономической карты // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. № 3. 1999. С. 30—34.
2. Дроздов В.П., Делпаны Л.М. и др. Драгоценные и поделочные камни мира // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений. Обзорная информация ВИЭМС. Вып. 6. —М., 1991. С. 4; 16; 44—51.
3. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. —М.: Недра, 2000.
4. Коваленко И.В., Костелова Т.Г., Шуляева Л.Н. и др. Сводная ресурсная карта цветных камней России // Разведка и охрана недр. 2004. № 1. С. 2—6.
5. Савин А.С. Стоимостные оценки минеральных ресурсов / Геологическое изучение и использование недр. Информационный сборник. 1999. Вып. 4. Стр. 44—52.
6. Турашева А.В. Геолого-экономический анализ минерально-сырьевой базы приоритетных видов камнесамоцветного сырья России // Разведка и охрана недр. 2004. № 1. С. 24—30.
7. Юргенсон Г.А. Самоцветы Забайкалья. 1997.
8. Турашева А.В. К вопросу составления геолого-экономической карты камнесамоцветного сырья Российской Федерации (на примере драгоценных камней) // Тезисы Международной юбилейной конференции ВНИИСИМС «Монокристаллы и их применение в XXI веке». 2004. С. 250.

Прогнозно-поисковые модели месторождений особо чистого кварца

Н.Г.БЫДТАЕВА, Р.А.КИСЕЛЕВА, И.М.МИЛЕЕВА (ЦНИГРИ)

Минерально-сырьевая база кварцевого сырья России объединяет месторождения пьезооптического кварца, горного хрусталя и жильного кварца — гранулированного, прозрачного, молочно-белого. Кварцевое сырье, благодаря уникальным свойствам кварца, используется во многих отраслях промышленности, в том числе — для производства полупроводников, в микроэлектронике, волоконной оптике, светотехнике.

Созданная в предыдущие годы, минерально-сырьевая база кварцевого сырья обеспечивает потребности промышленности в сырье для оптического стекловарения, светотехники и в шихте для синтеза искусственных кристаллов кварца [4, 22].

В последние годы высококачественное сырье для плавки прозрачного кварцевого стекла стало остродефицитным, поскольку в связи с новыми требованиями к качеству кварцевых концентратов на ряде месторождений работы приостановлены. Наиболее доступные к отработке месторождения высококачественного кварца к настоящему времени выработаны, отсутствует и резерв новых месторождений. Практически исчерпан фонд перспективных площадей и объектов для постановки поисково-оценочных работ, именно поэтому основная проблема сырьевой базы кварца России — обеспечение отечественной промышленности высококачественным сырьем для наплава специальных прозрачных кварцевых стекол, используемых в первую очередь в микроэлектронике.

Ведущее место в мире по добыче и переработке кварца в настоящее время занимают США. Компанией «ЮНИМИН» была разработана технология глубокой очистки кварца с получением концентратов высокой химической чистоты сорта йота-кварц. Этот мировой стандарт для плавки прозрачного кварцевого стекла характеризуется высокой химической чистотой и стабильностью качества. Сырьем для получения кварцевых концентратов служили отходы керамического (каолинового) производства, а затем коренные породы — плагиопегматиты с содержанием кварца 18—20% [32].

В России к плавочным сортам особо чистого кварца предъявляются достаточно жесткие требования, которые регламентируются ТУ-5726-002-1149665-97 и лимитируют содержание элементов-примесей в кварцевых концентратах до 24—30 ppm, минеральных примесей меньше 0,00 л%, коэффициент светопропускания 80% и газонасыщенность не более 50—70 ppm.

Примеси в кварце подразделяются на минеральные, структурные и флюидные [7, 10]. Минеральные примеси должны удаляться при глубоком обогащении. Количество структурных примесей в кварце — важный критерий качества, так как их содержание определяет предел обогатимости кварца и при превышении их количества по сравнению с требованиями, предусмотренными ТУ, такой кварц не может быть отнесен к особо чистому. В особо чистом кварце лимитируется также содержание остаточной флюидной фазы, косвенным показателем количества которой служит коэффициент светопропускания.

Установлено, что при образовании особо чистого кварца определяющим фактором является высокое давление,

реализация которого определяется по наличию минеральных парагенезисов с глаукофаном, дистеном, эклогитоподобных пород [29], на основании чего был сделан вывод о приуроченности особо чистого кварца к высокобарическим зонам. Такой вывод важен для минерогенеза кварца, так как локализация высокочистого кварца возможна в зонах с высоким давлением — в эклогит-гнейсовых и эклогит-глаукофан-сланцевых комплексах [2, 8, 29].

Основными геолого-промышленными и технологическими типами для получения особо чистых кварцевых концентратов являются жильный гранулированный и прозрачный, фрагментарно-стекловидный кварц метаморфогенного генезиса [8, 22, 28].

Минерально-сырьевая база кварцевого сырья, сосредоточена в трех основных провинциях: Уральская, Прибайкальская и Карело-Кольская. Основные запасы сырья для плавки находятся в Приполярно-Уральской и Южно-Уральской субпровинциях [4]. Месторождения гранулированного кварца сосредоточены на Урале и в Прибайкальской кварценозной провинции, запасы прозрачного кварца — на месторождениях Приполярного и Южного Урала. В Восточном Саяне выявлены химически чистые кварцевые метасоматиты (суперкварциты) и разведано месторождение Бурал-Сардык, балансовые запасы и ресурсы которого учтены как гранулированный кварц [6, 7].

Для обеспечения промышленности особо чистым кварцем необходимо провести переоценку существующей базы кварцевого сырья, пригодного для получения высокочистых концентратов, а также выявить и оценить районы с нетрадиционными источниками кварцевого сырья. В связи с этим разработка моделей прогноза и поисков месторождений такого вида сырья представляется достаточно актуальной.

Объектами для разработки моделей месторождений особо чистого кварца послужили кварценозные районы Среднего и Южного Урала, где сосредоточены кварценозные поля с месторождениями перспективными на данный вид сырья [28]. На этих объектах выполнен значительный комплекс геологоразведочных, эксплуатационных и тематических работ, материалы которых использованы при характеристике кварценозных объектов [8, 11, 12, 17, 25]. В качестве новых перспективных на особо чистый кварц рассмотрены объекты Восточного Саяна [7].

В Уральской кварценозной провинции кварцевая минерализация сосредоточена в двух минерогенетических зонах: Центрально-Уральской и Восточно-Уральской, приуроченных к одноименным тектоническим структурам — поднятиям. К Центрально-Уральскому поднятию относятся кварценозные районы, где сконцентрированы перспективные на особо чистый кварц месторождения гранулированного и прозрачного стекловидного кварца. Поэтому в качестве эталонных кварценозных районов рассмотрены Уфалейский и Сакмарский.

Уфалейский кварценозный район — основной сырьевой источник высококачественного гранулированного кварца для получения концентратов особо чистого кварца и включает ряд кварценозных полей и месторождений [7,

28]. Район приурочен к шовной зоне на границе палеоконтинентального и палеоостроводужного секторов Урала, что и определило его внутреннее строение (рис. 1).

Уфалейский район на геологических картах выделялся как Уфалейский антиклинорий [16] и до последнего времени представлялся как фрагмент докембрийского фундамента, внедренный в породы палеозойского чехла в результате тектонических и метаморфических преобразований. При этом выделялось гнейсовое ядро и сланцевое обрамление, которые рассматривались как гнейсо-мигматовый комплекс [8, 16].

В настоящее время Уфалейский комплекс представляют в качестве субдущиванной плиты, имеющей двучленное строение: западная часть — край фундамента Русской платформы, а в восточной части вскрыт глубинный срез интенсивно меланжированной субдукционной зоны с ме-

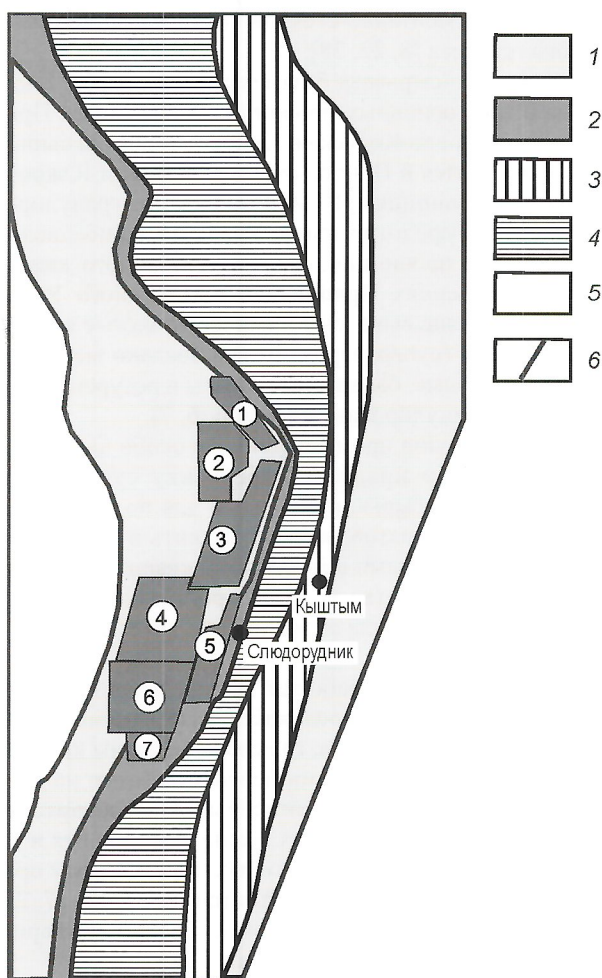


Рис. 1 Схема тектонического районирования Среднего Урала. По материалам А.И.Белковского, С.Н.Иванова, Н.И.Мельниковой:

1 — палеоконтинентальный сектор; 2 — Уфалейский эклогит-сланцевый мигматовый меланж (Центрально-Уральское поднятие); 3 — линеемента зона стресс-метаморфизма (Восточно-Уральское поднятие); 4 — островодужная зона (Тагил-Магнитогорский прогиб); 5 — пассивная палеокрайина (Предуральский прогиб); 6 — тектонические границы, площади, перспективные на гранулированный кварц (цифры в кружках): 1 — Маух, 2 — Кизильская, 3 — Кузнечиха, 4 — Егустинская, 5 — Кыштымская, 6 — Уфимская, 7 — Агордяш

таморфизмом повышенных давлений [13]. Высокобарический комплекс обладает зональным строением. Восточная часть рассматривается как эклогит-сланцевая [1]. Породы района слагают тектонические пластины: 1) егустинскую, сложенную допалеозойскими гнейсовидными амфиболитами, плагиогнейсами, продуктами их метаморфизма и гранитизации; 2) слюдяногорскую с развитием по допалеозойским породам, биотит-амфиболовых бластомилонитов габбро-амфиболитов и плагиомигматов. Локально проявлены процессы кислотного выщелачивания по амфиболитам; 3) куртинскую, состоящую из бластомилонитов дистен-силлиманитовой фациальной серии.

Уфалейский кварценозный район вытянут в меридиональном направлении и ограничен системой разломов: с востока — Главным Уральским глубинным, с запада — Серебрянским (рис. 2). Ширина рудоносной зоны в среднем 10—15 км, а протяженность до 40 км.

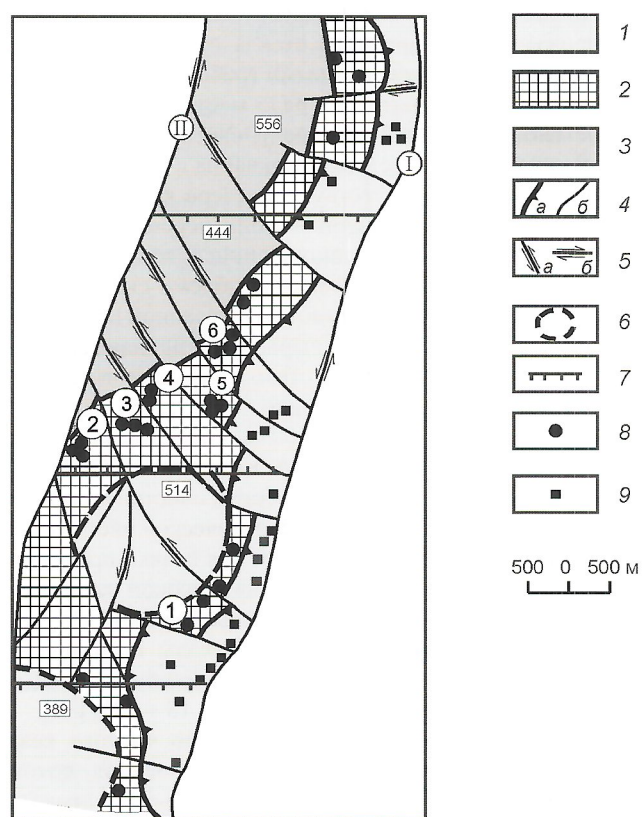


Рис. 2. Геолого-структурная схема Уфалейского кварценозного района:

1 — куртинская пластина: бластомилониты апоэклогитовые, апогаббровые метасоматиты; 2 — слюдяногорская пластина: бластомилониты апогнейсовые и апоамфиболовые, мигматиты, гнейсы; 3 — блоки протерозойского фундамента — амфиболиты, гнейсы; 4 — надвиги: а — Куртинский, б — Слюдяногорский; 5 — сдвиги: а — левые, б — правые; 6 — границы купольных морфоструктур; 7 — границы морфоструктурных блоков и их фоновые абсолютные отметки (м); 8 — месторождения гранулированного кварца уфалейского типа (цифры в кружках): 1 — Острогорское, 2 — Петровское, 3—4 — Глинянское, 5 — Квартальное, 6 — Юшкондинское; 9 — проявление гранулированного кварца кыштымского типа; разломы: I — Главный Уральский, II — Серебрянский

Продуктивные на особо чистый кварц жилы сформировались в результате двух этапов тектоно-метасоматической активизации в возрастном диапазоне 450—345 и 300—290 млн. лет [2]. Месторождения особо чистого кварца объединены в две рудные формации: 1) тонко-мелкозернистого прозрачного кварца (уфалейский тип); 2) прозрачный мелко-среднезернистого кварца (кыштымский тип).

Рудная формация гранулированного кварца уфалейского типа, наиболее перспективного на особо чистый кварц, локализуется преимущественно в породах слюдяногорской пластины на контакте с куртинской в пределах зоны, ограниченной региональными сдвигами — Главным Уральским и Серебрянским глубинными разломами. В ее пределах кварцевые жилы распределены неравномерно, образуя участки повышенной концентрации (поля), чередующиеся с безрудными (см. рис. 2). Наиболее перспективны Кыштымское и Кузнечихинское.

Кыштымское поле включает ряд месторождений: Острогорское, Уфимское и Беркутинское. Они локализируются в линейной шовной зоне на контакте с южной купольной структурой (см. рис. 2). Приведем характеристику наиболее крупного месторождения района — Острогорское.

Месторождение Острогорское содержит основные балансовые запасы гранулированного кварца района и перспективно на особо чистый кварц. Приурочено оно к комплексу пород, составляющих слюдяногорскую пластину. Рудовмещающие породы представлены тектонизированными, будинированными габбро-амфиболитами, мигматизированными, биотитизированными. Подстилающая толща сложена гнейсами, гранито-гнейсами егустинского комплекса, мощностью до 100 м. Перекрывающие породы — сланцы слюдяно-кварцевые куртинского комплекса мощностью до 100 м. Кварцевая жила приурочена к будине габбро-амфиболитов в гнейсах (рис. 3). В жилловмещающем комплексе установлены карбонатиты линейного трещинного типа, камафориты пироксен-апатитового состава и самарскит-сфен-апатитового, пострудные микроклины и альбититы с редкометалльной минерализацией [2, 23]. Линзовидные обособления карбонатитов содержатся в виде реликтов в кварцевой жиле месторождения, указывая на их докварцевое происхождение. Характеристика месторождения приведена в табл. 1.

Кузнечихинское кварцево-жильное поле общей площадью 90 км² расположено в северо-западной части Уфалейского кварценозного района [17]. Отличительная особенность составляющих его месторождений — высокое качество гранулированного кварца. Кварцево-жильное поле приурочено к слюдяногорской пластине, имеющей тектонические контакты и надвинутой на породы егустинского комплекса. Дорудные породы представлены амфиболитами, биотит-амфиболовыми гнейсами с подчиненной ролью гнейсов. Исходные амфиболиты, амфиболовые сланцы и гнейсы тектонизированы с образованием бластомилонитов биотит-амфиболового, биотит-мусковитового составов, образующих линзовидные прослои и линзы мощностью от первых метров до 100 м. По бластомилонитам проявлена мигматизация и локально-кислотное выщелачивание с образованием линзовидных тел слюдисто-кварцевого состава. Характерны базификаты: гранатиты, амфиболиты, биотитовые сланцы.

В пределах Кузнечихинского поля выявлен ряд месторождений: Петровское, Глинянское, Юшкондинское, которые группируются в зоны (кусты), представляющие со-

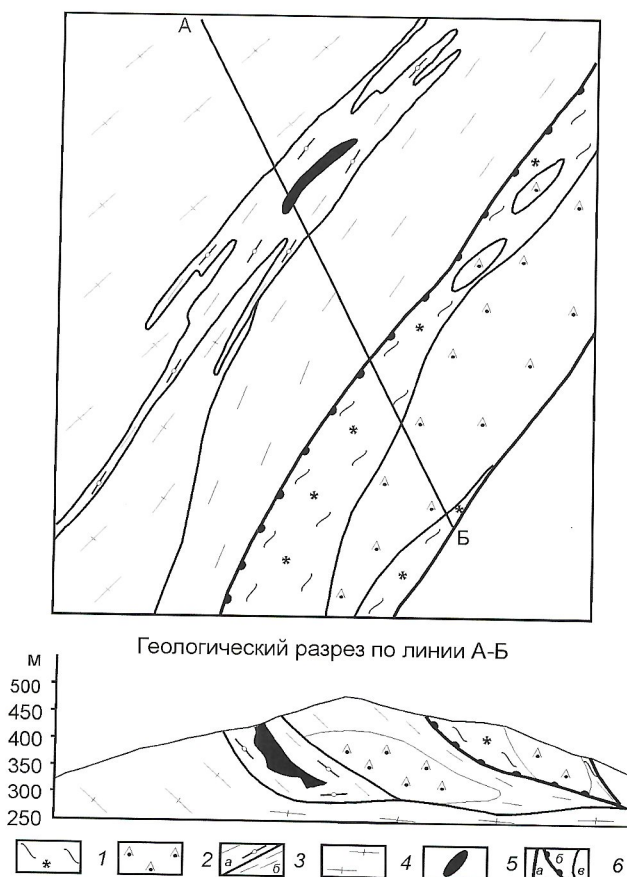


Рис. 3. Геологическая модель месторождения Острогорского:

Куртинский (kr) эклогит-сланцево-мигматитовый комплекс, нижнеордовикского возраста: 1 — гранат-слюдяно-кварцевые бластомилониты; 2 — амфиболиты гранат-цоизитовые; Слюдяногорский (Sg₁-Sg₂) апогаббровый, гнейсогранитовый комплекс: 3 — теплогорская толща (tp) — амфиболиты: а — мигматизированные, б — биотитизированные; 4 — беркутинская толща (bk): гранито-гнейсы, амфиболиты, мигматиты; 5 — жила гранулированного кварца; 6 — тектонические нарушения: а — Главный Уральский разлом, б — Куртинский надвиг, в — прочие тектонические нарушения

бой скопления кварцевых жил. Месторождения приурочены преимущественно к нижнему контакту пластины (см. рис. 2). Характеристика типовых месторождений приведена в табл. 1.

Сакмарский кварценозный район — источник прозрачного жильного кварца для плавки и высококачественной шихты для синтеза искусственных кристаллов кварца, находится в южной части Центрально-Уральской мегазоны и локализуется в центральной части Присакмарского горст-антиклинория, Уралтауского мегаантиклинория. Западная граница горст-антиклинория — Янтышевско-Юмукский разлом, восточная — Главный Уральский глубинный разлом [11].

Для Сакмарского кварценозного района характерно развитие пород, относимых к Максютовскому эклогит-глаукофан-сланцевому и суванякскому зеленосланцевому комплексам. Контакт между максютовским с перекрывающим суванякским комплексом тектонический — это падающий на запад левый сбросо-сдвиг [13]. Разрез максютовского комплекса представляет собой гигантский мегамеланж и

1. Характеристика месторождений особо чистого кварца

Месторождение (жила)	Вмещающий комплекс	Флюидные включения (<600°), мкг/г			Коэффициент светопропускания, среднее	Элементы-примеси, ppm	Структурные примеси*			
		Н ₂ O	CO ₂	CO			ТЛ2, T		РЛ2(370) РЛ1(500)	Группа
							100—120	130—150		
Уфалейский кварценозный район. Кыштымское поле. Кварц гранулированный мелкозернистый										
Острогорское	Амфиболиты, мигматиты, карбонатиты	35,7	1,1	—	74,8	33,04	55	82	1,5—11,8	I—III
Беркутинское	Амфиболиты, пегматиты	39,5	9,9	4,6	90,0	188,6			1,8	II
Кузнецкихинское кварценозное поле. Кварц гранулированный мелкозернистый										
Петровское	Амфиболиты, гранитоиды	74,3	4,4	0,3	82,0	43,75	24		4,0—11,2	I—II
Глинянское	Амфиболиты, плагиомигматиты, субщелочные граниты	40,0	4,5	0,6	79,7	55,0	10	8	4,0—8,3	I—II
Гарганский кварценозный район (Восточный Саян). Кварциты										
Бурал-Сардык	Терригенно-карбонатные отложения	1,5—47,0	1,4—9,5	6,6—15,2	71—85	49,6	1	1	1,0—7,6	I—II
Окинское	То же	112,8	27,9	8,25	69—86	21,4—351,3	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—

* Примесные центры проявлены слабо (I—II); средние — Al, Li (III); РЛ2(370) (I>8; II — 4—8; III — 1—4). РЛ1(500)

рассматривается как фрагмент среднедевонской зоны субдукции, существовавшей под островной дугой. Породы залегают в виде тектонических пластин. В нижней пластине находятся слюдяные сланцы с включениями эклогитов, ультрабазитов, гранатовых амфиболитов и гранат-глаукофановые сланцы с линзами кварцевых и аркозовых метапесчаников, т.е. меланжированных пород микроконтинента. Верхняя метаофиолитовая пластина сложена метабазальтами, графитистыми кремнистыми породами и линзами серпентинитов с включениями метагаббро и гранат-лавсонит-хлоритовых пород. Структура комплекса представляется как антиформа [11, 28].

Запасы прозрачного кварца этого района по сравнению с запасами гранулированного кварца Уфалейского района невелики и в значительной степени отработаны. В районе разведано два месторождения с химически чистым кварцем: Караяновское и Новотроицкое. На *Караяновском месторождении* кварц представлен молочно белыми разностями, которые из-за низкого светопропускания могут использоваться только в качестве шихты для синтеза искусственных кристаллов кварца. Кварц Новотроицкого месторождения отличается высоким светопропусканием и (до 85%) и химической чистотой.

Новотроицкое месторождение прозрачного жильного кварца, где развиты породы двух комплексов: нижний —

максютовский и верхний — суванянский. Максютовский комплекс представлен породами преимущественно кайраклинской и юмагузинской комплексов с телами эклогитов. Для комплекса характерны тектонические чешуи, сложенные метавулканиками основного состава, реже осадочными породами. Суванянский комплекс надвинут на породы максютовского, неперспективен на кварцевое сырье [11].

Жилы с лучшим по качеству кварцем залегают в породах кайраклинского комплекса, который содержит тела эклогитов, образовавшихся при метаморфизме силлов и даек габбро-диабазов и диабазов и мелкие тела ультрабазитов. Вмещающие породы метаморфизованы в условиях глаукофан-сланцевой, гранат-глаукофановой и дистен-сланцевой фаций.

Рассмотренные объекты с высококачественным гранулированным и прозрачным кварцем Уральских кварценозных районов, сырье которых традиционно используется в качестве концентратов для плавки прозрачных кварцевых стекол, перспективны и на особо чистое кварцевое сырье. В последнее десятилетие в Восточном Саяне выявлен новый нетрадиционный тип химически чистого кварцевого сырья — суперкварциты или кварцевые метасоматиты, обнаруженные в обрамлении Гарганской глыбы [6, 7].

Гарганская глыба расположена на стыке Алтае-Саянской и Байкальской складчатых областей и представляет

2. Прогнозно-поисковые модели минерагенических таксонов применительно к месторождениям особо чистого кварца дислокационно-метаморфогенной формации шовных зон Урала и Восточного Саяна

Группа элементов-признаков	Пространственные минерагенические таксоны									
	Рудный район, тип формации				Типовые объекты	Рудное поле, тип формации				Типовые объекты (месторождения)
Формационная	Рудоносная Эклогит-гнейсовая и эклогит-глаукофан-сланцевая Тектонизированная, кремнисто-карбонатная				Уфалей Сакмара Гарган	Рудоносная Эклогит-гнейсовая и эклогит-глаукофан-сланцевая Тектонизированная, кремнисто-карбонатная				Кузнечихинское Новотроицкое Окинское
	Рудовмещающая Динамометаморфиты, бластомилониты апогнейсовые, апоамфиболитовые, гранитоиды				Уфалей Сакмара	Рудовмещающая Дислокационно-метасоматическая: бластомилониты, плагиомигматиты, гранитоиды				Кузнечихинское
	Глаукофансланцевая				Сакмара	Эпидот-амфибол-альбитовые, мусковит-кварцевые сланцы				Новотроицкое
	Тектонизированная, кремнисто-карбонатная				Гарган	Тектонизированная, кремнисто-карбонатная				Окинское
Структурно-тектоническая	Мегамеланж шовной зоны Главного Уральского глубинного разлома				Уфалей Сакмара	Серебрянская сдвиговая зона				Кузнечихинское
						Янтышевско-Юмукская сдвиговая зона				Новотроицкое
	Тектонизированный чехол фундамента Гарганской глыбы				Гарган	Тектонические пластины паравтохтона				Гарган
Метасоматическая	Кремнещелочные метасоматиты, кислотные метасоматиты				Уфалей	Плагиомигматиты, карбонатиты, альбититы, фениты, кварциты				Кузнечихинское
	Перекристаллизованные кварциты, скарноиды				Гарган	Перекристаллизованные, калишпатизированные кварциты, декарбонатизированные доломиты				Окинское
Геохимическая: состав флюидов кварца, ppm	$\frac{H_2O}{90,5}$	$\frac{CO_2}{5,5}$	$\frac{CH_4}{-}$	$\frac{CO}{1,6}$	Уфалей	$\frac{H_2O}{44,2}$	$\frac{CO_2}{3,3}$	$\frac{CH_4}{-}$	$\frac{CO}{3,3}$	Кузнечихинское
	255	3,7	0,26	0,35	Сакмара	57,8	2,4	0,23	6,2	Новотроицкое
	251,5	12,4	0,1	1,27	Гарган	166	5,3	0,8	0,65	Окинское

собой выступ древнего фундамента, сложенного гнейсами и амфиболитами, которые прорваны гранитоидами сумсунурского комплекса и перекрыты платформенным чехлом. Платформенный чехол состоит из пластин покровных комплексов: офиолитового, вулканогенно-сланцевого, и кремнисто-карбонатного. Породы кремнисто-карбонатного комплекса выделяют в иркутную (монгошинскую) свиту палеозойского возраста. Породы чехла подверглись интенсивным складчатым деформациям при столкновении Тувино–Монгольского массива с Гарганской глыбой и были надвинуты на породы фундамента [19]. В результате этого, породы чехла (иркутская свита) интенсивно расчленены, расплосованы.

Основная зона развития химически чистых кварцитов расположена вдоль северного контакта Гарганской глыбы в перекрывающих ее терригенно-карбонатных отложениях. В пределах полосы развития пород чехла было выявлено несколько проявлений относительно чистых кварцитов

с признаками грануляции — Холбинское, Бурал-Сардыкское, Окинское и Хойхо-Улзытинское поля, а затем разведано месторождение высококачественного кварца Бурал-Сардык (С.Д.Цуцар, 2003).

Месторождение Бурал-Сардык находится в верховьях р.Хойхо-Гарган, на вершине одноименной горы с отметкой 2789,2 м. В геологическом строении месторождения принимают участие породы гарганского метаморфического комплекса, представленные гнейсами, гранитогнейсами и перекрывающая их серия тектонических покровов, сложенных породами иркутной (кремнисто-карбонатной) и ильчирской (вулканогенно-терригенной) свит. Иркутная свита продуктивная, вмещает тела химически чистых суперкварцитов. Она сложена известняками и их доломитовыми разностями, кремнистыми породами, различными сланцами и песчаниками. Породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций.

3. Геолого-поисковая модель месторождений особо чистого кварца

Элементы модели	Типы месторождений		
	Уфалейский	Новотроицкий	Бурал-Сардыкский
Рудовмещающий комплекс	Дислокационно-метасоматический		
	Бластомилониты апогнейсовые, плагиомигматиты, гранитоиды, карбонатиты	Эклогит-глаукофан-сланцевый	Кремнисто-карбонатный
Рудоносная формация	Эклогит-гнейсовая	Эклогит-глаукофан-сланцевая	Карбонатно-кремнистая
Рудоконтролирующие структуры	Сдвиговые зоны		
Рудовмещающие структуры	Будинаж-структуры, зоны тектонического расщепления, бластомилониты	Зоны милонитизации и расщепления	
Метасоматиты	Плагиомигматиты, карбонатиты, фениты, кварц-мусковитовые, кварц-микроклиновые, альбитовые	Гранат-мусковит-кварцевые, мусковит-кварцевые	Серицит-кварцевые
Рудные тела	Кварцевые жилы линзовидные, согласные	Линзовидные, секущие	Линзовидные, пластообразные, согласные
Геохимия кварца: содержание флюидной фазы, ppm:			
H ₂ O/CO ₂	82,2/4,8	57,8/2,4	47,0/5,6
Коэффициент светопропускания, %	75—90	85	
Минеральные примеси в кварце	Фенгит 2М, эгирин, фтор-апатит, рутил, иттрий-самарскит, карбонаты, сульфиды	Мусковит, гранат, амфибол, хлорит, альбит, турмалин, пирит	Серицит, кальцит
Структурные примеси	Отсутствуют	Al<0,0006%	Отсутствуют

Продуктивные тела суперкварцитов имеют пластовую или линзовидную форму и полого падают на запад, северо-запад. Вмещающие кремнистые породы (фтаниты, лидиты) темно-серые, массивные тонко-микрозернистые с линейной ориентировкой кварцевых зерен, примесью углистого вещества, мелких чешуек серицита (до 10%) и кальцита.

Новообразованные суперкварциты сформировались в результате метасоматической (углекислотной) переработки исходных кремнистых пород. Наблюдаются постепенные переходы от исходных микрозернистых кремнистых пород через располосованные зоны осветленных кварцитов к мелкозернистым. В процессе преобразования кремнистых пород происходит их осветление за счет исчезновения углистого вещества [7].

Суперкварциты отличаются разномасштабной структурой, состоят из агрегатов прозрачных зерен кварца и при этом на фоне мелкозернистой массы выделяются линзовидные обособления, создающие «порфировидную» структуру. Видимая мощность до первых десятков метров. Наиболее крупные тела линзовидной формы прослежены по простиранию до 300 м. Характеристика кварца месторождения приведена в табл. 1.

Таким образом, в Восточном Саяне выявлен новый тип кварцевого сырья — суперкварциты, отличающиеся повышенной химической чистотой. Формирование этих пород произошло в результате дислокационно-метасоматичес-

ких преобразований исходных кремнистых хемогенно-осадочных пород. Минеральные примеси в кварцевых породах представлены в основном карбонатом и слюдой. Практически отсутствуют структурные примеси. В то же время для кварцитов характерно повышенное содержание газово-жидких включений, наличие которых существенно увеличивает дефекты кварцевого стекла.

Приведенная характеристика кварценозных районов, полей и месторождений, перспективных на особо чистый кварц, позволила выявить основные элементы (признаки) названных таксонов и создать их обобщенные модели (таблицы 2 и 3). Модели носят прикладной характер и могут быть применимы на стадии прогнозно-поисковых работ. В то же время, особенности формирования месторождений особо чистого кварца позволяют сделать некоторые генетические выводы, которые могут быть положены в основу создания генетических моделей этого типа сырья с выявлением всей совокупности факторов, приводящих к формированию месторождений, включая источники флюидов и вещества, формы его переноса в зоны рудоотложения, причины и условия концентрирования [31].

Для кварценозных районов Урала, перспективных на данный вид сырья, необходимо подчеркнуть следующие особенности их формирования. Перспективные районы приурочены к шовной зоне Главного Уральского глубинного разлома, в пределах которого в условиях субдукцион-

ного режима образовались высокобарические эклогит-глаукофановые комплексы, которые активизировали породы фундамента. Кремнезем при этом извлекался не только из вмещающих пород в результате их динамометаморфизма, но и в процессе эклогитизации. По-видимому, масштабы кварцевой минерализации в высокобарических зонах предопределялись составом пород вовлеченных в зону субдукции. В уфалейской зоне высокобарические эклогитовые ассоциации сформировались по палеоконтинентальным и океаническим породам. На уровне формирования эклогитов произошло разделение химических элементов — Fe, Mg, Al, Ca, Ti вошли в состав эклогитовых парagenезисов, а Si, Na, и K мигрировали в более высокие горизонты на глубинный уровень развития дислокационного метаморфизма [10, 15, 20, 21, 26, 27]. В зоне рудоотложения в результате контрастности исходных пород возникли будинаж-структуры — благоприятные структуры локализации, что привело к формированию крупных по запасам месторождений.

В Сакмарском кварценосном районе высокобарические ассоциации (эклогиты) сформировались по породам океанской коры, практически, без участия континентальных пород. Преобразования эклогитов (глаукофанизация) привели к мобилизации кремнезема, но в масштабах меньших, чем на Уфалее. Вмещающие породы отличались и однородностью по физико-механическим свойствам, что не способствовало созданию структурных ловушек, и кварцевая минерализация рассредоточилась по площади района в виде мелких кварцевых жил.

В Восточном Саяне тектоно-метасоматическим преобразованиям подверглась кремнисто-карбонатные породы чехла, надвинутые на породы фундамента. В результате углекислотного метасоматоза кремнистые породы были преобразованы в химически чистые кварцевые метасоматиты — суперкварциты.

Созданные обобщенные качественные модели прогноза могут служить основой для выявления аналогичных объектов на территории России в высокобарических зонах Горного Алтая, Приполярного и Полярного Урала [10, 26], а также Карело-Кольской провинции [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белковский А.И. Высокобарические бластомилониты Уфалейского метаморфического блока (Средний Урал) // Магматизм и метаморфизм зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы. — Свердловск, 1985. С. 42—57.
2. Белковский А.И. Кыштымское месторождение прозрачного жильного кварца: геодинамическая, «возрастная» позиция и генезис кварцевых жил (Средний Урал) // Мат-лы международного семинара «Кварц. Кремнезем». — Сыктывкар, 2004. С. 189—191.
3. Белковский А.И., Савичев А.Н. Перспективы поисков месторождений особо чистого кварца в ороенах Уральского типа // Тез. докл. 3 Всеуральского металлогенического совещания «Металлогения и геодинамика Урала». — Екатеринбург, 2000. С. 286—288.
4. Борисов Л.А., Серых Н.М., Федотов В.К., Быдтаева Н.Г. и др. Минерально-сырьевая база кварцевого сырья России — состояние и основные направления ее развития // Неметаллические полезные ископаемые России: современное состояние сырьевой базы и актуальные проблемы научных исследований. Мат-лы I Всероссийской конференции по промышленным минералам. — М., 2004. С. 41—44.
5. Борозновская Н.Н., Быдтаева Н.Г. Люминесценция как индикатор микродефектности при оценке качества кварцевого сырья // Рудные месторождения. Минералогия. Геохимия. Вып. 3. — Томск, 2003. С. 12—27.
6. Быдтаева Н.Г., Киселева Р.А., Яшин В.Н. Геологические особенности формирования нового типа гранулированного кварца Гарганского кварценосного района (Восточный Саян) // Мат-лы международного семинара «Кварц. Кремнезем». — Сыктывкар, 2004. С. 185—187.
7. Воробьев Е.И., Спиридонов А.М., Непомнящих А.И., Кузьмин М.И. Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (Республика Бурятия) // Докл. АН. 2003. Т. 390. № 2. С. 219—223.
8. Геология, генезис и промышленные типы месторождений кварца. — М.: Недра, 1988.
9. Данилевская Л.А., Скамнищкая Л.С., Щитцов В.В. Кварцевое сырье Карелии. — Петрозаводск, 2004.
10. Добрецов Л.Н. Процессы коллизии в палеозойских складчатых областях Азии и механизмы эксгумации // Петрология. 2000. Т. 8. № 5. С. 451—473.
11. Евстиропов А.А., Бурьян Ю.И., Кухарь Н.С., Серых Н.М. и др. Жильный кварц Урала в науке и технике / Геология основных месторождений кварцевого сырья. — М.: Недра, 1995.
12. Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А., Якишин В.И. Жильный кварц Урала в науке и технике. — Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1988.
13. Иванов С.Н., Пучков В.Н., Иванов К.С. и др. Формирование земной коры Урала. — М.: Наука, 1986.
14. Жданов В.В. Метасоматиты, опыт изучения и картирования. — СПб., 1999.
15. Казанский В.И. Рудоносные тектонические структуры активизированных областей. — М.: Недра, 1972.
16. Кейльман Г.А. Гнейсо-мigmatитовые комплексы Урала. — М.: Недра, 1974.
17. Красильников П.А. Кварцевые жилы Кузнецкихинского месторождения гранулированного кварца // Разведка и охрана недр. 1999. № 3. С. 11—15.
18. Кривцов А.И. Принципы классификации геологических формаций по роли в рудогенезе // Геология рудных месторождений. 1984. № 1. С. 67—71.
19. Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. — М.: Пробел-2000, 2004.
20. Летников Ф.А., Савельева В.Б., Балышев С.О. Петрология, геохимия и флюидный режим тектонитов. — Новосибирск: Наука, 1986.
21. Метаморфизм и тектоника / Под ред. Е.В.Склярова. — М.: Интернет инженеринг, 2001.
22. Мусатронов В.М., Серых Н.М. Сырьевая база природного особо чистого кварца // Минеральные ресурсы России, состояние и перспективы развития. 1997. С. 7—10.
23. Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. Карбонатиты Уфалейского гнейсо-мigmatитового комплекса // Рудные месторождения: вопросы происхождения и эволюции. Мат-лы 4 Уральского металлогенического совещания. — М.: Мисс, 2005. С. 23—26.
24. Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. Минералогия шовных зон Урала. — Екатеринбург, 2004.
25. Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Савичев А.Н. Закономерности размещения и условия образования особо чистого кварца (Уфалейский кварценосный район, Южный Урал) // Докл. РАН. 2005. Т. 40. № 2. С. 233—236.
26. Родыгин А.И. Динамометаморфические горные породы. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 2001.
27. Русинов В.Л. Зоны сдвиговых деформаций в литосфере и их роль в эндогенной активности земли // Геотектоника. 2005. № 3. С. 66—78.
28. Страшненко Г.И. Прогнозно-поисковые работы на особо чистый кварц на Южном Урале // Разведка и охрана недр. 1999. № 3. С. 3—13.
29. Страшненко Г.И., Мельников Е.П. Метаморфогенные месторождения химически чистого жильного кварца // Разведка и охрана недр. 1989. № 6. С. 25—27.
30. Фаворская М.А. К вопросу о моделях рудных формаций и минеральных месторождений // Геология рудных месторождений. 1992. № 4. С. 14—21.
31. Jung L. High purity natural quartz. Quartz Tehnology, Inc., New Jersey. 1995.

Геолого-экономические аспекты освоения кварценозных районов России на особо чистое кварцевое сырье

А.В.ТУРАШЕВА, Ю.А.ШАТНОВ (ВНИИСИМС)

Проблема особо чистого кварца в нашей стране обозначилась в последнее десятилетие в связи с выявившимся глубоким несоответствием качества имеющихся запасов плавленого жильного кварца и потребностей высоких технологий в современной промышленности. Необходимость решения этой задачи объясняется также резким снижением спроса на рядовое сырье, в результате чего минерально-сырьевая база, насчитывающая 4,6 млн.т запасов, а с учетом прогнозных ресурсов (в приведенных значениях) — 10,8 млн.т, остается невостребованной [3]. По мнению специалистов, переоценка на особо чистый кварц отечественного фонда балансовых месторождений и проявлений с целью выявления активной его части обеспечит возможность выхода из создавшегося положения стагнации, определит дальнейшие шаги по устранению дефицита, отразит реальное положение дел и пути развития геологоразведочных работ в отрасли [1—4].

Геологически перспективными кварценозными районами России на такое сырье являются Южно-Уральская (I) и Приполярно-Уральская (II) субпровинции, Прибайкальская (III) и Карело-Кольская (IV) провинции, Кейвский кварценозный узел и Пристановая зона (рис. 1).

Однако реальные перспективы регионов на особо чистый кварц существенно корректируются их геолого-экономическими условиями, с целью определения влияния которых проведен в 1998—1999 гг. и скорректирован в 2004 г. геолого-экономический анализ и ранжирование основных кварценозных объектов. Исследования, предваряющие постановку геологоразведочных работ на стратегически важный высокочистый кварц, заключались в следующем:

1. При определении эффективности разработки месторождений в современных условиях учитывалась *максимально возможная цена* для кварцевых концентратов данного качества с использованием мировых цен на соответствующую продукцию. Затратная часть вычислялась согласно технико-экономическим показателям ТЭО (ТЭД, ТЭС) разных лет и перечню индексов-дефляторов, рекомендованных «Методикой геолого-экономической оценки (переоценки) запасов месторождений твердых полезных ископаемых по укрупненным технико-экономическим показателям» ВИЭМС (1997, 2002).

2. При отрицательном экономическом эффекте рассчитывалась *минимально необходимая цена* для достижения нулевой рентабельности освоения (в случае поднятия отпускной цены над минимально необходимой, технико-экономические показатели разработки будут приближаться к нормативным).

Соотношение цен и комплексный индекс показателей (качество, количество, эффективность освоения) (рис. 2) наглядно иллюстрируют экономическую целесообразность освоения и позволяют выстроить своеобразную иерархию реальной значимости тех или иных объектов в условиях настоящего времени (рис. 3).

Эти условия отражают географическое положение районов и узлов, горно-техническое состояние основных мес-

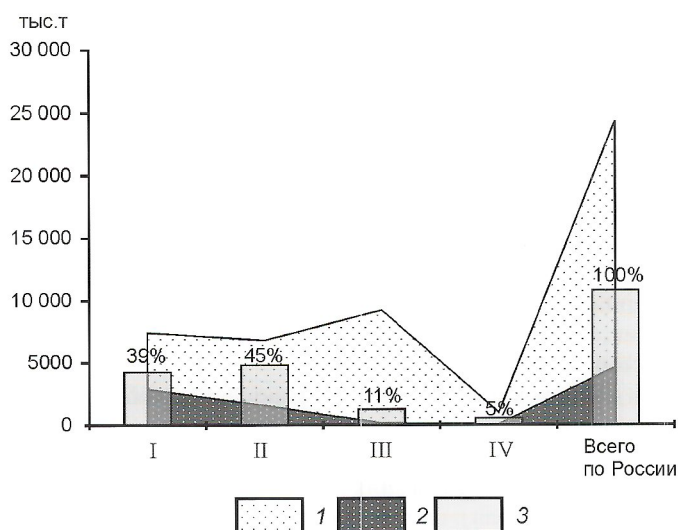


Рис. 1. Распределение минеральных ресурсов по кварценозным провинциям России (прозрачный и гранулированный жильный кварц):

1 — прогнозные ресурсы; 2 — запасы; 3 — запасы+прогнозные ресурсы, приведенные к кат. С₂

торождений и проявлений, а также состояние общей инфраструктуры для разработки потенциальных месторождений

Геолого-экономическая значимость кварценозных территорий как возможных источников особо чистого кварца выстраивается в следующей последовательности:

Южно-Уральская субпровинция (с резервными переоцененными месторождениями Кыштымское (фланги), Агордяшское, Вязовское, Аргазинское, Иткульское, Пугачевское). Приоритетность субпровинции определяется, кроме того, высоким качеством сырья других объектов (Кузнечихинское и Новотроицкое месторождения, Баландинский и Кундравинский участки, отдельные жилы Ларинского узла, Сакмарского района), их масштабами (десятки—сотни тысяч тонн), абсолютной доступностью и наиболее благоприятными условиями залегания. Инфраструктура для освоения объектов (включая базовые предприятия) наиболее подготовлена.

Приполярно-Уральская субпровинция — один из наиболее важных источников сырья повышенного качества. В то же время залегание наиболее перспективных объектов (месторождения Додо, Хусь-Ойка, Пуйва, Нестер-Шор и др.) на восточном склоне Урала, отрезанном от железнодорожной сети (ближайшая железнодорожная станция Ивдель приблизительно в 500 км досягаема лишь в зимнее время), необходимость подземной отработки объектов, существенно удорожает отработку, невозможную без значительных капитальных вложений.

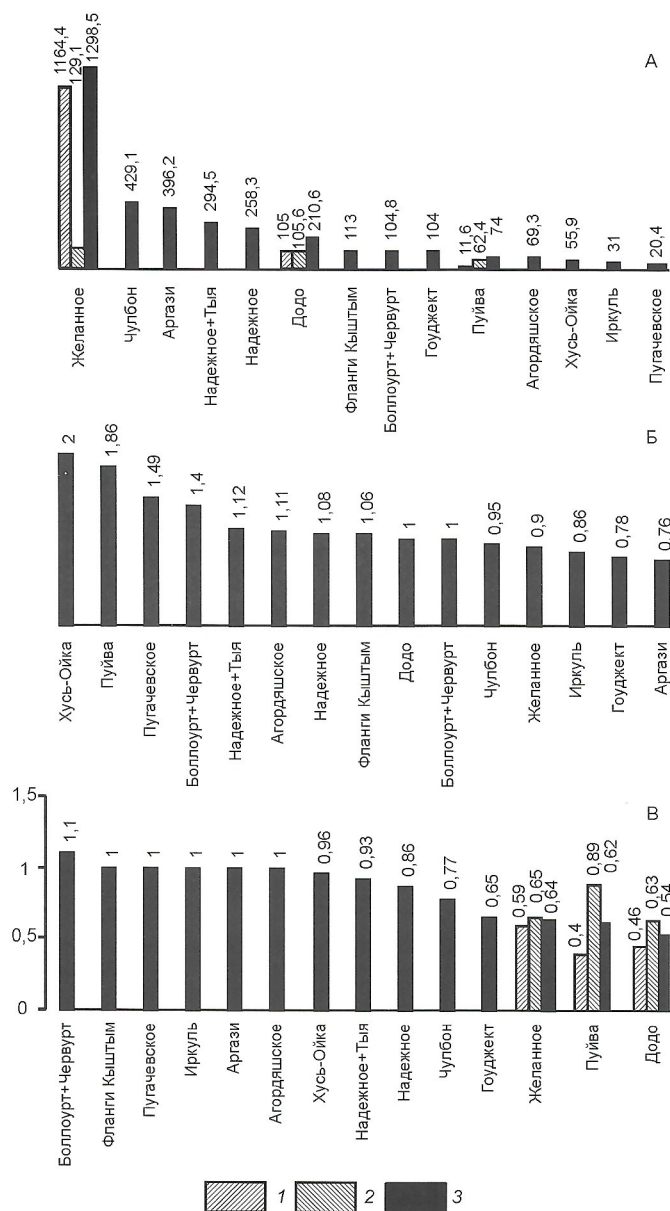


Рис. 2. Ранжирование основных кварценозных объектов Российской Федерации:

А — по количеству запасов (в т.ч. условно приведенных к кат. С₂), тыс. т.; Б — максимально возможной (расчетной по качеству) цене согласно сортности сырья и ассортименту продукции, долл./кг; В — коэффициенту корреляции максимально возможной цены к минимально необходимой цене, доли единиц; способ разработки: 1 — подземный, 2 — открытый; 3 — в целом по месторождению

Ситуация может кардинально измениться в связи с планируемым строительством железной дороги Ивдель—Лабитнанги, резко улучшающей транспортные условия всего восточного склона Приполярного Урала. Об этом свидетельствует проявляемая в последние 3 года со стороны инвесторов, в т.ч. иностранных (ОАО «Полярный кварц»), заинтересованность в вовлечении этого региона в промышленное освоение. На основе пилотной линии получения и обогащения кварцевого концентрата до мировых стандартов IOTA-St, IOTA-4, IOTA-6 из кварца перечис-

ленных месторождений осуществляется один из крупнейших в отрасли инвестиционных проектов — строительство горнообогатительного комбината на основе современных технологий добычи и обогащения стоимостью 78,4 млн.евро.

Месторождение Желанное на западном склоне Приполярного Урала — крупнейшее в России (25% номинальных балансовых запасов плавочного жильного кварца), частично лицензированное и обрабатываемое (ОАО «Ранова»), характеризуется кварцем по качеству более соответствующему сырью для синтеза, в т.ч. высоких сортов КЖ-1, КЖ-2.

Кроме того, следует обратить внимание на северное замыкание субпровинции, по многим характеристикам сходное с Сакмарским кварценозным районом Южного Урала и примыкающее к железнодорожной трассе Воркута—Лабитнанги.

Прибайкальская кварценозная провинция с основными разведанными объектами (Тыйское, Надежное, Чулбонское, Гуджекитское) включает также перспективные на особо чистый кварц районы — Патомский и Восточно-Саянский. Географо-экономические условия районов достаточно сложные, хотя часть из них и входит в зону влияния БАМ (основные крупные объекты в 120—150 км от трассы). Однако качество сырья, масштабы выявленной минерализации и потенциальные возможности (в Восточных Саянах — выход на новый, нетрадиционный источник

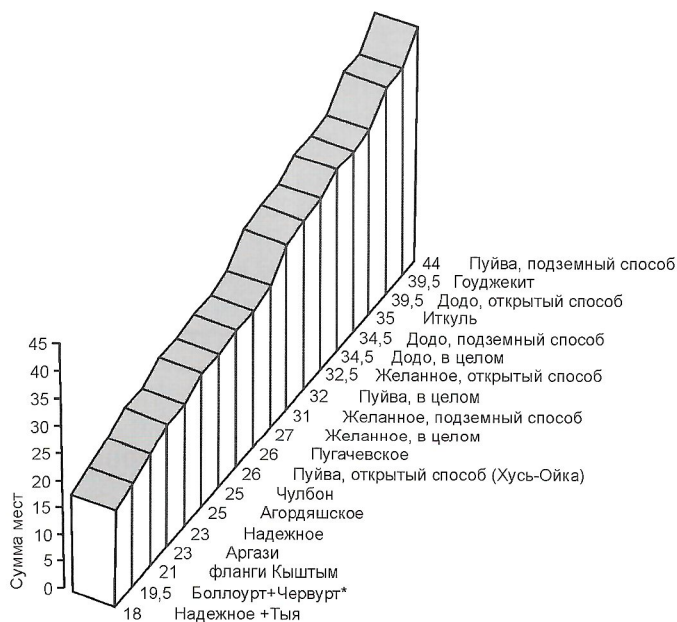


Рис. 3. Рейтинг кварцевых объектов, изучаемых на особо чистый кварц по суммарному показателю количество+качество+эффективность освоения:

Южно-Уральская субпровинция, фланг Кыштым (месторождения: Аргазы, Агордяшское, Пугачевское, Иткуль); Приполярно-Уральская субпровинция (месторождения: Хусь-Ойка, Желанное, Додо, Пуйва); Прибайкальская провинция (месторождения: Надежное+Тыя, Чулбонское, Гуджекитское); Кейвский кварценозный узел — Боллоурт+Червурт (количественная оценка объекта — запасы+ресурсы, приведенные к кат. С₂); без учета узла провинции; баллы верхнего ряда — у объектов с положительным эффектом освоения

особо чистого кварца, «суперкварциты») позволяют оптимистично оценивать общие перспективы региона.

На данной территории в 2005 г. запущен второй по значимости инвестиционный проект (сметная стоимость USD 2650 тыс.) под руководством администрации Бурятии и при участии США с целью создания новых производств проектной мощностью 4 тыс.т кварцевой крупки в год на базе Чулбонского и Гоуджекитского месторождений кварца.

Кейвский кварценозный узел с полями Червуртским, Болорутинским и др. При достаточно высоком качестве жильного кварца (дислокационно-метаморфический тип) и значительных прогнозных ресурсах (939 тыс.т), в случае подтверждения качества опытными технологическими плавками, отработка объектов возможна без серьезных затрат. Они находятся на незначительном удалении от железной дороги (80—100 км), достигаемой с октября по апрель, удобны для открытой разработки. Перерабатывающая база (обогательная линия) не подготовлена, поэтому обогащение сырья проектировалось на потребляющем предприятии.

Пристановая зона включает узлы Колбочинский, Тас-Мюэльский, Иличинский и др. Геологические предпосылки района, а также характеристика выявленных кварцевых проявлений позволяют говорить о его перспективности на особо чистый кварц. Объекты находятся на уровне Патомского района (зона влияния БАМ). Однако отсутствие реальной инфраструктуры для освоения кварценозных объектов позволяет сдержанно относиться к возможностям постановки здесь работ на данный вид сырья.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Ранжирование объектов кварцевого сырья в разведанном объеме числящихся в Государственном балансе запасов позволяет сосредоточить геологоразведочные работы по оценке территорий на особо чистый кварц в наиболее перспективных из них. Следует заметить, что мелкие объекты — до 20 тыс.т (Егустинское, Придорожное, Аятское, Уфимское, Кундравинское и др.), разведанные и поставленные на баланс в последние годы, в рассматриваемой

статье переоценке не участвовали. Ряд крупных лицензированных месторождений (Кыштымское, Кузнечихинское, Ларинское) также не переоценивался, поскольку требовались ревизионные работы по оставшемуся фонду.

2. Более полноценный геолого-экономический анализ всей территории России планируется по завершении проводимых в настоящее время работ по переоценке разведанных запасов на особо чистый кварц посредством геолого-технологического доизучения.

3. Инвестиционные проекты, возникшие благодаря энтузиазму региональной геологической службы и частного предпринимательства, находятся в стадии постановки и развития. При этом оформившиеся к настоящему времени тенденции в финансово-инвестиционной стратегии по производству высокочистого кварцевого концентрата ориентированы на крупные месторождения жильного кварца на основе разработки технологий его обогащения до уровня мировых стандартов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быдтаева Н.Г., Шатнов Ю.А., Серых Н.М., Борисов Л.А. Минерально-сырьевая база кварцевого сырья России — состояние и перспективы ее развития / Материалы Всесоюзной конференции «Сырьевая база неметаллических полезных ископаемых и современное состояние научных исследований в России», 2003.
2. Серых Н.М., Федотов В.К., Атабаев К.К. Минерально-оптическая база кварцевого и оптического сырья: состояние, проблемы, перспективы / Тез. докл. «Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века». 2000. С. 201—202.
3. Турашева А.В. Состояние и проблемы минерально-сырьевой базы кварцевого плавочного сырья Российской Федерации / Докл. междунар. семинара «Кварц. Кремнезем». — Сыктывкар, 2004. С. 178—181.
4. Шатнов Ю.А., Тигетова И.С. Особенности состояния и перспективы развития ресурсной базы кварцевого сырья / Докл. междунар. семинара «Кварц. Кремнезем». — Сыктывкар, 2004. С. 177—178.

УДК 553.64:631.851

© А.Е.Непряхин, 2006

Геолого-технологическая оценка фосфоритовых руд европейской части России

А.Е.НЕПРЯХИН (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»)

Как известно, основная масса природного фосфора используется в виде фосфорных и фосфорсодержащих удобрений. Дефицит минеральных, в т.ч. фосфорных удобрений, сложившийся в России в период экономического спада 90-х годов прошлого века, тем более ошутим в связи с современным развитием сельскохозяйственного производства. В то же время отечественная фосфатно-сырьевая база, занимающая по запасам 5 место в мире, безусловно, достаточна для удовлетворения внутренних потребностей [1]. Вместе с тем востребованность и интенсивная разработка апатитовых руд (группа месторождений Мурманской области) контрастирует с практически полным прекращением (за исключением ракушняковых фосфоритов Кингисеппского месторождения) разработки крупных месторождений желваковых фосфоритовых руд (Вятско-Камское, Егорьевское, Полпинское). В общем балансе добычи фосфатного сырья апатитовые руды составляют

96%, а фосфоритовые только 4%, в то время как разведанные запасы данных руд соотносятся как 4:1 (соответственно), а прогнозные ресурсы P_2O_5 в фосфоритовых рудах в 1,7 раз больше, чем в апатитовых [9].

Технологическая оценка, добыча и обогащение фосфоритовых руд России, традиционно ориентированные на производство фосмуки, в современных экономических условиях оказываются недостаточными и неконкурентоспособными. Комплекс проведенных вегетационных опытов выявил влияние всех основных факторов — тип сельскохозяйственной культуры, вид почвы, природа фосфорита, сопутствующие удобрения — на агрохимическую эффективность фосмуки [7]. С учетом данных факторов универсальность действия фосмуки существенно уступает действию растворимых фосфорсодержащих удобрений.

Использование фосфоритной муки из-за высокой себестоимости производства, низкой агрохимической эффектив-

ности, высоких затрат и потерь при внесении, а также транспортных тарифов, нерентабельно. Спрос на фосмуку в стране упал и единственным доводом в пользу ее использования в качестве непосредственного фосфорсодержащего удобрения является крайний дефицит таких удобрений.

Следовательно, становится актуальной задача технологической оценки новых и переоценки традиционных геолого-промышленных типов фосфоритовых руд с учетом возможности их переработки на концентрированные (растворимые) фосфорсодержащие удобрения.

На территории европейской части России наиболее значительными по запасам и прогнозным ресурсам являются три геолого-промышленных типа фосфоритовых руд: 1) желваковый, отнесенный в данном случае к традиционным и представленный тремя названными месторождениями и множеством мелких месторождений (суммарно промышленные и оцененные запасы составляют 261 млн.т P_2O_5); 2) комплексный песчаниково-зернистый (запасы категории C_2 32,6 млн.т P_2O_5 , прогнозные ресурсы по категории P_1+P_2 237,5 млн.т P_2O_5); 3) гравийно-зернистый, выявленный на территории Пензенской области (суммарные прогнозные ресурсы $P_1+P_2+P_3$ 86 млн.т P_2O_5).

С учетом комплекса технологических параметров и вещественного состава для *желваковых фосфоритовых руд* нецелесообразно использование методов глубокого обогащения (флотация, электромагнитная сепарация, обжиг и др.). Техничко-экономическая несостоятельность сложных технологических схем обогащения применительно к данному сырью доказана многочисленными исследованиями 70—80-х годов прошлого века. Однако для фоссырья из желваковых фосфоритов в настоящее время выявляются три основных направления использования:

1. Совместная переработка апатитового и фосфоритового сырья с усреднением качественных параметров в конечном продукте.

2. Переработка фосмуки по модифицированным технологиям с получением продуктов более высокой агрохимической эффективности.

3. Разработка нетрадиционных технологий химической переработки.

Первое направление связано с использованием фосфоритной муки в составе новых форм комплексных удобрений, которые получают при введении фосфоритной муки на определенной стадии технологического процесса без расхода дополнительного количества кислоты на ее разложение. Такие процессы экономичнее процессов производства традиционных форм удобрений за счет получения 10—30% усвояемой P_2O_5 без дополнительной затраты кислот и других химических реагентов.

Одно из таких удобрений — аммофосфат — комплексное азотно-фосфорное удобрение, содержащее 38—46% P_2O_5 общ., 26—31% P_2O_5 вод. и 4—7% N (в зависимости от вида перерабатываемого сырья). По существу, аммофосфат — промежуточный продукт между двойным суперфосфатом и аммофосом. Усвояемый растениями фосфор представлен в аммофосфате моноаммонийфосфатом, а также моно- и дикальцийфосфатами.

Другими новыми продуктами, получаемыми с использованием предварительно химически необработанной фосфоритной муки, являются гранулированные NP-, PK- и NPK-удобрения с фосфоритной мукой. Основная задача, ставившаяся при разработке подобных продуктов, — повышение агрохимической эффективности фосфоритной

муки, главным образом за счет снижения ее потерь с пылью при внесении в почву.

К первому направлению следует отнести разработанную ОАО «НИУИФ» совместно с АООТ «Минудобрения» [3] технологию получения из мытого концентрата низкосортного труднообогащаемого фоссырья нового фосфорного удобрения *димонофосфата кальция*. Сырьем для производства димонофосфата кальция служат: упаренная экстракционная фосфорная кислота концентрацией 30—53% P_2O_5 , получаемая из апатитового концентрата и мытый фосфоритовый концентрат, содержащий не менее 17% P_2O_5 , измельченный до крупности стандартной фосфоритовой муки.

В рамках второго направления проведены технологические исследования фосмуки АО «Верхнекамский фосфоритный рудник» (ВКФР). На основании оптимизации стандартных технологических схем получены следующие продукты: 1) *простой суперфосфат*: $P_2O_{5\text{усв.}}$ 11,3%, $P_2O_{5\text{свобод.}}$ 0,98%; 2) *двойной суперфосфат*: $P_2O_{5\text{усв.}}$ 39,2%, $P_2O_{5\text{вод.}}$ 32,8%, $P_2O_{5\text{свобод.}}$ 8,86%; 3) *аммофос* порошковидный из вятско-камских фосфоритов: $P_2O_{5\text{общ.}}$ 52,6%, $P_2O_{5\text{штр.}}$ 51,8%, $P_2O_{5\text{вод.}}$ 38,1%, $N_{\text{амм.}}$ 9,22%. Сопоставление параметров показывает, что синтезированные продукты не удовлетворяют техническим требованиям, предъявляемым к стандартным аналогам. Однако агрохимическая эффективность синтезированных и стандартных удобрений, определенная в ходе вегетационных испытаний и полевых опытов на базе Татарского научно-исследовательского института агрохимии и почвоведения, оказалась идентичной в прибавке урожая, улучшении качества сельскохозяйственной продукции и положительном влиянии на агрохимические свойства почвы.

Третьим направлением в технологии производства концентрированных фосфорсодержащих удобрений из желваковых фосфоритов является развитие метода *мягкого* кислотного выщелачивания. Суть метода заключается в избирательном выщелачивании (растворении) фосфатного вещества слабыми растворами минеральных кислот [5]. За счет проведения процесса в мягких условиях достигается существенная экономия расхода кислот и получается продукт высокого качества, не подверженный ретроградации. Однако для реализации этого направления потребуется модернизация производственно-технической базы.

Новый нетрадиционный вид сырья *песчаниково-зернистый* геолого-промышленный тип фосфоритовых руд выявлен (Н.Н.Иконников, О.В.Осауленко, Н.И.Прокофьева, 1988) на территории Брянской области. В качестве перспективной в настоящее время выделяется Унеча-Крапивенская зона россыпей фосфат-титан-циркониевых песков с наиболее изученным Унечским месторождением. Россыпи прослеживаются с северо-востока области на юго-запад на 120 км. Мощность рудного пласта в среднем около 3 м с содержанием P_2O_5 порядка 8% и минералов тяжелой фракции 3%. Мощность вскрышных пород на севере зоны составляет первые метры, на остальной территории — десятки метров и на юго-западе увеличивается до 130 м.

Фосфатное вещество представлено главным образом в виде корочек и пленок на рудных минералах (73—52%, относительное содержание), а также в виде самостоятельных зерен (33,9—8,9%, относительное содержание). Параллельные технологические исследования по обогащению и переработке руд проводились в ГИГХС, Гиредмет, ИМГРЭ, ВИМС, ВНИИгеолнатур, ЦЛ ПГО «Центргеология».

Сложная разветвленная схема обогащения, основанная на флотации и различных видах сепарации, разработанная институтом минеральных ресурсов (ИМР), достаточно дорогостоящая. Товарными продуктами при переработке руд определены следующие: ильменитовый, рутиловый, лейкоксеновый, цирконовый концентраты, известняковая мука, гранатовый, эпидотовый, дистен-силлиманитовый, полевошпатовый продукты и кварцевые пески.

Целевые фосфатные продукты в данной схеме — фосфоритовые продукты: фосмука марки В с содержанием P_2O_5 23,13% и извлечением в него P_2O_5 21,6% от исходного содержания; фосмука марки С с содержанием P_2O_5 19,06% и извлечением P_2O_5 24,3%, а также нитрофос, извлечение в который составляет P_2O_5 25,3%. Суммарное извлечение P_2O_5 в указанные продукты — 71,2%.

Схема, предложенная ГИГХС, в качестве основной стадии предполагала кислотную обработку класса крупности $-0,16+0,04$ мм и выделение в самостоятельный фосфоритовый продукт (фосмуку) класса $+0,16$ мм. Основной недостаток данной схемы — высокая кислотоемкость технологического процесса. Схемы обогащения, предполагающие операцию оттирки фосфатного вещества или использование метода избирательного измельчения, приводят к значительным потерям полезных компонентов в шламах.

Выщелачивание как альтернативный метод наиболее предпочтительно для снятия и перевода в раствор фосфатного вещества, находящегося в виде оболочки на других минералах. В данном случае могут существенно снизиться расходы на рудоподготовку. Извлечение основного компонента составит порядка 90%, а попутные компоненты после снятия фосфатных оболочек разделяются на товарные продукты с лучшими технологическими параметрами и качеством. Кроме того, весь растворенный фосфат перерабатывается в целевое концентрированное фосфорсодержащее удобрение, которое существенно эффективнее фосмуки.

Что касается горно-геологических условий, то глубина залегания руд на большей части Унеча-Крапивенской зоны превышает 40 м и нижние продуктивные горизонты сильно обводнены. Поэтому традиционные способы добычи (открытый — карьерный, закрытый — шахтный) неприемлемы. Один из перспективных способов добычи песчаниково-зернистых фосфоритов — скважинная гидродобыча (СГД), которая применима для всех легкодиспергируемых, пористых, рыхлых, слабосвязанных и обводненных залежей полезных ископаемых, характеризующихся предельно высокими глубинами залегания.

Следовательно, геолого-технологическая оценка комплексных фосфат-титан-циркониевых песчаниково-зернистых руд предполагается на базе технологической схемы отработки (добыча и переработка) с использованием в качестве основных методов скважинной гидродобычи и выщелачивания. Данные методы легко сочетаемые и наиболее приемлемые для Унечского месторождения.

Основными технологическими стадиями процесса отработки Унечского месторождения фосфоритов в соответствии с данной схемой являются: 1) скважинная гидродобыча руды; 2) обесшламливание пульпы в гидроциклонах с выделением известняковой муки; 3) кучное выщелачивание P_2O_5 на оборудованных площадках карты намыва; 4) переработка продуктивных растворов на концентрированные фосфорсодержащие удобрения; 5) выделение концентратов попутных компонентов из хвостов выщелачивания.

Гравийно-зернистые фосфориты Пензенской области по суммарному ресурсному потенциалу и качеству отнесены (М.И.Карпова, С.В.Межуев, 2004; П.П.Сенаторов и др., 2005) к числу перспективных объектов для расширения фосфатной сырьевой базы Приволжского округа. Их технологическая оценка с учетом возможности переработки на концентрированные фосфорсодержащие удобрения, представленная в данной работе, проводилась на лабораторно-технологических пробах (табл. 1) следующих проявлений — Ширококладкинское (Т-1), Ростовкинское (Т-2), Решетинское (Т-3), Черкасское (Т-4), Верхнеломовское (Т-5) и Рахмановское (Т-6).

Процесс первичного обогащения лабораторно-технологических проб характеризуется высоким извлечением P_2O_5 , но качество первичных концентратов (см. табл. 1) по основному компоненту (P_2O_5 15,4—18,12%, в среднем по пробам P_2O_5 17,34%) не удовлетворяет требованиям для производства стандартной фосмуки (19%). В то же время, низкие значения в фосконцентрате первичного обогащения модулей железистости ($M_{ж}$ от 0,034 до 0,12, в среднем 0,074) и карбонатности ($M_{к}$ от 0,14 до 0,20, в среднем 0,18), а также параметров R_2O_3/P_2O_5 и модуля магниальности ($M_{м}$ от 0,01 до 0,023, в среднем 0,016), предполагают возможность переработки данного сырья на фосфорсодержащие удобрения.

При оценке первичных концентратов нами использовались физико-химические особенности азотнокислотной переработки [4]. Азотно-фосфорнокислотные вытяжки, извлечение P_2O_5 в которые составило более 98%, подвергались аммонизации. Полученные продукты характеризуются хорошими качественными параметрами и физико-механическими свойствами. При высоком суммарном содержании питательных компонентов (50,76%), доля усвояемой P_2O_5 составляет 94,16% (относительное содержание). Соотношение $N/P_2O_5=0,8/1$ позволяет обосновать возможность получения при добавлении КСl уравновешенной по питательным компонентам нитрофоску.

Качество продуктов переработки практически не зависит от процессов ретроградации, поэтому можно отнести руды всех изученных проявлений к одному технологическому сорту — бескарбонатные маложелезистые фосфоритовые руды.

Процессы глубокого обогащения гравийно-зернистых фосфоритов характеризуются определенными особенностями. Полная раскрываемость фосфата кальция и сопутствующих минералов достигается при размерности $-0,1$ мм, что представляет некоторые технологические трудности. Столь тонкое измельчение приводит к повышенному выходу шламистой фракции ($-0,05$ мм), обогащение которой технически затруднительно и связано с существенными потерями полезного компонента. На практике степень измельчения не доводят до полной раскрываемости минеральных агрегатов. Поэтому первичные концентраты подвергались дальнейшему обогащению при измельчении по классу крупности $-0,315$ мм.

В табл. 2 представлены результаты гравитационного обогащения по классу плотности $+2,75$ г/см³ (диметилформамид+бромформ) первичных концентратов, измельченных по классу крупности $-0,315$ мм и общие технологические потери процесса глубокого обогащения.

Невысокие технологические потери (см. табл. 2) определяют возможность получения концентратов глубокого

1. Количественный химический анализ фосфоритовых руд и их концентратов

Исходная проба	Проба, концентрат	Содержание на абсолютно сухую навеску, %										
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ	CO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	F
Т-1	Исходная	73,25	0,09	0,91	1,43	1,32	12,75	0,13	0,15	0,44	7,78	0,85
	Первичный	41,37	0,07	0,71	0,61	3,46	30,20	0,18	0,51	0,34	18,12	2,25
	Гравитационный	14,12	0,12	0,81	0,76	5,15	42,96	0,29	0,59	<0,01	27,10	2,99
Т-2	Исходная	74,42	0,49	2,29	1,63	1,11	10,09	0,33	0,20	0,82	5,90	0,67
	Первичный	41,86	0,29	1,43	1,36	3,35	28,15	0,33	0,51	0,47	17,13	1,95
	Гравитационный	12,49	0,45	1,06	1,58	4,96	43,67	0,30	0,60	0,06	26,12	2,39
Т-3	Исходная	75,0	0,16	1,31	1,26	1,15	11,07	0,29	0,15	0,68	6,57	0,73
	Первичный	40,10	0,14	1,51	1,09	3,46	29,74	0,29	0,61	0,41	18,05	2,08
	Гравитационный	12,47	0,19	1,10	1,31	5,13	42,88	0,37	0,57	<0,01	26,78	3,20
Т-4	Исходная	51,80	0,20	1,19	2,26	2,28	23,15	0,21	0,26	0,43	14,50	1,57
	Первичный	42,85	0,15	1,14	2,10	2,43	27,74	0,19	0,34	0,36	17,75	2,02
	Гравитационный	15,69	0,37	1,17	1,75	3,73	41,27	0,28	0,49	0,10	26,63	3,05
Т-5	Исходная	66,13	0,20	1,79	2,18	1,65	14,72	0,38	0,26	0,90	8,93	1,00
	Первичный	47,35	0,18	1,26	1,44	2,92	25,45	0,35	0,40	0,53	15,38	1,79
	Гравитационный	10,61	0,80	1,51	1,79	4,94	44,84	0,41	0,61	0,12	26,02	2,51
Т-6	Исходная	68,40	0,34	1,51	1,41	1,56	14,26	0,26	0,25	0,64	8,50	0,97
	Первичный	41,11	0,35	1,10	0,99	3,40	29,03	0,28	0,52	0,40	17,58	2,11
	Гравитационный	14,92	0,67	1,72	1,71	5,04	41,67	0,41	0,60	0,21	25,22	2,33

обогащения (см. табл. 1) (P₂O₅ 27,1—26,63%, M_к 0,19, M_ж 0,028—0,066, M_{Мг} 0,011) из руд проявлений Ширококладкинское (Т-1) и Черкасское (Т-4). Эти концентраты могут быть использованы непосредственно для стандартной химической переработки на растворимые фосфорсодержащие удобрения и экстракционную фосфорную кислоту. Изучение нерастворимого остатка исходных руд выявляет ряд по-

путных компонентов, получение которых возможно при комплексной переработке пензенских фосфоритов.

Общие результаты гравитационного разделения и электромагнитной сепарации легкой фракции (–2,89 г/см³) нерастворимого остатка приведены в табл. 3. Суммарный выход аксессуарных минералов в пробах колеблется от 0,405 до 0,868%, составляя в среднем 0,59%. Минераль-

2. Результаты гравитационного обогащения по классу плотности +2,75 г/см³ первичных концентратов и общие технологические параметры обогащения гравийно-зернистых фосфоритов (в %)

Пробы	Выход концентрата	Содержание P ₂ O ₅ в концентрате	Извлечение	Технологические потери	Общие технологические потери
Т-1	61,77	27,1	92,38	7,62	25,8
Т-2	37,86	26,12	57,73	42,27	94,8
Т-3	51,17	26,78	75,92	24,08	58,39
Т-4	51,71	26,63	77,58	22,42	27,39
Т-5	39,16	25,22	64,21	35,79	71,65
Т-6	49,96	26,02	73,95	26,05	57,26

3. Результаты гравитационного разделения и электромагнитной сепарации нерастворимого остатка гравийно-зернистых руд (в %)

Пробы	Общий выход нерастворимого остатка	Выход фракций				
		Тяжелая (+2,89 г/см ³)	Магнитная	Слабomagнитная	Немагнитная	Шламистая (-0,05 мм)
T-1	75,0	0,410	0,78	1,01	65,80	7,0
T-2	79,72	0,787	3,11	2,25	68,33	5,24
T-3	79,37	0,405	2,87	0,95	71,98	3,22
T-4	55,44	0,473	2,10	1,22	47,57	4,08
T-5	71,19	0,583	5,24	1,75	58,91	4,70
T-6	73,67	0,868	2,92	1,11	66,28	2,50

ный состав тяжелой фракции (2,89 г/см³) нерастворимого остатка представлен в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что в тяжелой фракции (2,89 г/см³) нерастворимого остатка преобладают рутил (17—34%, в среднем 28%), циркон (12—35%, в среднем 23,7%), кианит (10—33%, в среднем 21,5%). Остальные минералы имеют подчиненное значение. Таким образом, основной вклад в минеральный состав тяжелой фракции вносят минералы титана и циркония, а также кианит.

Минимальное промышленное содержание оксидов титана и циркония в рудах россыпных месторождений составляет 0,46—1,88% [2, 6]. Учитывая высокую стоимость концентратов тяжелых минералов (в USD за 1 т [8]): рутиловый 500—750, цирконовый 550—650, кианитовый 70—160, которые в среднем в 20 раз выше стоимости 1 т Р₂О₅ в концентрате (23 долл.), а также легкость их попутного извлечения, совершенно очевидно, что в определении технологического типа и стоимостной оценки гравийно-зернистых фосфоритовых руд Пензенской области необходимо учитывать их полиметалльную составляющую.

Оптико-минералогический, рентгено-фазовый и химический анализы выделенных электромагнитной сепарацией фракций позволяют охарактеризовать их как мономинеральные концентраты высокого качества: кварцевый — немагнитная фракция; глауконитовый — магнитная фракция.

Кварцевое сырье, полученное из пензенских фосфоритов, характеризуется высокой чистотой и может использоваться в качестве стекольных песков для производства изделий высокой и пониженной светопрозрачности (ВС-030-В, ВС-050-2, ПС-250, ГОСТ 22551-77): листового технического стекла, автомобильного стекла, стеклоблока для специальных изделий. Стоимость такого кварцевого сырья существенно выше стоимости формовочных песков на основе кварца.

Глауконитовые концентраты характеризуются средним минеральным составом: глауконит 90%, кварц 5%, полевой шпат, слюда, гидроксиды железа. Для сравнения отметим, что в процессе обогащения комплексных фосфатных титан-циркониевых руд Унечского месторождения выделяется глауконитовый концентрат, содержащий

4. Минеральный состав тяжелой фракции нерастворимого остатка гравийно-зернистых руд

Минералы	Содержание минералов по пробам, %					
	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
Рутил	34	32	30	17	28	27
Кианит	14	10	33	32	30	10
Циркон	20	30	12	31	14	35
Гранат	15	14	15	5	16	14
Эпидот	9	6	1	7	4	6
Ильменит	6	7	7	6	8	7
Лимонит	2	1	—	2	—	1

глауконита 55%, кварца 12% и прочих минералов 33% (K_2O 4,12%). Глауконитовые концентраты из пензенских фосфоритов характеризуются более высокой чистотой. Содержание K_2O в них составляет в среднем 6,3%. Они могут использоваться в качестве пигментов с целью смягчения питьевой воды, а также улучшения качества почв.

Несомненные преимущества всей совокупности свойств гравийно-зернистых фосфоритов по сравнению с фосфоритами желвакового типа открывают перспективы промышленного освоения фосфатных объектов Пензенской области.

Оценка гравийно-зернистых фосфоритовых руд Пензенской области определяет возможность химической переработки первичных концентратов на растворимые фосфорсодержащие удобрения — нитрофосфаты хорошего качества, а также стандартной переработки концентратов глубокого обогащения, получения концентратов акцессорных минералов, кварцевого и глауконитового концентратов. Изученные руды отнесены к одному технологическому сорту — бескарбонатных маложелезистых поликомпонентных фосфоритовых руд.

Комплексная геолого-технологическая оценка новых геолого-промышленных типов фосфоритовых руд, а также переоценка желваковых фосфоритовых руд европейской части России с учетом возможности производства растворимых удобрений, безусловно, должна способствовать развитию минерально-сырьевой базы фосфоритовых руд и ликвидации дефицита фосфорных удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баталин Ю.В., Карпова М.И., Фахрутдинов Р.З. Сырьевая база агрохимического сырья России как основа повышения эффективности производства и потребления минеральных удобрений // Неметаллические полезные ископаемые России: современное состояние сырьевой базы и актуальные проблемы научных исследований. — М., 2004.
2. Блинов В.А., Короленко Н.В. Минеральное сырье. Титан // Справочник. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998.
3. Бродский А.А., Букколини Н.В., Ангелов А.И., Казак В.Г. Использование бедных желваковых фосфоритов в производстве комплексных удобрений / Фосфатно-сырьевая база Башкортостана, перспективы развития и освоения. — Люберцы, 1999.
4. Гольдинов А.Л., Копылев Б.А., Абрамов О.Б., Дмитриевский Б.А. Комплексная азотнокислотная переработка фосфатного сырья. — Л.: Химия, 1982.
5. Непряхин А.Е., Садыкова Н.П., Чайкин В.Г. Геотехнологическая переработка фосфатных техногенных руд // Разведка и охрана недр. 1997. № 4. С. 12—14.
6. Осокин Е.Д., Бойко Т.Ф., Линде Т.П. Минеральное сырье. Цирконий и гафний // Справочник. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997.
7. Прянишников Д.Н. Агрохимия. — М.: Колос, 1965.
8. Сырьевые промышленные товары // БИКИ. 2004. № 95 (8741).
9. Фахрутдинов Р.З., Карпова М.И., Садыков И.С., Туманова Т.Р., Межуев С.В. Минерально-сырьевая база фосфатного сырья России: состояние, проблемы и пути развития // Разведка и охрана недр. 2005. № 9. С. 11—15.

УДК 553.6

© Коллектив авторов, 2006

Научно-методическое и аналитико-технологическое обеспечение геологоразведочных работ на нерудные полезные ископаемые Южного федерального округа

Е.В.БЕЛЯЕВ, В.Г.ЧАЙКИН, Ю.В.БАТАЛИН, У.Г.ДИСТАНОВ, А.В.КОРНИЛОВ (ФГУП «ЦНИИГеолнеруд»), М.М.КУРБАНОВ (ФГУП «Севкавгеология»), А.А.САБИТОВ (ФГУП «ЦНИИГеолнеруд»)

Всю историю существования России южные территории являлись регионом сосредоточения важнейших политических, национальных и экономических интересов и проблем. В то же время юг России представляет собой один из самых отсталых регионов по уровню социально-экономического развития. Так, валовой региональный продукт Южного федерального округа в настоящее время значительно ниже среднероссийского, а уровень безработицы почти вдвое превышает средний показатель по стране.

Основой радикального изменения социально-экономической ситуации в регионе могут служить его богатые минерально-сырьевые ресурсы, значительное место среди которых занимают нерудные полезные ископаемые.

Для реализации существующих потребностей в Южном федеральном округе имеется мощная минерально-сырьевая база, представленная более чем 300 месторождениями 31 вида нерудных полезных ископаемых. В их число входят виды: стратегические (пьезооптическое сырье, мусковит), ликвидные на мировом рынке (опал-кристобалитовые породы, минеральные соли, фосфориты, пески формовочные и стекольные, минеральные пигменты, серосодержащее сырье, полевошпат, камнесамоцветное сырье, бор, облицовочные камни, абразивы, кварциты, цеолитсодержащее сырье, перлиты, магнезиальные силикаты, гли-

ны огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие светложущиеся, апатит), дефицитные (бентониты, высокоглиноземистое сырье, волластонит, барит, графит) и прочие регионального значения (карбонатное и битумсодержащее сырье, гипсы, ангидриты, грязи лечебные, глауконит-фосфатные породы, торф, сапропели).

Государственным балансом полезных ископаемых учтены 20 видов сырья (см. таблицу). Наибольшее число месторождений представлено песками формовочными и стекольными, минеральными солями и облицовочными камнями. В распределенный фонд входят 37 месторождений, нераспределенными являются 31 объект. Большая часть месторождений эксплуатируется (25) или подготовлена к освоению (11), в государственном резерве находятся 29 объектов. В административном отношении преобладающее число месторождений расположено в северных субъектах округа: Волгоградская область (19), Краснодарский край (12), Ростовская область (11), Ставропольский край (3) и Астраханская область (2). На Северном Кавказе наибольшим потенциалом обладают Республики Дагестан (7), Кабардино-Балкарская (7), Карачаево-Черкесская (4) и Северная Осетия-Алания (4). Крайне низка обеспеченность разведанными запасами республик Адыгея, Чеченская и Калмыкия.

Запасы месторождений твердых нерудных полезных ископаемых Южного федерального округа

Вид сырья	Запасы на 1.01.2004 г.			Единицы измерения	Месторождения
	A+B+C ₁	C ₂	Забалансовые		
Абразивы	100074	—	—	тыс.т	Орловское-1
Бор	67	11	—	тыс.т В ₂ O ₃	Гора Золотой Курган
Глины					
бентонитовые	13101	6862	—	тыс.т	Герпегежское, Нальчикское
монтморилонитовые	8576	—	2022	«	Черноморское, Тарасовское
огнеупорные	10150	—	—	«	Красногорское-2
тугоплавкие	14444	—	—	«	Владимировское, Гуковское, Киселевское
Камнесмоцветное сырье	457	1764	—	т	Красная Поляна, Уривок, Ахметовское и др.
Кварциты	10420	424	248	тыс.т	Мешковское, Тарасовское и др.
Кремнистое сырье					
опока	107088	4205	—	тыс.м ³	Баканское, Усть-Грязнухинское, Ширияевское и др.
диатомит	1355	—	—	«	Песковатско-Лопатинское, Мальчевское
трепел	105	—	—	«	Успенское
Минеральные пигменты	1386	—	—	тыс.т	Бечасын-Бермамытское, Талгинское
Облицовочные камни	20648	3889	—	тыс.м ³	Ленчикайское, Тегиньское, Геналдонское
Пески					
стекольные	92322	851183	—	тыс.т	Серное, Елшанское, Благодарненское и др.
формовочные	225448	32824	—	«	Карпов-Ярское, Северо-Челюскинское и др.
Сера газовая	935905	411012	—	«	Астраханское
Соли минеральные					
каменная соль	3922396	7034000	—	«	Шедокское, Светлоярское
хлористые соли	50297	1520781	—	«	Гремячинское, Городищенское и др.
садовая соль	119990	3035037	525527	«	Баскунчакское, Оз.Эльтон
соли магниевые	129169	—	811	«	Оз.Эльтон
Торф	—	922	950	«	Перспективные площади Волгоградской обл.
Фосфориты	1279	66	—	тыс.т Р ₂ O ₅	Камышинское
Цементное сырье					
карбонатные породы	2372042	342475	37678	тыс.т	Себряковское, Джегутинское, Новороссийское 1+3 и др.
глинистые породы	353183	44318	—	«	Черкесское, Дуба-Юртовское
гидравлические добавки	110370	137212	—	«	Ширияевское, Баканское

Однако состояние и использование минерально-сырьевой базы нерудных полезных ископаемых в последние годы значительно ухудшилось, что напрямую связано с обострением экономической ситуации, сокращением бюджетного финансирования, снижением роли государства в

регулировании горных отраслей. Наиболее привлекательные по геолого-экономическим и горно-техническим параметрам месторождения перешли в распределенный фонд недр. Месторождения нераспределенного фонда или представлены менее качественными труднообогатимыми

рудами, или расположены в неблагоприятных географо-экономических условиях.

Восстановление и развитие минерально-сырьевой базы нерудных полезных ископаемых во многом зависит от геолого-экономической и аналитико-технологической переоценки месторождений нераспределенного фонда и минерагенического потенциала перспективных проявлений и прогнозных площадей. Важное значение в решении данной проблемы имеют научно-методические, прогнозно-минерагенические и аналитико-технологические исследования, сопровождающие и опережающие поисковые и поисково-оценочные работы.

Все перечисленные исследования проводятся в настоящее время в ЦНИИГеолнеруд в рамках государственного контракта «Геолого-экономическая и аналитико-технологическая оценка минерально-сырьевых ресурсов неметаллических полезных ископаемых Южного федерального округа с разработкой программы и рекомендаций по геологическому изучению и реализации инвестиционного потенциала региона». Основа проводимых исследований — многочисленные научные и научно-методические разработки института, касающиеся прогнозно-минерагенической области, количественного прогнозирования и геолого-экономической оценки прогнозных ресурсов, поисковых и поисково-оценочных работ, прогнозно-поисковых комплексов геолого-промышленных типов месторождений и др.

Важный элемент геолого-экономической переоценки ресурсов — прогнозно-минерагенические исследования, начало которым было положено в 70-е годы XX в. Р.Н.Валеевым, Е.М.Аксеновым и Л.Ф.Солонцовым [1, 2], заложившими основы минерагенического анализа платформенных и складчатых областей и разработавшими основные принципы минерагенического анализа платформ. В эти же годы В.Г.Чайкин, В.А.Антонов и Р.Г.Гарнян [3] в рамках решения крупнейшей проблемы по комплексной оценке неметаллических полезных ископаемых СССР провели минерагеническое районирование территории Кавказа.

В настоящее время сотрудниками ЦНИИГеолнеруд проводятся прогнозно-минерагенические исследования территории Южного федерального округа, которые включают анализ закономерностей размещения и условий образования месторождений, минерагеническое районирование, выделение перспективных площадей и оценку прогнозных ресурсов 31 вида минерального сырья.

В качестве примера можно привести перспективную оценку Северного Кавказа на кристаллический графит, проведенную С.Г.Глебашевым. Как известно, промышленные месторождения и промышленно-перспективные проявления графита на изучаемой территории отсутствуют. Однако имеется ряд предпосылок и признаков, которые позволяют оконтурить прогнозные площади, благоприятные для поисков графитовых месторождений. Наибольшие перспективы связаны с метаморфическими породами уллучиранской свиты и ее аналогов (PR₂), широко распространенными в зоне Главного хребта. Потенциально графитоносные комплексы приурочены к древним структурам, осложненным глубинными разломами, являющимися каналами для поступления восстановленных углеродно-водородных ювенильных флюидов. При стрессовом метаморфизме и метасоматозе значительные скопления углеводородного вещества могут быть преобразованы в промышленно-перспективные залежи кристаллического графита.

Проведенные исследования позволили выделить ряд перспективных площадей, наибольший интерес из которых представляют Черекско-Безенгийская и Черекско-Балкарская. Выделенные площади отвечают участкам крупных блоков. Их докембрийские образования регионально метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. В пределах площадей перспективны зоны разломов, сложенные тектонитами уллучиранской свиты с содержанием крупночешуйчатого графита до 4—5%.

В долине р.Баксан оконтурена Южно-Баксанская прогнозная площадь, сложенная мощной (более 1500 м) толщей тонкосланцеватых плагигнейсов, плагито- и мусковит-хлорит-кварцевых сланцев с прослоями и линзами мраморов. В указанных породах в долинах рек Адылсу, Юсеньга и Ирик отмечаются чешуйки графита размером 1—4 мм. Мощность графитоносных тел достигает 50 см, протяженность — 200 м и более. Мощность продуктивного горизонта оценивается в 300—350 м.

В долинах рек Баксан, Малый и Большой Зеленчук выделяется по строению и составу метаморфических комплексов еще ряд прогнозных площадей, близких уже указанным. По предварительным оценкам ряд объектов может быть отнесен к федеральному уровню и после дополнительных крупномасштабных прогнозно-минерагенических и аналитико-технологических исследований рекомендован для постановки поисковых работ.

Научно-методическое сопровождение, осуществляемое специалистами ЦНИИГеолнеруд на всех стадиях геологоразведочного процесса от прогноза до разведки, может быть продемонстрировано на примере месторождений бентонитов. Прогнозно-минерагеническими исследованиями института в начале 70-х годов прошлого столетия была предположительно выделена потенциальная бентонитоносность палеоген-неогеновых отложений Предкавказского прогиба. По рекомендации института проведены поисковые работы в пределах Нальчикско-Черекской площади. В результате в абазинской свите палеоцена был установлен пласт бентонита и выделено 6 перспективных участков. Изучение вещественного состава глин показало, что приповерхностная часть пласта (до глубины 25 м) сложена щелочноземельным (Са- и Са-Na) бентонитом, а более глубокие горизонты — щелочным (Na) бентонитом.

В конце 80-х годов XX в. по рекомендации и разработанной методике ЦНИИГеолнеруд при его аналитико-технологическом участии Кабардино-Балкарская геологоразведочная экспедиция (ГРЭ) провела разведку Герпегежского месторождения. Было установлено, что продуктивный пласт месторождения содержит пять природных типов сырья, в т.ч. щелочные бентониты разной степени известковистости. В настоящее время обществами с ограниченной ответственностью «Налмининдастри» и «Бентонит» получены лицензии на разработку месторождения и начата опытная добыча сырья.

В 2002 г. институтом была обоснована необходимость выявления новых сырьевых баз щелочного бентонита. В качестве перспективного был рекомендован Центральный участок Нальчикско-Черекской площади, на котором Кабардино-Балкарская ГРЭ в 2005 г. провела поисково-оценочные работы. Методическое обеспечение и аналитико-технологические исследования осуществлялись сотрудниками института.

По особенностям вещественного состава и технологических свойств глин в продуктивном пласте Центрального

участка установлены природные разновидности и технологические типы бентонита. В пределах Центрального участка в продуктивном пласте выделено три природных разновидности бентонитовых глин — слабоизвестковистая ($\text{CaO} < 5\%$), известковистая ($5-8\%$) и сильноизвестковистая ($\text{CaO} > 8\%$).

По результатам лабораторно-технологических испытаний установлено, что слабоизвестковистый бентонит представляет собой комплексное сырье, пригодное для производства буровых и формовочных глинопорошков и адсорбционных материалов. Известковистые и сильноизвестковистые бентониты пригодны для производства буровых глинопорошков. В настоящее время участок подготовлен для передачи инвестору, разработан пакет документов для его лицензирования.

Таким образом, участие сотрудников ЦНИИгеолнеруд обеспечило успешное проведение всех стадий геологоразведочных работ на бентониты Северного Кавказа.

Как известно, субъекты Южного федерального округа испытывают острую нехватку минеральных удобрений. С целью ликвидации исторически сложившегося дефицита исследователями обоснована целесообразность производства калийных удобрений на базе Гремячинского месторождения Волгоградской области. Поскольку шахтное освоение месторождения достаточно трудоемко из-за сложных горно-геологических условий и необходимости крупных стартовых инвестиций на шахтное вскрытие, сотрудниками института предложена технология разработки месторождения скважинным способом через горизонтальные камеры. Разработаны различные модификации скважинного способа, основанные на комбинации растворения и гидромеханического разрушения соляной породы, предварительно активированной взрывным способом в скважине (патент Российской Федерации «Способ скважинной добычи минеральных солей»). При этом технология переработки возможна как традиционным галлурическим способом, так и прогрессивным электрохимическим. Необходимо отметить, что способ скважинной добычи апробирован при проведении опытно-методических работ на Шарлыкской площади Оренбургской области и дал положительные результаты.

Анализ состояния изученности, горно-геологических и горно-технических условий позволили рассчитать в экспертном порядке технико-экономические показатели освоения Гремячинского месторождения. В настоящее время компанией «Еврохим» получена лицензия на его изучение и разработку. Волгоградской геологоразведочной партией (ГРП) начаты поисково-оценочные работы с подсчетом запасов категории C_2 .

Важным аспектом исследований по оценке минерально-сырьевой базы неметаллических полезных ископаемых являются полевые ревизионные работы. Совместно с сотрудниками государственного предприятия «Севкавгеология» в 2005 г. проведено полевое обследование 42 месторождений и проявлений 13 видов нерудных полезных ископаемых, расположенных на территории Краснодарского края, Волгоградской, Астраханской и Ростовской областей, Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской республик. В число изученных видов сырья входили: минеральные пигменты, волластонит, облицовочные материалы, мусковит, перлиты, цеолитсодержащие породы, фосфориты, стекольные пески, опал-кристаллитовые породы и др.

В результате проведения полевых работ получены новые материалы, дающие возможность с современных позиций оценить промышленную значимость известных месторождений и рекомендовать новые перспективные объекты для постановки поисковых и поисково-оценочных работ.

Один из таких объектов — Кубань-Кольчубинское проявление мелкозернистого мусковита (Карачаево-Черкесская Республика). Проявление приурочено к огромной (десятки квадратных километров) площади развития пород шаукольского гнейсово-сланцевого комплекса, в составе которого преобладают гранат-слюдистые сланцы с порфирами альбита, метаморфогенными пропластками кварца и прослоями эпидот-хлорит-альбитовых сланцев. Продуктивная толща мощностью 800—1000 м моноκлиально падает к западу под углами $15-40^\circ$.

В результате лабораторно-технологических испытаний, проведенных под руководством В.П.Лузина, получен мусковитовый концентрат, выход которого составляет 32—37%. По гранулометрическому составу он соответствует типу слюды дробленой (с чешуйками $0,16-20$ мм) и молотой (размер частиц менее $0,315$ мм). По предварительной оценке слюда может быть использована для изоляции магистральных трубопроводов, в качестве противопожарных покрытий, в производстве пластмасс, штукатурки, электротехнических изделий и т.д. Следует отметить, что данный тип сырья дефицитный и нетрадиционный для России.

Большое значение при определении промышленной значимости месторождений и проявлений имеют аналитико-технологические исследования, цель которых — разработка современных технологий обогащения и переработки, а также определение новых нетрадиционных областей использования тех или иных видов полезных ископаемых.

В отделе технологических исследований ЦНИИгеолнеруд изучаются вещественный состав и разрабатываются схемы обогащения нерудных полезных ископаемых месторождений, служивших объектами полевых работ. В частности, проведена технологическая оценка гидрогематит-гидрогематитовых руд Малкинского месторождения (Кабардино-Балкарская Республика). Руководителем разработки Р.А.Хайдаровым выявлено две разновидности руд: высококарбонатная охристая и спекуляритсодержащая. Высококарбонатная охристая разновидность, широко распространена на месторождении и мало пригодна для производства пигментов, так как после обжига кальцит переходит в оксид кальция, который при производстве и нанесении красок гидратируется и вспучивается, что резко ухудшает качество красителя. Очистка руды от кальцита химическим путем экономически невыгодна. Высококарбонатные руды после обжига предлагается использовать с целью получения объемно-окрашенного силикатного кирпича. При этом содержащийся в пигментах оксид кальция не только не ухудшает качество силикатного кирпича, но даже позволяет экономить количество активной извести, используемой в технологическом процессе.

Наибольший интерес представляют спекуляритсодержащие гидрогематитовые руды. Следует отметить, что краски на основе спекулярита — тонкопластинчатого гематита — широко используются за рубежом для антикоррозионных покрытий стальных конструкций и композиционных материалов на основе пластмасс. Лакокрасочные покрытия данного типа имеют замечательный послужной список, в который

входят такие известные сооружения, как Эйфелева башня, Биг-Бен, Сиднейский мост и др. Срок службы покрытий достигает 20—25 лет. Высокая эффективность защитных свойств красок на основе спекулярита определяет их высокую стоимость (>120 руб./кг) по сравнению с обычными оксидными красителями (8—16 руб./кг).

Из других видов неметаллических полезных ископаемых, имеющих важное геолого-экономическое значение для Южного федерального округа, необходимо отметить кремнистые породы. В результате специализированных минералого-технологических исследований, проведенных в лаборатории технологии природных адсорбентов (Т.П.Конюхова), обоснована возможность использования опал-кристаллитовых пород ряда объектов для получения таких ликвидных продуктов, как зернистые и порошковые адсорбенты, жидкое стекло. Наилучшие результаты в этом отношении показали породы Каменоярского, Баканского, Ширяевского и Щербаковского месторождений. Данные объекты рекомендованы в качестве первоочередных федерального и регионального уровня для проведения геологоразведочных работ и организации производства промышленной продукции.

В заключение необходимо отметить, что имеющийся потенциал ЦНИИГеолнеруд позволяет на достаточно вы-

соком уровне проводить научно-методическое и аналитико-технологическое обеспечение геологоразведочных работ. Результаты проводимых исследований помогут раскрыть истинный потенциал нерудных полезных ископаемых, дадут возможность создать качественно новую методологическую основу для недропользования в современных условиях, обосновать главные направления изучения и использования минерально-сырьевой базы неметаллов с целью социально-экономического возрождения и развития данного геополитически значимого региона России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов Е.М., Валеев Р.Н., Солонцов Л.Ф. и др. Основы минерогенического анализа платформенных и складчатых областей (на примере нерудных полезных ископаемых) // Обзор ВИЭМС. — М., 1979.
2. Валеев Р.Н., Солонцов Л.Ф., Аверьянов В.И. и др. Основные принципы минерогенического анализа платформенных областей (к составлению карт прогноза неметаллических полезных ископаемых Русской платформы). Вып. 1. Сер. Геология, методы поисков и разведки неметалл. пол. ископ. — М.: ОЦНТИ ВИЭМС, 1984.
3. Чайкин В.Г., Антонов В.А., Гарнян Р.Г. Минерогения мезокайнозой Кавказа (неметаллы) / Геол., методы поисков и разведки неметалл. полезн. ископ. Обзор ВИЭМС. — М., 1984.

УДК 553.91:551.71/72.(—924.16)

© Коллектив авторов, 2006

Возраст и генезис раннедокембрийской графитовой минерализации Лапландского пояса (Кольский полуостров)

Б.Ю.АСТАФЬЕВ (ИГТД РАН), О.А.ВОИНОВА, К.И.ЛОХОВ, Д.И.МАТУКОВ, Э.М.ПРАСОЛОВ, Э.Б.ПРИЛЕПСКИЙ, Е.С.БОГОМОЛОВ (ВСЕГЕИ)

Значительные по объему и богатые по содержанию проявления кристаллического графита эпигенетического типа наблюдаются во многих метаморфических комплексах различных регионов мира. Возраст их формирования охватывает интервал от раннего докембрия до неогена [16 и др.]. Для этих объектов характерны высокое качество минерального сырья (крупнокристаллический графит) и значительные масштабы оруденения. Происхождение углеродистого вещества и условия его локализации нередко остаются недостаточно изученными или дискуссионными. С целью решения этой проблемы авторами были предприняты геологические, петрографические, геохронологические и изотопно-геохимические исследования на примере докембрийских графитовых проявлений в западной и центральной частях Кольского полуострова.

Геологическая характеристика графитовых пород Кольского региона. В раннедокембрийских метаморфических комплексах Кольского полуострова известно более 100 проявлений высокоуглеродистых пород с содержанием явнокристаллического графита от 5 до 90 %. Проявления графита, которые входят в состав месторождений, рудопоявлений и точек минерализации данного региона показаны на рис. 1 [1, 2]. Отчетливо выделяются два главных района локализации графитовой минерализации: 1) Лапландский пояс и его обрамление; 2) южный фланг Имандра-Варзугской рифтогенной структуры (Терский зелено-каменный пояс). Авторы статьи изучили состав, возраст и условия формирования графитовой минерализации на

участке *Лосиное* в северном контакте Лапландского подвижного пояса и на участке *Варзугский* в Терском поясе, а также проявление *Петспахша* на южном фланге Лапландского пояса (см. рис. 1).

Лапландский подвижный пояс представляет собой крупную тектоническую пластину, надвинутую на позднеархейские магматические и вулканогенно-осадочные породы [1, 6, 11, 16]. Породы, вмещающие графитовую минерализацию на исследованном участке, представлены мигматизированными пироксенсодержащими плагиоамфиболитами гнейсами, эндробитами и гранито-гнейсами, реже амфиболитами и слюдястыми сланцами. Их возраст ранее был определен как 2,80—2,85 млрд. лет [1 и др.].

Для этих пород на участке *Лосиное* характерна контрастно выраженная зональность (от центра к краям метасоматических тел): 1) гранат-кварцевые, гранат-полевошпат-кварцевые метасоматиты; 2) графитистые плагиоклаз-амфиболовые и полевошпатовые метасоматиты; 3) гранат-биотитовые метасоматиты. Мощность пород, обогащенных графитом, по данным бурения 1—10 м и более. Графит образует мономинеральные скопления чешуйчатых пластин, нередко изогнутых вдоль сланцеватости или гнейсовидности пород. Реже проявлены почти мономинеральные гнездовидные обособления графита. Размеры мономинеральных графитовых пластин от 1 до 25—40 мм при толщине 0,1—4 мм. Графитистые породы относительно слабо рассланцованы, имеют резкие тектонические контакты с вмещающими образованиями и обрамляются сравнительно мощными зонами (3—10

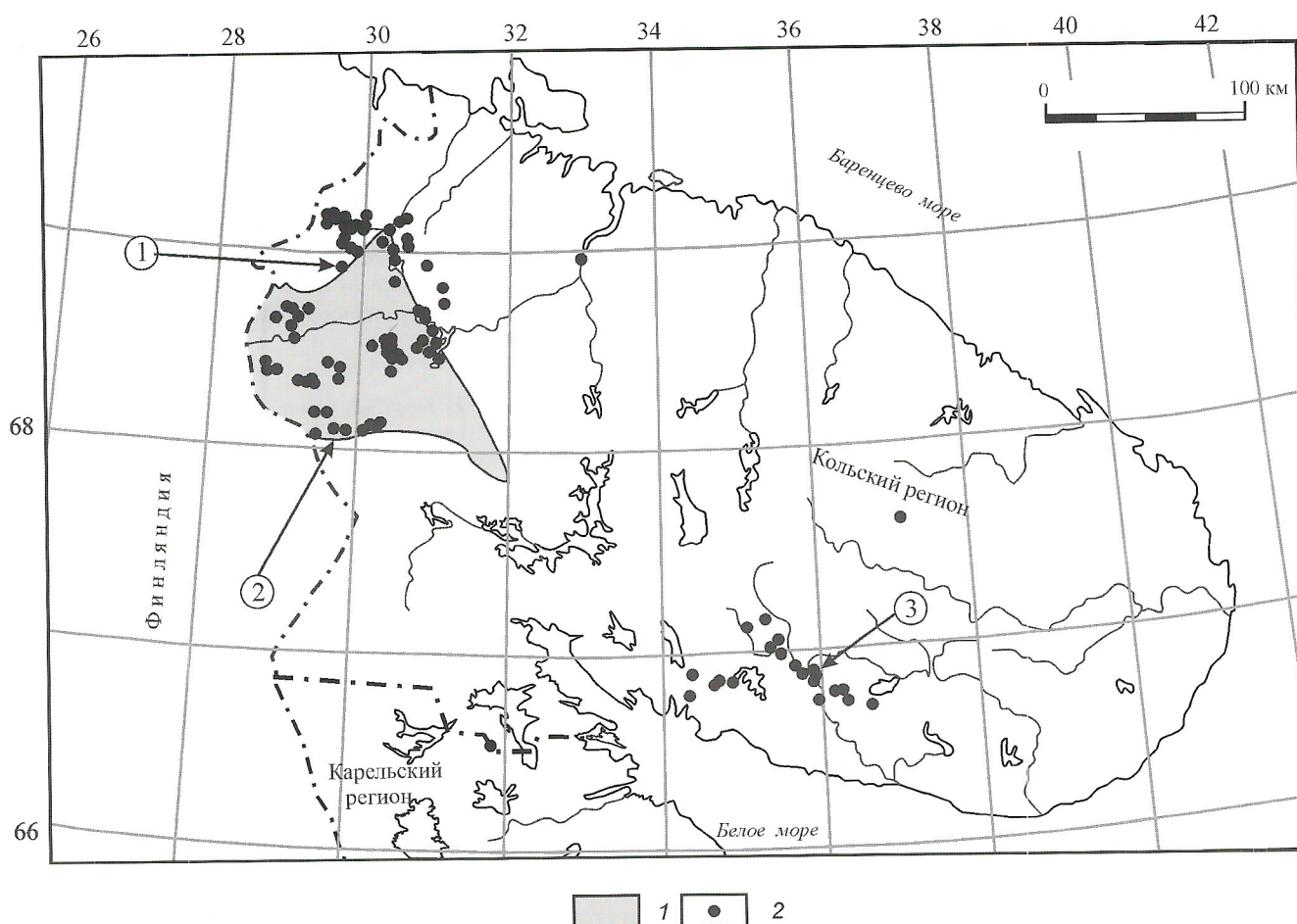


Рис. 1. Схема распространения проявлений графитовых пород на территории Кольского полуострова:

1 — Лапландский метаморфический пояс; 2 — точки проявлений графитовых пород; стрелки и цифры в кружках — исследованные участки детальных работ: 1 — Лосиное, 2 — Петспакша, 3 — Варзуга

м и более) перекристаллизованных крупнозернистых порфиобластических гранат-биотитовых пород. Содержание кристаллического графита в обогащенных им зонах составляет 10—35%.

Имандра-Варзугская структура в настоящее время большинством исследователей рассматривается как раннепротерозойский рифтогенный прогиб, простирающийся в северо-западном направлении на 350 км. Он сложен метаморфизованными вулканитами и осадочными породами различного состава [6]. Графитовые породы преимущественно тяготеют к южному экзоконтакту структуры, развиваясь по породам имандровской серии позднего архея (сергозерская толща). Породы имандровской серии с перерывом и структурно несогласно перекрывают плутонические, метаморфические комплексы среднего лопия. Опорный разрез серии включает метаморфизованные в амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фациях основные, средние и кислые вулканиты и осадочные породы. В пределах Терского зеленокаменного пояса с ним сопоставляются пясочная и сергозерская толщи.

Сергозерская толща распространена в среднем течении р. Варзуга — оз. Сергозеро. Среди пород толщи по составу выделяются две основных группы: 1) биотитовые, двуслюдяные, биотит-амфиболовые сланцы и гнейсы, отвечающие по первичному составу терригенным породам и туфам; 2) амфиболиты, амфиболовые и биотит-амфиболо-

вые сланцы, которые являются метаморфизованными вулканитами основного—среднего состава.

В районе участка *Варзугский* отмечается широкое проявление процессов графитистого метасоматоза по позднеархейским породам. Здесь выделены три крупные зоны распространения метасоматитов: Панареченская, Сосновецкая, Кривецко-Япомская, а также площади с интенсивно проявленным гранатовым и глиноземистым порфиобластезом. Ширина этих зон изменяется от 0,5 м до 3 км. Прослеженная протяженность Панареченской зоны составляет не менее 12 км, Сосновецкой — 25 км, Кривецко-Япомской — 16 км [3]. Все зоны имеют выдержанное северо-западное (СЗ 290—300°) простираение. Содержание кристаллического графита в исследованных породах составляет от 5 до 25% при мощности кулисообразно расположенных зон до 6–10 м и более.

Примером зоны наложенной графитизации может являться интенсивно тектонизированное чередование перекристаллизованных пород в среднем течении р. Варзуга. В региональном отношении графитоносные породы стратиграфически по простираению не прослеживаются. Восточнее, в районе рек Стрельна и Пулоньга, вмещающие породы и метасоматиты сходного состава и возраста практически не содержат графитовой минерализации, что позволяет предполагать ведущую роль не стратиграфического, а петрологического фактора их локализации.

По литературным данным и материалам авторов P - T -условия образования графитовых пород изученных районов резко отличаются [6]. Например, в северной части Лапландского пояса температура формирования пород составляет около 600—640°C при давлении 450—550 МПа, тогда как в районе р. Варзуга они были значительно ниже (520—570°C при 350—440 МПа). Эти данные соответствуют регрессивной стадии регионального метаморфизма, поскольку определенные P - T -условия формирования графитовых пород ниже примерно на 70—150°C и 100—170 МПа.

На метасоматический генезис изученных графитоносных пород также указывают отчетливо выраженная метасоматическая зональность, интенсивная перекристаллизация вмещающих пород, укрупнение зернистости, значительное изменение состава исходного субстрата, формирование графитистых пород по породам различного состава и генезиса, регрессивный характер минералообразования, а также геохронологические данные. Собственно графитовые метасоматиты с содержанием от 5 до 40% графитосодержащих зон составляют 20—35% от общего объема метасоматически преобразованных пород. Их структурные соотношения со сланцеватостью, гнейсовидностью, напластованием субстрата, а также формирование по породам различного состава позволяют уверенно предполагать, что графитовые руды были сформированы значительно позже вмещающих метаморфических образований.

Для решения поставленных задач на детальных участках авторами настоящей публикации были проведены изотопно-геохимические, петрологические и геохронологические исследования, а также были изучены состав, возраст и условия формирования метаморфических и метасоматических графитосодержащих пород.

Методика исследований. Микрозондовые исследования проводились в ИГГДРАН на электронном микроскопе LinkAn-2000 с полупроводниковым детектором для определения количественного состава петрогенных элементов. Из двух проб участка *Лосиное* и четырех углеродистых проб участка *Варзугский* были выделены монофракции цирконов в ИГГД РАН по стандартной методике с разделением минералов в тяжелых жидкостях, электромагнитной сепарацией и ручным отбором генераций цирконов под бинокуляр. Дальнейшая пробоподготовка, катодоллюминесцентные наблюдения и изотопно-геохронологические работы выполнены в ЦИИ ВСЕГЕИ.

Цирконы, предварительно разделенные на генерации, были имплантированы в эпоксидную смолу вместе с зернами цирконовых стандартов «Темога» и «91 500», а затем сошлифованы примерно на половину толщины кристаллов. Участки для анализов выбирали после проведения оптических и катодоллюминесцентных наблюдений. Для измерения Th-U-Pb изотопного состава цирконов применялась классическая методика [18] на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II. Интенсивность первичного пучка отрицательно заряженных ионов молекулярного кислорода при измерениях составляла 4 нА, диаметр кратера около 15—17 мкм. Обработка полученных первичных данных проведена с использованием программы SQUID [17].

При проведенных анализах U/Pb были нормализованы на значение 0,0668, соответствующему стандарту «Темога» [10], отвечающего возрасту 416,75 млн лет. Погрешность измерений единичных анализов определялась для расчетных конкордантных возрастов в пределах 1σ ,

для пересечений с конкордией — 2σ . Результирующие графики были построены с использованием программы ISOPLOT/EX [14].

Из исследуемых пород был выделен графит при обработке проб смесью кислот HF+HCl с последующим центрифугированием нерастворимого остатка. Анализ состава графита выполнен на масс-спектрометре Thermo-Finnigan Delta plus XL с элементным анализатором CE/EA-1112.

Результаты исследований. Изученные цирконы участка *Лосиное* по результатам катодоллюминесцентных наблюдений имеют отчетливо выраженное зональное строение. Проведенные исследования показали наличие не менее двух генераций — относительно светлых (низкоурановых) ядер и более темных обрастаний вокруг них. Для внутренних зон кристаллов цирконов (рис. 2, А) получена оценка с конкордантным значением возраста 1972 ± 12 млн лет при Th/U около 0,16—0,28, что отвечает пику регионального метаморфизма Лапландского комплекса [6, 9, 11, 14], а Th/U для проб по циркону из метаморфических пород составляет 0,2—1,2 (см. табл. 1, рис. 2, Б). Архейские цирконы в изученных пробах не со-

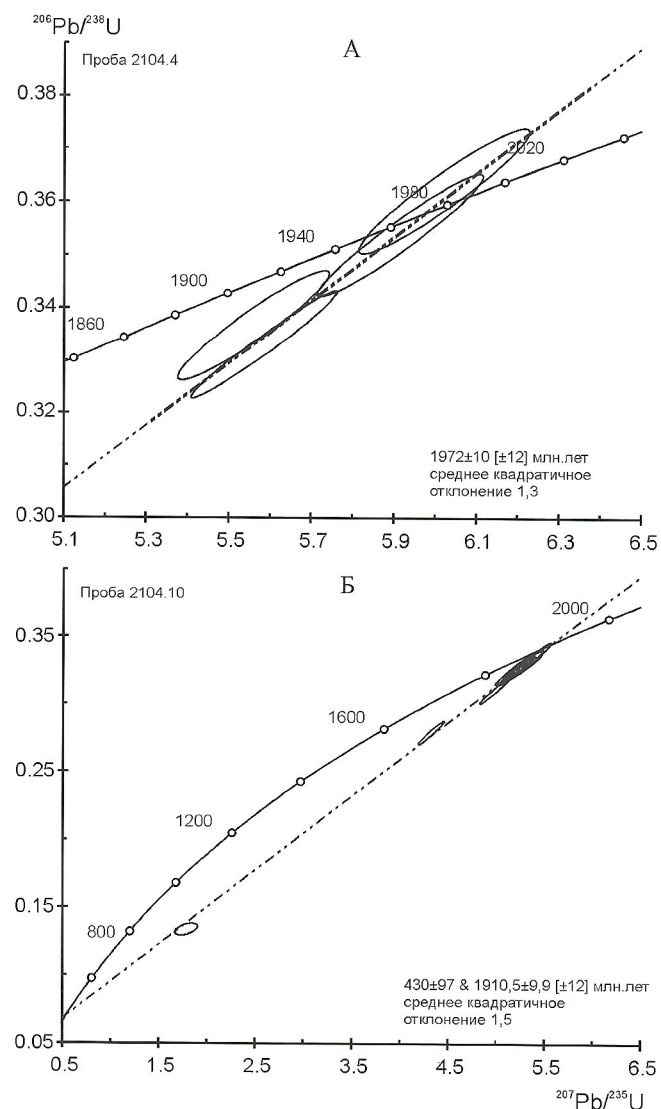


Рис. 2. Возраст раннепротерозойского метаморфизма (А) и графитового метасоматоза (Б). Локальный U-Pb метод по циркону, SHRIMP-II. Участок *Лосиное*

хранились даже в реликтах, поскольку раннепротерозойская флюидонасыщенная перекристаллизация была чрезвычайно интенсивной.

Внешние зоны обрастания в исследованных цирконах участка *Лосиное* имеют конкордантное значение возраста 1911 ± 12 млн. лет при Th/U не более 0,11 (см. табл. 2, рис. 2, Б), что отвечает метасоматическому этапу преобразования графитовых пород. Описанные ранее в литературе промежуточные значения возраста в интервале 1960—1930 млн. лет [9, 11, 14 и др.], по-видимому, обусловлены датированием по цирконам классическим мето-

дом по генерациям, цирконам в целом, что давало усредненную оценку возраста.

Для участка *Варзуга* были получены сходные изотопные и геохронологические результаты. Наиболее широко распространенные биотит-амфиболовые, полевошпат-графит-слюдистые, биотит-мусковитовые, хлорит-гранат-слюдистые породы обладают отчетливыми признаками постметаморфического происхождения. На контакте слюдистых сланцев и гнейсов проявлена геохимически контрастная зональность (рис. 3), выражающаяся в чередовании крупно- или гигантозернистых графит-муско-

1. Результаты анализов U-Pb датирования

Проба. Точки анализа	$^{206}\text{Pb}_c$, %	U, ppm	Th, ppm	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	^{206}Pb , ppm	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Age	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Age
2104.1.1	0,08	536	100	0,19	154	1,853	± 33	1,980	± 7
2104.2.1	0,03	684	61	0,09	191	1,816	± 32	1,897	± 6
2104.3.1	0,22	427	44	0,11	120	1,813	± 32	1,896	± 9
2104.4.1	—	940	74	0,08	267	1,843	± 33	1,905	± 9
2104.4.2	0,05	683	65	0,10	191	1,812	± 32	1,881	± 6
2104.5.1	0,10	221	59	0,28	67	1,953	± 36	1,975	± 11
2104.5.2	0,07	283	68	0,25	88	1,993	± 37	1,965	± 13
2104.6.1	4,96	1876	287	0,16	228	812	± 16	1,563	± 72
2104.7.1	1,39	356	7	0,02	103	1,847	± 33	1,900	± 18
2104.8.1	0,25	444	8	0,02	128	1,867	± 33	1,904	± 9
2104.8.2	0,79	498	111	0,23	145	1,874	± 33	1,953	± 13
2104.9.1	0,02	1245	8	0,01	332	1,743	± 31	1,903	± 7
2104.10.1	0,02	1000	67	0,07	240	1,587	± 29	1,838	± 8
2104.7.2	0,51	881	42	0,05	248	1,820	± 32	1,897	± 12

2. Результаты анализов U-Pb датирования

Проба. Точки анализа	$^{206}\text{Pb}_c$	U, ppm	Th, ppm	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	^{206}Pb , ppm	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
2865-3.3.1	0,54	865	90	0,11	199	1521,4	1485,9	1521,1	1886
2865-3.5.1	1,91	211	57	0,28	54,1	1653	1625	1648	1910
2865-3.7.2	0,06	927	10	0,01	265	1850,4	1844,3	1850,7	1896,4
2865-3.4.1	0,42	341	423	1,28	98,1	1853,6	1839,3	1858,8	1959
2865-3.1.2	0,27	995	40	0,04	286	1857,4	1852,1	1863,6	1897
2865-3.1.1	0,07	209	125	0,62	60,8	1879	1866	1878	1971
2865-3.6.1	0,15	276	173	0,65	81,6	1904	1898	1912	1946
2865-3.2.1	0,17	661	200	0,31	196	1905,9	1897,6	1906,1	1964,1
2865-3.8.1	0,03	716	16	0,02	213	1914,6	1916,3	1914,1	1902,6
2865-3.7.1	0,08	264	156	0,61	79,4	1931,8	1930	1934	1945

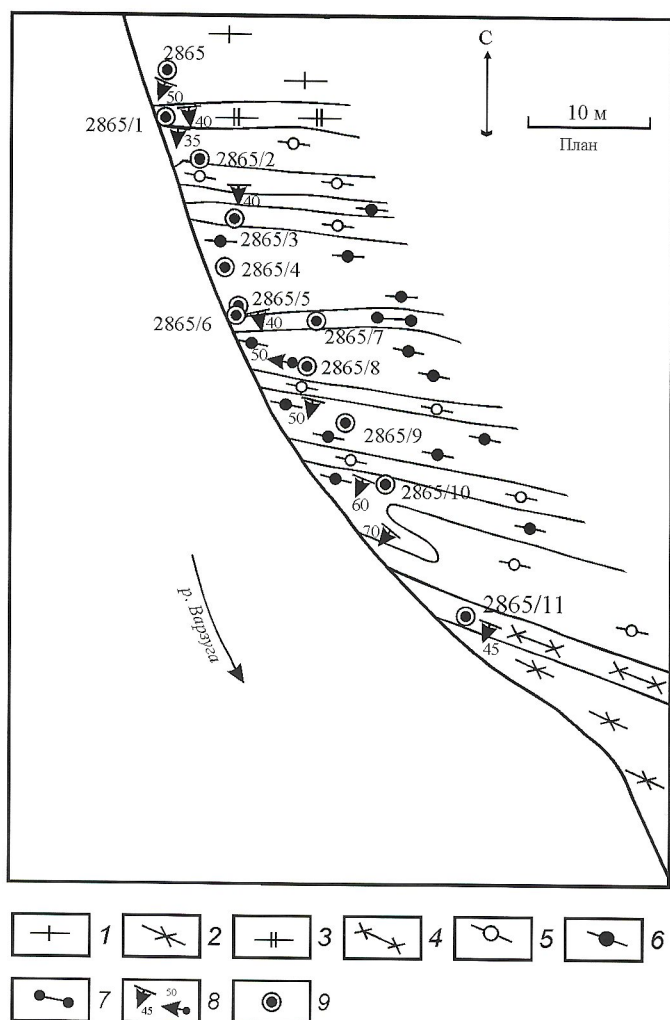


Рис. 3. Схема геологического строения разреза метасоматической зональности в районе устья руч. Кривец. Участок Варзугский:

1 — гранат-биотитовые гнейсы; 2 — биотитовые сланцы; 3 — окварцованные гранат-биотитовые гнейсы; 4 — окварцованные слюдястые сланцы; 5 — графит-мусковит-кварцевые метасоматиты; 6 — гранат-роговообманковые метасоматиты; 7 — гранат-жидритовые метасоматиты; 8 — элементы залегания сланцеватости и шарниры складок, 9 — места отбора проб и их номера

вит-кварцевых, гранат-роговообманковых и гранат-жидритовых метасоматитов с отчетливыми признаками перекристаллизации исходного субстрата.

Для датирования метаморфических и метасоматических процессов в ЦИИ ВСЕГЕИ авторами были проведены детальные исследования цирконов из графит-слюдястого метасоматита по позднеархейским биотит-полевошпатовым сланцам. Католюминесцентные исследования показали наличие трех генераций цирконов: 1) реликты светлых ритмично-зональных цирконов магматического облика; 2) обрастания темно-коричневых, часто неограниченных и неоднородных по составу трещиноватых кристаллов; 3) бесформенные, темно-окрашенные бугристые обрастания мощностью 10—25 мкм. Локальное датирование различных генераций цирконов на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II U-Pb методом позволяет выделить серию кон-

кордантных и дискордантных геохронологических определений по зональным кристаллам. Представительные результаты измерений показаны на рис. 4 и в табл. 2.

Разброс полученных определений возраста интерпретируется следующим образом:

1. Группа конкордантных точек в области 2,67—2,77 млрд. лет, по-видимому, отражает состав реликтов вулканического циркона в метаандезитах пяточной толщи позднего архея.

2. Конкордантные и дискордантные значения возрастом около 1962±14 млн. лет, по всей вероятности, соответствуют раннепротерозойскому региональному метаморфизму по осадочно-вулканогенным породам позднего архея в южном контакте Имандра-Варзугской структуры.

3. Конкордантные и дискордантные точки в интервале 1,89—1,90 млрд. лет представляют наибольший интерес, поскольку именно эти наложенные процессы и являлись основным объектом исследования. Во всех исследованных пробах цирконы этого этапа имеют аномально повышенное содержание урана (до 1000—3000 ppm) и очень низкое Th/U (менее 0,05).

Эти данные вполне согласуются с петрологическими и геологическими наблюдениями, указывающими на многократную аллохимическую перекристаллизацию исходных пород. Повышенные значения Th/U во внутренних зонах цирконов характерны для большинства магматических и нередко метаморфических пород, а низкие значения типичны для образований, сформированных во флюидонасыщенных условиях [18]. По материалам авторов, это наиболее свойственно метасоматитам. Результаты исследований авторов по различным генерациям в цирконах позволяют сопоставить формирование их внутренних зон при пике метаморфизма возрастом 1972—1965 млн. лет, а внешних, при позднем метасоматическом преобразовании пород возрастом 1911—1906 млн. лет.

Проведенное датирование Rb-Sr методом по наиболее поздним биотитам и диопсидам позволяет получить оцен-

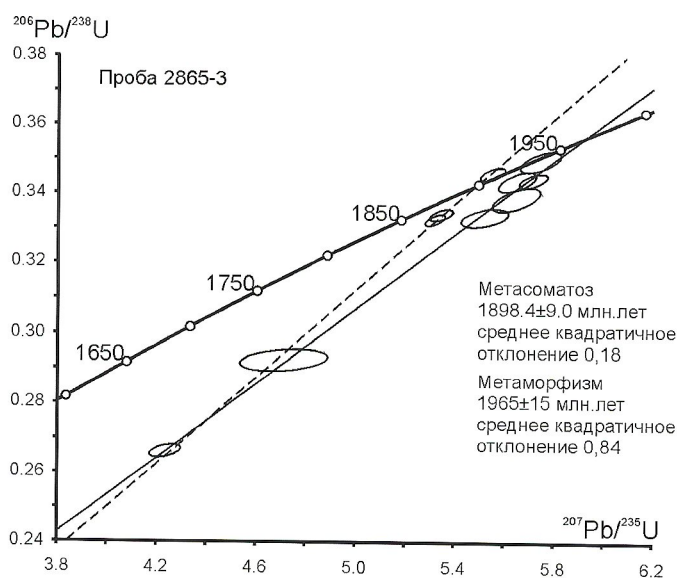


Рис. 4. Возраст раннепротерозойского метаморфизма и графитового метасоматоза. Локальный U-Pb метод по циркону, SHRIMP-II. Участок Варзугский

3. Результаты Rb-Sr анализа образцов

Образец	Минерал	Rb, ppm	Sr, ppm	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
2102/3	Биотит	363,2	7,039	239,6	$6,903659 \pm 17$
2104	Биотит	410,2	51,75	24,33	$1,342446 \pm 8$
2104	Диопсид	2,523	126,5	0,0578	$0,718517 \pm 18$
2104	Кальцит	—	—	—	$0,704973 \pm 7$

ку времени формирования зональных диопсид-биотитовых жил и сопряженных с ними слюдястых метасоматитов возрастом $1791,4 \pm 6,2$ млн. лет. Эта датировка интерпретируется авторами как заключительная стадия формирования Лапландского метаморфического комплекса. Проанализированный изотопный состав углерода и кислорода в карбонатах из поздних жил может характеризовать изотопные составы углерода и кислорода в глубинных высокоуглекислотных флюидах раннепротерозойского регионального метаморфизма. Изотопный состав стронция в исследованных жилах карбонатитов соответствует $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,704973$, что значительно меньше начального соотношения изотопов стронция, полученного из изохронного построения для секущих их биотит-диопсидовых жил ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71701$, табл. 3). Согласно полученным данным, раннепротерозойские карбонатиты имеют мантийный генезис и, вероятно, незначительно загрязнены коровым веществом [5].

Изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) криптокристаллического графита из вмещающих гранат-биотитовых гнейсов имеет значение около $-31,1 \dots -31,3$ ‰. Состав более позднего перекристаллизованного крупнозернистого графита из метасоматических пород находится в пределах $-21,5 \dots -23,6$ ‰ (состав для всех исследованных метасоматических высокографитистых проб практически идентичен). Определенный изотопный состав по наиболее поздним карбонатам на всех изученных участках составляет $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) $-0,3 \dots -11,0$ ‰, для кислорода $\delta^{18}\text{O}$ $-13,7 \dots -18,1$ ‰

4. Изотопный состав углерода и кислорода в исследованных образцах

Образец	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)
<i>Амфибол-плагиоклазовые графитсодержащие гнейсы</i>		
2104/18	-31,3	Нет данных
2104/1	-31,1	«
<i>Массивные графитовые породы</i>		
2103/12	-23,6	«
2100	-21,6	«
<i>Карбонаты из поздних жил</i>		
2104/8	-11,0	11,1
2104/81	-11,2	11,4

(SMOW). Результаты измерений по 22 пробам приведены в таблицах 4 и 5.

При микронзондовых измерениях были проанализированы составы породообразующих минералов метаморфических и метасоматических пород. Термобарические (P - T) условия формирования пород были оценены с использованием программ TWEEQ и TPF [8 и др.]. Для графитовых пород участка *Лосиное* (Лапландский пояс) установлен почти изобарический спад температуры образования пород (800 — 600°C и менее, при P около 550 МПа). В дальнейшем происходило общее падение P - T -условий минералообразования (примерно до 450 — 550°C) в наиболее поздних диопсидовых, гранат-слюдястых и хлорит-серпентиновых метасоматитах (рис. 5). Условия формирования графитовых пород на участке *Варзугский* имеют значительно более низкие P - T -условия (около 530 — 570°C и 350 — 500 МПа), также сопровождаются признаками надвиговых деформаций.

Исследованный состав минералов и их парагенезисов позволяет предполагать регрессивное падение P - T -условий в ходе формирования графитоносных метасоматитов, что выражается в образовании низкоглиноземистой роговой обманки, куммингтонита, нередко хлорита и серпентина по минералам более ранних высокотемпературных ассоциаций.

По современным данным можно выделить три основных варианта осаждения графита из высокоуглеродистых глубинных флюидов. В системе Н-С-О одним из наиболее вероятных механизмов осаждения графита из флюидов считается изобарический спад температуры [16 и др.], поскольку рост температуры способствует переходу графита во флюид, а увеличение давления — осаждению углерода. В числе второстепенных вариантов упоминается смешение флюидов контрастного состава или осаждение на породном окислительно-восстановительном барьере (например, сульфиды или оксиды железа).

Согласно региональным геологическим картам, современным картам полезных ископаемых [1—3 и др.], геологическим наблюдениям авторов публикации и данным термобарометрии, механизм изобарического охлаждения в покровно-надвиговых тектонических структурах для графитовых пород раннего докембрия Кольского полуострова предполагается наиболее вероятным. Учтя данные региональной распространенности проявлений кристаллического графита Кольского региона (см. рис. 1) можно предположить, что рассеянная графитизация в породах с площадным образованием углеродистых метасоматитов является эффективным индикатором как локального, так и регионального изобари-

5. Изотопный анализ углерода и кислорода (в графите и карбонате) из метасоматитов Южно-Варзугской структурной зоны. Участок Варзугский

Пробы	Породы	$\delta^{13}\text{C}, \text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$ (SMOW)
2752	Мусковит-кварцевый метасоматит	-21,9	—
2774/1	Полевोшпатовый метасоматит	-22,8	—
2789/7	Кварц-полевोшпатовый метасоматит	-24,8	—
2789/12	Биотит-полевोшпатовый метасоматит	-24,2	—
2837	Мусковит-кварцевый метасоматит	-21,8	—
2837/1	Мусковит-кварцевый метасоматит	-22,0	—
2837/2	Графит-кварцевый метасоматит	-22,1	—
2837/3	Мусковит-кварцевый метасоматит	-22,0	—
2838	Графит-кварцевый метасоматит	-20,1	—
2865/1	Измененный гранат-биотитовый гнейс	-25,0	—
2864/2	Графит-полевोшпатовый метасоматит	-20,4	—
2759/1	Карбонатизированный слюдястый сланец	-11,0	16,8
2786/1	Диопсид-карбонатный метасоматит	-0,3	13,1
2834/3	Карбонатизированный амфиболит	-7,8	12,3
2882/2	Карбонат-диопсидовый метасоматит	-3,4	14,4

ческого охлаждения. Второстепенными или локальными факторами, возможно, являлись окислительно-восстановительный породный барьер (магнетит и сульфиды, известные в данных породах) и контрастное смещение обогащенных углеродом флюидов различного состава (в частности, водно-углекислотных или водно-метановых). Однако второстепенные факторы не могли иметь столь явно выраженное региональное распространение.

На исследованных участках наблюдается графитовая минерализация двух генераций: мелкочешуйчатый или криптокристаллический графит в метаморфизованных породах с значением $\delta^{13}\text{C}$ около $-31 \dots -32\text{‰}$ и более поздние гнездово-жильные анхимономинеральные обособления с более изотопно-тяжелым углеродом ($\delta^{13}\text{C}$ $-21,6 \dots -23,6\text{‰}$). Для остальных участков характерна рассеянная графитизация, соответствующая первой генерации участ-

тка *Лосиное*. Для этих углеродистых метасоматитов наблюдается относительно узкий диапазон значений $\delta^{13}\text{C}$ $-20,1 \dots -23,6\text{‰}$ (см. таблицы 4 и 5). Очевидно, что при площадном углеродистом метасоматозе за счет выпадения углерода в виде графита из флюида на участке *Лосиное* изотопный состав углерода значительно легче, а графит второй генерации (поздние жилы в локальных зонах) близок по изотопному составу к углероду первой генерации. Следует обратить внимание на то, что термодинамические условия метасоматоза с образованием графитистых пород на участке *Лосиное* максимальны по сравнению с метасоматитами других участков.

Таким образом, изотопный состав углерода коррелирован с *P-T*-параметрами: чем выше температура, тем он более изотопно легкий. Такой эффект возможен за счет эффекта истощения углерода при его удалении из флюидной фазы: по мере удаления изотопно-легкого графита, изотопный состав углерода во флюидной фазе, соответственно, должен утяжеляться. В свою очередь, изотопный состав углерода во флюиде должен отражать карбонаты, встречающиеся в таких метасоматитах. Для обоих участков характерен относительно изотопно-тяжелый углерод в диапазоне $\delta^{13}\text{C}$ $-11,1 \dots -0,3 \text{‰}$ (см. таблицы 4 и 5). Учитывая, что термодинамический эффект разделения изотопов между углекислым газом и сосуществующим карбонатом при температуре $300\text{--}500^\circ\text{C}$ составляет около 2‰ в сторону утяжеления состава углекислого газа [7], изотопный состав углерода в остаточных углекислотных флюидах мог находиться в пределах $\delta^{13}\text{C}$ $-9 \dots +2 \text{‰}$. Такой изотопный состав углерода исключает биогенную органику в качестве источника углерода и больше соответствует глубинному эндогенному источнику. Для участка *Лосиное* в карбонате был измерен изотопный состав $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ $0,704973 \pm 7$ (см. табл. 3), что позволяет предполагать мантийный источник флюида, приносящего избыточный углерод.

Осаждение углерода из глубинных флюидов при изобарическом остывании предполагает возникновение избытка

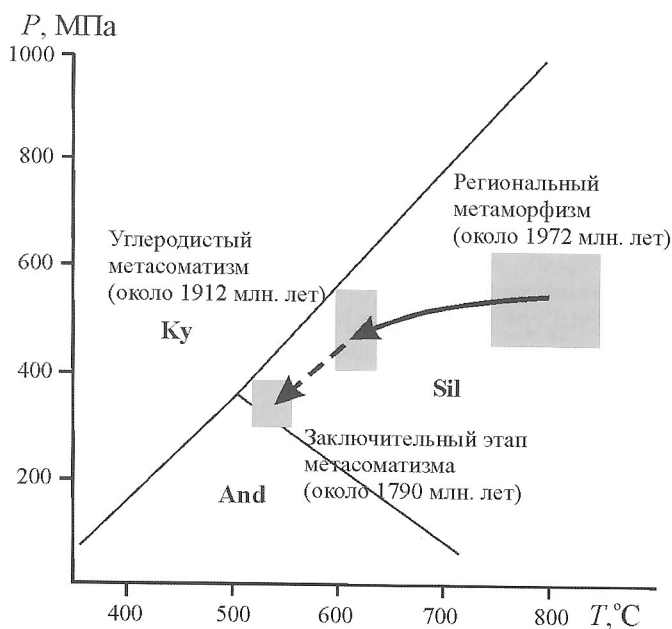


Рис. 5. Эволюция *P-T*-условий формирования пород в северном фланге Лапландского пояса

высокоуглеродистых флюидов в данной системе на регрессивном этапе метаморфизма. Для этого во вмещающие породы должен быть привнесен флюид углекислотно-углеводородного состава, обогащенный углеродом. Возможно, источником высокоуглекислотных глубинных флюидов могут являться глубинные расплавы Кольского плюма.

Можно уверенно предполагать, что на первом (метаморфическом) этапе породы Лапландского комплекса и Терского пояса испытали высокоуглекислотный флюидный импульс на рубеже около 1970 млн. лет. Этот возрастной рубеж коррелируется со временем становления протерозойского Кольского плюма по соответствующим геохронологическим данным для ферропикритов Печенгской структуры около 1980 млн. лет [6, 17]. Ультраосновные и основные расплавы, генерируемые на фронте плюма могли служить источником высокоуглекислотных флюидов, продуцировавших флюидно-термальный импульс на рубеже около 2 млрд. лет, по-видимому, явившегося одной из главных причин регионального метаморфизма пород.

Вероятно, при формировании аномально обогащенных графитовых тел существовали два механизма обогащения — в тектонически ослабленных зонах одновременно сочетались изобарическое охлаждение и тектоническое смешение двух флюидов контрастного состава на регрессивной стадии регионального метаморфизма раннепротерозойского возраста. Для осаждения кристаллического графита в системе Н-С-О необходимо иметь значительное количество флюида состава $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CH}_4$ или $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-H}_2$ [13, 16]. Если изобарически остывающий флюид имеет состав $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$, то для реализации такого механизма требуется дополнительный источник водорода или метана. Подобная интерпретация вполне согласуется с данными, полученными при бурении на Кольской сверхглубокой скважине [4], где были обнаружены интенсивные притоки эндогенного водорода и восстановленных углеродистых флюидов на различных интервалах бурения.

В заключение необходимо сделать следующие выводы:

1. По геологическим и изотопно-геохронологическим данным графитовая минерализация в докембрии Кольского региона сформировалась на регрессивной стадии раннепротерозойского метаморфизма и имеет метасоматический генезис.

2. Изотопные характеристики графита и карбонатов различных генераций графитовых проявлений Кольского региона позволяют предполагать, что источником углерода в метасоматитах частично могло являться первичное органическое вещество пород, но при решающем вкладе глубинного высокоуглекислотного флюида.

3. Зоны графитизации в раннем докембрии Кольского региона различны по условиям образования, но изотопный состав углерода и возраст его формирования устойчиво коррелируется полученными авторами новыми изотопно-геохронологическими данными на всем протяжении Лапландской и Печенга-Имандра-Варзугской структур.

4. Материалы исследований позволяют выделять перспективные площади и прогнозировать высокую продуктивность графитовых проявлений Кольского полуострова.

Работа выполнена в рамках объекта Министерство природных ресурсов России № К-41 «Геологическое изучение и оценка минеральных ресурсов недр Российской Федерации и ее континентального шельфа (создание и ввод в эксплуатацию современного инструментального комплекса геохронологических и геохимических изотопных методов для нужд геологического изучения, оценки и локализации минеральных ресурсов и экологического мониторинга)», а также при поддержке грантами РФФИ 05-05-65308 и НШ-4732-2006.5 (полевые работы, выделение цирконов и микрозондовые исследования, проведенные в ИГГД РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000. Объяснительная записка к листу R-(35)-37 (Мурманск). — МПР РФ, С-Пб, 2000.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000. Объяснительная записка к листу Q-(35)-37 (Кировск). — МПР РФ, С-Пб, 2004.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000, лист Q-37 (Архангельск), третье поколение. Объяснительная записка и комплект карт. ВСЕГЕИ, 2005.
4. Кольская сверхглубокая. Гл. ред. Е.А.Козловский. — М., 1984.
5. Покровский Б.Г. Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. — М.: Наука, 2000.
6. Ранний докембрий Балтийского щита. — С-Пб: Наука, 2005.
7. Хейс Й. Геохимия стабильных изотопов. — М.: Мир, 1983.
8. Berman R.G., Aranovich L.Y. Optimized standard state and solution properties of minerals // Contrib.Mineral.Petrol., 1996, 126 (1-2). P. 1—24.
9. Bernard-Griffiths, Peucat, Postaire, et.al. 1984. Isotopic data (U-Pb, Rb-Sr, Pb-Pb and Sm-Nd) on mafic granulites from Finnish Lapland. // Precambrian Res., 23. P. 325—348.
10. Black L.P., Kamo S.L. // Chem.Geol., 2003, Vol. 200. P. 155—170.
11. Daly et.al. Ion microprobe U-Pb zircon geochronology and isotopic evidence for trans-crustal suture in Lapland-Kola Orogen, northern Fennoscandian Shield. // Precambrian Research, 2001, 105. P. 289—314.
12. Glebovitsky et.al. Age, evolution and regional setting of the Palaeoproterozoic Umba igneous suite in the Kolvitsa-Umba zone, Kola Peninsula: constraints from new geological, geochemical and U-Pb zircon data. // Precambrian Research, 2001, 105. P. 247—269.
13. Kazahaya K., Matsuo S. A new ball-milling method for extraction of fluid inclusions from minerals // Geochem. J., 1985. Vol. 19. P. 45—54.
14. Ludwig K.R. User's manual for Isoplot/Ex. Vol. 2.10 / A geochronological toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ. 1999. № 1.
15. Ludwig K.R. SQUID 1.00. A user's manual // Berkeley Geochronol.Center Spec. Publ. 2002. № 2.
16. Luque F.J., Pasteris J.D., Wopenka B., Rodas M., Barrenechea J.F. Natural fluid-deposited graphite: mineralogical characteristics and mechanisms of formation. // Amer. J. of Sci. 1998. Vol. 298. P. 471—498.
17. Walker R.J., Morgan J.W., Hanski E.J., Smolkin V.F. Re-Os systematics of early proterozoic ferropicrites, Pechenga complex, northwestern Russia: evidence for ancient ^{187}Os -enriched plumes. // Geochim. et Cosmochim. Acta, 1997. Vol. 61. № 15. P. 3145—3160.
18. Williams I.S. // Revs.Econ.Geol. 1998. Vol. 7. P. 1—35.

Методика переоценки состояния сырьевой базы мусковита крупнейшей в России Северо-Байкальской слюдоносной провинции на основе фациального анализа пегматитов

М.А.ИВАНОВ (Санкт-Петербургский государственный технический университет)

Россия обладает уникальными по масштабу пегматитовыми месторождениями слюды — мусковита, в исследование и промышленное освоение которых с 20-х по 80-е годы XX в. были вложены значительные интеллектуальные и материальные затраты. На территории одной из крупнейшей пегматитовой провинции мира — Северо-Байкальской — сосредоточены основные отечественные запасы этого вида минерального сырья. Они составляют более 81% листового и 98% мелкоразмерного мусковита (общие российские балансовые запасы категорий В+С₁ 433,7 тыс.т по листовому и 1216,5 тыс.т по мелкоразмерному мусковиту; для категорий С₂ 426,3 и 360,5 тыс.т соответственно) [3, 4].

Для сравнения заметим, что мировое потребление листового мусковита в настоящее время оценивается в 6 тыс.т в год, молотого 200—215 тыс.т в год [3, 4]. Годовой объем продаж слюды в мире в стоимостном исчислении составляет 140—150 млн.долл. США. Доминирующие позиции в мировом экспорте слюдяного сырья продолжает занимать Индия (60—80%).

Потребление листовой слюды в мире сократилось с 13 тыс.т в 1995 г. до 6 тыс.т. в 2000 г., хотя традиционная сфера ее применения — электронная и электротехническая промышленность — сохраняет свое значение. Достаточно дефицитным минеральным сырьем становится крупноразмерный высококачественный листовый мусковит.

Молотая слюда применяется преимущественно в стабильно развивающихся отраслях производства композитных и лакокрасочных материалов. За счет этого темпы ежегодного потребления слюды в мире растут на 3—4%. Особенно заметно растет потребление тонкомолотой (мокрый способ) слюды, идущей в основном на производство красящих пигментов (10 тыс.т в 1995 г., 12,5 тыс.т. в 2000 г.).

Программы восстановления отечественной слюдяной отрасли неизбежно требуют развертывания геологоразведочных работ на этих объектах, в связи с чем необходима дальнейшая разработка вопросов геологии, минералогии и генезиса пегматитов, составляющих научную основу решения прикладных поисковых задач. Однако к числу первоочередных следует отнести задачу по переоценке состояния имеющейся сырьевой базы и приведения ее структуры в соответствие с условиями как отечественного, так и мирового рынка слюдяного сырья. В частности, представляется важным дифференциация запасов с учетом таких ранее не определяемых качественных показателей как наличие и содержание крупноразмерного высококачественного («телевизионный» и «оптический») мусковита, а также содержания мелкоразмерного мусковита высокой чистоты — с минимальным количеством биотита и других нежелательных минеральных примесей. Такие показатели, безусловно, могут играть существенную роль при разработке кондиций и реалистичной программы возобновления разработки месторождений.

Следовательно, пересчет имеющихся запасов мусковита с учетом новых качественных показателей, диктуемых

конъюнктурой современного рынка — одна из актуальных задач слюдяной отрасли. Точнее, это задача подготовки сырьевой базы слюды к будущим инвестиционным проектам освоения имеющихся месторождений. Очевидно, что от результатов пересчета запасов мусковита в значительной степени зависит выбор объектов дальнейшей эксплуатации, определение технологии их разработки, оценка уровня рентабельности и других геолого-экономических показателей горнодобывающих предприятий.

Сложности на этом пути очевидны: опыт пересчета запасов слюды, накопленный в 70—80-х годах геологоразведочными и горнодобывающими организациями (Мамско-Чуйская ГРЭ, ГОК «Мамслюда»), к сожалению, с уходом опытных специалистов, большей частью утерян. Что же касается таких качественных показателей как содержание в разведанных слюдоносных жилах «телевизионного» мусковита, то по ним имеются лишь отрывочные сведения, полученные в конце 80-х годов. Сведений о мелкоразмерном мусковите высокой чистоты в разведочных данных вообще не содержится. Ясно, что о восполнении таких пробелов специальным переопробованием слюдоносных зон в масштабе провинций в настоящее время не может быть и речи. «Спасти» положение в определенной мере может лишь обращение к имеющимся научно обоснованным геологическим критериям прогнозной оценки качества мусковитового сырья, которые были разработаны в последние десятилетия.

С этой целью необходимо прежде всего вспомнить классификацию промышленных слюдоносных жил, разработанную для Северо-Байкальской провинции В.Н.Чесноковым. Идентификация разведанных слюдоносных жил на ее основе может позволить учесть эмпирически установленные соответствия между возрастной принадлежностью пегматитов, их морфологией, параметрами, характеристиками запасов, с одной стороны, и качеством мусковита — с другой. Однако практически использовать получаемые таким способом данные о качестве мусковита очень рискованно, так как указанные эмпирические зависимости не учитывают в достаточно полной степени влияние на качество мусковитовой минерализации в пегматитах состава вмещающих метаморфических пород, возможные тектонические деформации, разрушающие кристаллы мусковита, и многие другие проявления геологических факторов.

Более надежный путь к решению данной проблемы берет начало в фундаментальных разработках вопросов генезиса мусковитовых пегматитов — в исследовании причинных зависимостей качественных показателей мусковитового сырья от высочайшей внутриформационной изменчивости пегматитов. Вопросы, возникающие при этом, во многом еще остаются загадочной стороной пегматитовой проблемы. Они рассмотрены в работах В.Д.Никитина, Г.Г.Родионова, Ю.М.Соколова, Л.Л.Гродницкого, М.Е.Салье, Ю.Е.Рычка, А.С.Никанорова, Б.М.Шмакина, В.Н.Чеснокова, В.П.Кочнева и других известных исследователей мусковитовых пегматитов. Автору данной статьи

представляется важным отметить, что новые возможности в решении рассматриваемой проблемы определил переход с формационного на фациальный уровень исследований пегматитов. При таком подходе объектами рассмотрения являются не только, и не столько отдельные пегматитовые тела, сколько совокупности пегматитовых тел с определенными геолого-минералогическими признаками.

Исследования показали, что между изменчивостью морфологии, состава и строения пегматитов, с одной стороны, и структурно-вещественными проявлениями геологических факторов их контроля (магматический, метаморфический, литологический, тектонический), с другой, существуют определенные, устойчиво повторяющиеся и генетически обусловленные соответствия. Такие соответствия положены в основу фациального анализа, который определяется как комплекс приемов и специальных методик, применяемых для выяснения конкретных геологических (и, соответственно, физико-химических) обстановок пегматитогенеза по соответствующим этим обстановкам проявлениям изменчивости пегматитов. Пегматитовые фации выделяются по изменчивости состава, строения, минералогическим особенностям и формам залегания пегматитовых тел, обусловленных влиянием главных факторов их геологического контроля [1, 2].

Фация пегматитов — это совокупность пегматитовых тел определенной формации, обладающих устойчивым комплексом особенностей форм залегания, состава и строения, возникновение которого в каждом конкретном случае достаточно четко коррелируется с решающим влиянием какого-либо геологического фактора. Ведущий геологический фактор, обусловивший комплекс фациальных особенностей пегматитов, определяет *тип фаций* пегматитов. Анализ этих особенностей, отражающих морфологическую и вещественно-структурную изменчивость пегматитов, обусловленную ведущим геологическим фактором, позволяет выделить *виды фаций*. Удобно типы фаций мусковитовых пегматитов, выделенные по выбранному в качестве ведущего метаморфическому фактору, обозначить как *метаморфофации*, соответственно магматическому — *магматофации*, литологическому — *литофации*, тектоническому — *тектонофации* [1, 2].

Реальность фациального расчленения пегматитов доказывается проведенным картированием пегматитовых фаций. Комплекс геолого-минералогических признаков пегматитовых фаций разных типов и видов, использованный при геологическом картировании, оказался вполне достаточным для разграничения фаций при построении высокоинформативных фациальных геологических карт 1:2 000, 1:5 000. Представляется возможным и решение обратной задачи: определение фациальной принадлежности пегматитов по ряду их морфологических и вещественно-структурных признаков, сведения о которых содержатся в материалах геолого-съемочных, поисковых и разведочных работ. Принципиальная возможность такой идентификации доказывается примерами фациальных расшифровок, осуществленных на основе материалов геологического картирования ряда участков Луговского, Колотовского и Большесеверного пегматитовых полей. Практически важным результатом в таких исследованиях может быть разбраковка промышленных слюдоносных жил по качеству содержащегося в них мусковита как одному из показателей фациальной изменчивости пегматитов и генетическому признаку пегматитов определенных видов фаций.

Так, признаки «телевизионных» сортов мусковита (максимальные размеры, низкая степень первичной (ростовой) дефектности кристаллов, минимальная степень проявления вторичных преобразований и деформаций) присущи в высшей степени дифференцированным пегматитам второй возрастной группы (плаггиоклаз-калишпатовым), в которых сочетаются характерные черты пегматитов *мусковитовой метаморфофации* и *тектонофации растяжения (В)*.

Это положение подтверждается примерами знаменитых мамских пегматитовых жил: 5 гольца Рудничного Большесеверного поля, 24 гольца Березового Луговского поля, 15 гольца Зеленого Кочектинского поля, 2 гольца Решающего Чуйского поля (можно продолжать перечисление), при разработке которых в 70-е годы XX столетия можно было видеть извлекаемые из пегматитов в высшей степени совершенные кристаллы мусковита, достигающие 1 м в перечнике. В то время о качестве мусковита, «телевизионной» слюде, существовали другие понятия. То, что сейчас ценится на мировом рынке практически на вес золота, в то время учитывалось иначе, поэтому недостаточно полно отражено в данных разведки и эксплуатации. Какое количество уникальных по качеству и размерам кристаллов мусковита содержалось в 780 тыс.т листового мусковита, добытого горнообогатительным комбинатом «Мамслюда» за всю историю своего существования? Явно немалое. Свидетельство тому — профессиональный опыт представителей старшего поколения иркутских геологов-слюдяников: А.С.Давидюка, В.С.Мишина, Н.И.Подоплелова, В.Н.Чеснокова, В.В.Савина, Е.В.Тарасова, А.П.Кочнева, Г.А.Галкина, А.П.Спиридонова, Ю.Г.Гарника и др.

То, что определенная часть мамских слюдоносных жил (из 2376 разведанных) содержит высокосортный мусковит, подтверждают результаты специального опробования некоторых из них. В частности, жилы 254 и 252 гольца Поворотного Слюдянского поля — выход «телевизионного» мусковита до 0,5—1% (данные Мамско-Чуйской ГРЭ, 1989). «Телевизионный» мусковит содержится и в пегматитах другой сибирской мусковитовой провинции — Восточно-Саянской: 0,028% от промсырца Р-100 и Р-50 (Тепса, жила 6, горизонт штольни 1; данные Ангарской экспедиции, 1988). Все указанные слюдоносные объекты по геологическим характеристикам относятся к уже указанным пегматитовым фациям, продуктивным на высококачественный мусковит.

В отношении особо чистого мелкозернистого мусковита опереться в оценке продуктивности пегматитов на данные разведки практически невозможно — такие данные отсутствуют. Опыт геологических наблюдений показывает, что этот вид сырья характерен для пегматитовых жил как первой, так и второй возрастных групп (плаггиоклазовых и плаггиоклаз-калишпатовых), относящихся к *глиноземистой* и *известковистой литофациям*. Весьма низкие содержания биотита, в т.ч. находящегося в виде включений в мусковите, фиксируются в слабо дифференцированных пегматитах *тектонофации растяжения*, в которых ослюдование представлено кварц-мусковитовым комплексом. Основная масса плаггиоклазовых пегматитов фации *направленного сжатия (Б)* — пегматиты с так называемыми «трещинными» слюдами — также являются источниками мелкозернистого мусковитового сырья, но с повышенным содержанием биотита.

Конечно, переоценка запасов мусковита с использованием фациального анализа пегматитов в качестве на-

учно-методической основы требует дополнительной разработки, уточнения и практической апробации. Очевидно, что ее эффективность возрастет, если она будет дополнена другими приемами оценки качества мусковита, проведенной, в частности, на основе упомянутой классификации В.Н.Чеснокова. Однако *принципиальная возможность эффективной переоценки качества запасов мусковита на основе фациального анализа пегматитов, по крайней мере для выяснения современного потенциала сибирских регионов в укрупненных показателях не вызывает сомнения.*

В заключение нельзя не отметить, что с улучшением экономической ситуации в стране потребность в отечественном слюдяном сырье возрастает. Слюдоносные пегматиты с гигантскими размерами кристаллов и мономинеральными обособлениями кварца, полевых шпатов, слюд являются «чудом природы», которое вот уже дважды в мировой истории XVIII—XX вв. вызывало значительный практический интерес. Совершенно невероятно, что в будущем такой интерес к ним не возобновится на новой научной и технологической основе. История освоения слюдяных месторождений в СССР 1930—50-х годов убежда-

ет, что кроме материальных затрат важнейшей составляющей цены восстановления будет научное геологическое обеспечение работ. Геология пегматитовых месторождений чрезвычайно сложна и специфична, требует от геологов глубоких специальных научных знаний, поэтому затраты интеллектуальных сил и времени могут оказаться при этом весьма значительными. Восприятие накопленного опыта научных исследований и его практическое использование в настоящее время — это мост в будущее слюдяной Мамы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов М.А.* Сдвиговая тектоника и гранитные пегматиты // Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планеты земной группы. —С-Пб., 1997. С. 328—341.
2. *Иванов М.А.* Фации мусковитовых пегматитов Сибири (Северо-Байкальская и Восточно-Саянская провинции). —С-Пб., 1999.
3. *Коровкин В.А., Турылева Л.В., Руденко Д.Г.* и др. Недра Северо-Запада Российской Федерации. —С-Пб.: ВСЕГЕИ, 2003.
4. *Мировой и российский рынок слюды.* —Изд. Консультационно-исследовательской фирмы «Экотранс» (<http://www.marketing.spb.ru/mr/industry/sluda-00.htm>).

Рецензии

УДК (049.32)

© В.И.Казанский, 2006

Ценная книга об истории создания минерально-сырьевой базы урана в СССР*

В.И.КАЗАНСКИЙ (ИГЕМ РАН)

В нашей стране и за ее пределами широко известны имена физиков — организаторов уникальной программы овладения атомной энергией в военных и мирных целях, получившей название «Атомный проект СССР». Беспрецедентный размах работ по этой программе отражен в много-томном издании «Атомный проект СССР: документы и материалы», куда вошли не публиковавшиеся ранее постановления и распоряжения Государственного комитета обороны, Совета Народных Комиссаров и Совета Министров СССР.

Вторая книга II тома включает документы с августа 1945 по август 1946 годов. В это время работы над советским атомным проектом получили высший государственный приоритет. Всего в данный том** включены 223 документа, 21 из них посвящены организации геологоразведочных работ, добыче и переработке урановых и ториевых руд, в т.ч. в странах Восточной Европы, 15 — организации научных исследований, строительству новых научных учреждений и лабораторий, подготовке физиков и других специалистов.

Особое внимание к геологоразведочным работам на уран было обусловлено тем, что в середине 1940-х годов в СССР не было необходимых для «Уранового проекта»

расщепляющихся материалов и рудных месторождений, из которых их можно было бы добывать в нужных количествах. Именно в это время поиски, разведка и изучение радиоактивного сырья стали главной задачей геологической службы страны.

Книга Е.А.Пятова — документальное свидетельство того, как и кто решал задачу государственной важности. В книге собраны и систематизированы архивные материалы, ранее доступные ограниченному кругу лиц, названы сотни участников геологоразведочных работ на уран — от руководителей до буроператоров и геологов, ставших первооткрывателями и разведчиками новых месторождений.

Книга состоит из шести глав, характеризующих основные периоды в создании урановой минеральной-сырьевой базы страны. Главы расположены в хронологическом порядке, а их названия раскрывают содержание соответствующих периодов.

Первая глава — «Возникновение проблемы поиска урана в СССР. Рождение и первые шаги урановой геологии (1943—1950 гг.)». Уже в 1945 г. в стране была создана особая организация для ведения поисков, разведки и освоения радиоактивных руд — Первое Главное геологическое управление или Первый Главк (в настоящее время

* Пятов Е.А. Стране был нужен уран. История геологоразведочных работ на уран в СССР / Под редакцией Г.А.Машковцева. —М.: ВИМС, 2005. 245 с.

**Атомный проект СССР. Документы и материалы / Под ред. Л.Д.Рябова. Т. 2. Атомная бомба. 1945—1954 гг. Книга 2. —М.—Саров: Наука-Физматлит, 2000. 536 с.

ФГУП «Урангеологоразведка»). В состав Первого Главка вошли 11 территориальных экспедиций, а в подчинение были переданы Северо-Кавказское и Киргизское геологическое управление. На поиски урана и тория 1 апреля 1946 г. были ориентированы 270 партий. В ВИМС был создан урановый сектор, во ВСЕГЕИ — отдел специальных исследований, ВСЕГИНГЕО — отдел радиогеологических исследований, ИГН АН СССР — Средне-Азиатская экспедиция, ИГФМ АН УССР — отделение металлогении и др. В Московском институте цветных металлов и золота и Московском геологоразведочном институте были созданы факультеты по подготовке инженеров урановой специализации — геологов, геофизиков, горняков, обогатителей и металлургов. Позже к подготовке кадров присоединились Ленинградский горный институт, Ленинградский государственный университет, Свердловский горный институт, Томский политехнический институт, Киевский и Старооскольский геологоразведочные техникумы. Эти учебные учреждения обеспечили приток молодых кадров в урановую геологию.

Для скорейшей оценки территории страны на уран было введено ревизионное изучение на уран имеющихся коллекций образцов и действующих рудников, обязательное попутное обследование на уран при проведении всех геологических работ. Все наземные партии были оснащены радиометрическими приборами, начаты аэрогаммапоиски на больших площадях. Геологоразведочные работы на уран развернулись не только в СССР, но и в странах Восточной Европы, особенно в Рудных горах, где весьма эффективной оказалась эманационная съемка.

Прежде всего нужно было обеспечить сырьем первый в стране Комбинат № 6, созданный в г. Ленинабад на базе Табошарского и нескольких более мелких месторождений урана, что было сделано после открытия в Чаткальском хребте гидротермальных месторождений Алатаньга и Каттасай с относительно более богатыми рудами. Так определилась Чаткад-Кураминская урановорудная провинция. В этот же период были открыты гидротермальные месторождения урана в районе Кавказских минеральных вод (Бештаугорское, Быкогорское), Криворожском железорудном бассейне (Первомайское, Желтореченское), Джильское и другие уран-угольные месторождения в Северной Киргизии, которые также были вовлечены в эксплуатацию. Специализированные работы на уран производились во многих районах страны, но они не привели к значительным открытиям. В то же время советские геологи создали в Рудных горах крупную сырьевую базу урана, представленную гидротермальными месторождениями с богатыми рудами, что позволило построить здесь мощные горнодобывающие предприятия.

Если в 1945 г. из месторождений СССР было добыто U 14,6 т, то в 1950 г. из месторождений СССР и стран народной демократии было получено U 2076,9 т, а всего за 1945—1950 гг. добыча урана составила 4446,0 т. Тем не менее, для долгосрочной программы развития атомной промышленности СССР открытых и разрабатываемых месторождений было недостаточно.

Вторая глава «Геологоразведочные работы набирают силу. Новые открытия (1951—1960 гг.)» отражает огромные усилия по развертыванию широкомасштабных поисковых работ на всей территории СССР. В 1951 г. ревизионным обследованием, попутными поисками занимались 820 партий, к концу десятилетия число таких партий

перевалило за 4000. Уже в 1951 г. работало 13 аэропартий, в которых имелось 38 самолетов. При аэропоисках в качестве основного был принят масштаб 1:25 000, и резко возросло внимание к наземной проверке выявленных с воздуха аномалий. В Первом Главке были созданы 8 новых экспедиций.

Результатами геологоразведочных работ в рассматриваемый период стали открытия месторождений богатых руд Бихор в Румынии, Курдай в Южном Казахстане, Карагинского рудного поля на Мангышлаке (месторождение Меловое и др.). Выявление Карагинского рудного поля — первый значительный успех урановой геологии внутри СССР. Здесь были обнаружены залежи ураноносного костного детрита, не имеющие аналогов в мире, которые стали сырьевой базой нового крупного уранодобывающего предприятия. Весьма успешными оказались аэропоиски в Северном Казахстане. На Кокчетавском массиве были открыты и переданы промышленности 9 уран-молибденовых и уран-фосфорных месторождений (Балкашинское, Маныбайское, Тастыкольское, Коксорское, Заозерное, Ишимское, Акканбурлукское, Шатское). В Южном Казахстане были найдены жильные месторождения Ботабурум и Кызылсай.

Однако главное событие — открытие в Кызылкумах уранового месторождения Учкудук, форсированная разведка месторождения с помощью бурения и доказательство его связи с рудоконтролирующими зонами пластового окисления. Это открытие было отмечено Ленинской премией. На базе Учкудукского месторождения началось строительство нового комбината и г.Навои. Установленные на месторождении закономерности эпигенетического уранового рудообразования дали возможность развитию поисковых работ на всей площади Кызылкумов, где были найдены новые урановые месторождения такого же типа: Кетменчи, Букинай, Сабырсай. Например, во второй половине 1950-х годов началось освоение одной из крупнейших в СССР урановорудных провинций.

В рассматриваемый период продолжались поиски урановых месторождений в Северо-Западном, Уральском, Дальневосточном регионах, на Украине, в Западной и Восточной Сибири. Для дальнейших первоочередных работ были выделены территории Казахстана, Средней Азии и Алданский щит. К малоперспективным отнесены Карпаты, Закавказье, Балтийский щит, складчатый Урал и Приморье.

Всего за 1951—1960 гг. Первый Главк разведвал около 180 тыс. т запасов урана промышленных категорий. Вместе с крупными поставками урана из стран Восточной Европы это сняло остроту обеспечения СССР расщепляющимися материалами.

Глава третья «Проблема обеспечения страны урановым сырьем близка к решению. Открытие новых крупных рудных районов (1961—1970 гг.)». В истории урановой геологоразведочной службы Советского Союза это самые результативные годы. Так, была развита теория пластово-инфильтрационного рудообразования на месторождениях учкудукского типа, согласно которой урановые руды отлагаются в местах выклинивания зон пластового окисления из ураноносных кислородных вод в породах с сингенетическими и эпигенетическими восстановителями. Новая методика прогнозирования и поисков пластово-инфильтрационных месторождений предусматривала построение по данным бурения карт эпигенетической зо-

нальности. К середине 1960-х годов в Кызылкумах было пробурено 4 млн.м скважин и открыто 11 новых месторождений. Проводились эксперименты по эксплуатации месторождений с помощью подземного выщелачивания, однако из-за методических и технических трудностей широкая реализация метода на практике произошла уже в 1970-е годы.

Геологоразведочные работы в Северном Казахстане были ориентированы на поиски не выходящих на поверхность месторождений урана. С помощью комплексной поисковой системы было открыто самое крупное в регионе Грачевское месторождение, залегающее в натровых метасоматитах, Джиделинское уран-молибденовое месторождение и др. В Южном и Восточном Казахстане были начаты поиски пластово-инфильтрационных месторождений в западном обрамлении хр.Каратау и Чуйской депрессии.

Выдающееся достижение советской геологии — открытие трех новых крупных урановорудных районов: Эльконского в Южной Якутии в 1961 г., Стрельцовского в Восточном Забайкалье в 1963 г. и Кировоградского на Украине в 1964 г. История их открытия и разведки заслуживает более подробного изложения.

Эльконский урановорудный район находится в центральной части Алданского щита в непосредственной близости к россыпным и гидротермальным месторождениям золота. В 1948—1952 гг. здесь действовало крупное предприятие по добыче из россыпей монацита как источника тория. Центральный Алдан с 1940-х годов неоднократно выдвигался как перспективная на уран территория, но только в 1960 г. одна из партий Якутского геологического управления выявила радиоактивные аномалии урановой природы в бассейне рек Элькон и Эльконкан, и начались детальные поисковые, оценочные и разведочные работы на уран в Эльконском районе.

В 1962 г. Октябрьской экспедицией Первого Главка в кристаллическом фундаменте щита была выявлена серия ураноносных зон общей протяженностью около 400 км. Самая крупная Южная зона была прослежена в длину на 20 км. Поражали масштабы рудного процесса, проявленного на площади 800 км².

В 1963 г. вышло постановление ЦК КПСС и СМ СССР о форсировании поисковых и разведочных работ в Эльконском районе и организована Приленская экспедиция в составе 10 геологоразведочных, геологосъемочных и геофизических партий. Еще ранее к изучению Эльконского района были привлечены крупные коллективы ученых. Всего в 1960—70-х годах в Эльконском урановорудном районе было пройдено около 1 млн.м³ канав, 200 км буровых скважин и 23 км подземных горных выработок. Тем не менее, Эльконский район не был передан промышленности из-за низкого содержания урана и попутного золота в рудах и глубокого их залегания.

События в *Стрельцовском рудном районе* развивались по другому сценарию. В 1950-х годах в Восточном Забайкалье было открыто среднее по размерам Оловское месторождение урана, залегающее в основании мезозойской вулканогенно-осадочной депрессии, которое было разведано, но по разным причинам не вовлечено в эксплуатацию. Одна из причин — обнаружение Сосновской экспедицией уникального Стрельцовского рудного района в Тулукувской вулканической кальдере. В 1963 г. одна из скважин вскрыла в вулканитах несколько крутопадающих

ураноносных зон и в интервале 220—260 м пересекла пологую уран-молибденовую залежь со средним содержанием урана 0,14%. Затем последовали другие скважины, вскрывшие кондиционные урановые руды, и была открыта серия глубокозалегающих урановых месторождений.

Совет Министров СССР распоряжением от 17 февраля 1967 г. обязал Министерство геологии СССР форсировать разведку Стрельцовского района и выделил необходимые финансовые средства и материальное обеспечение. В 1967—1969 гг. в районе было пробурено свыше 530 000 м скважин, пройдены две шахты и свыше 36 км подземных горных выработок. Не дожидаясь окончания разведки, Совет Министров СССР принял Постановление о строительстве на базе урановых месторождений Стрельцовского района Приаргунского горно-химического комбината с вводом его первой очереди в эксплуатацию в 1972 г. Открытие и разведка урановых месторождений Стрельцовского района были отмечены Ленинской премией, а Сосновская экспедиция награждена орденом Ленина.

Кировоградский рудный район был открыт благодаря тому, что в одной из гидрогеологических скважин, пробуренных Южно-Украинской экспедицией треста «Киевгеология», была выявлена высокая радиоактивность, в керне обнаружены настуран и урановые черни, а в пробе воды — высокие содержания радона. Скважина находилась вблизи г.Кировоград на значительном удалении от Криворожского бассейна, Первомайского и Желтореченского урановых месторождений, которые к тому времени были почти отработаны. Так, в середине 1960-х годов начался «звездный час» в деятельности Кировской экспедиции. Урановое оруденение здесь было обнаружено в протерозойских гнейсах, мигматитах и гранитоидах. Оказалось, что упомянутая скважина пересекла одну из рудных залежей крупного уранового месторождения в альбититах, названного Мичуринским, за два года была выполнена его разведка, и в 1967 г. оно было передано промышленности.

Параллельно развивались поиски на смежных площадях с широким применением бурения. Они привели к открытию других урановых месторождений в альбититах — Копляновское, Лелековское, Северинское, Ватутинское, которые приурочены к двум субмеридиональным зонам разломов, обрамляющим гранитоидный массив. Потенциал Кировоградского района был оценен очень высоко. В следующем десятилетии он был раскрыт полностью.

В 1961—1970 гг. экспедиции Первого Главка вели поиски урана в Северо-Западном и Уральском регионе, в Западной Сибири и на Дальнем Востоке, но они не дали весомых результатов. Всего за 1960-е годы экспедиции Первого Главка разведали по промышленным категориям свыше 200 000 т урана.

Глава четвертая «Новые потребности — новые задачи. Дальнейшее развитие геологоразведочных работ на уран (1971—1980 гг.)». Новые потребности в уране возникли в связи с программой создания атомной энергетики в СССР. В 1971—1980 гг. предусматривалось сооружение АЭС общей мощностью 26,8 ГВт, и в 1981—1990 гг. — наращивание мощностей еще на 67 ГВт. Было подсчитано, что АЭС общей мощностью 100 ГВт потребует для работы 17—18 тыс.т природного урана в год, а с учетом АТС и зарубежных АЭС потребность может достигнуть 20—22 тыс.т урана в год.

Вопросы перспективного обеспечения ураном намечавшихся к строительству АЭС беспокоили Первый Главк и

геологов Министерства среднего машиностроения. Из трех открытых в 1960-е годы крупных урановорудных районов Эльконский район не был востребован промышленностью. В новой ситуации было решено рассматривать его как резервную сырьевую базу страны и провести более детальную оценку самой крупной южной урановорудной зоны. К концу 1970-х годов по Южной зоне был выполнен большой объем глубокого бурения, на участке Курунг пройдены две шахты и горизонтальные горные выработки длиной около 6 км, детально изучено распределение урана на трех горно-буровых полигонах. Получены обширные сведения о структуре Южной зоны, об условиях локализации в ней уранового оруденения, доказано, что урановые руды распространяются на глубину 1800 м без признаков выклинивания. Как наиболее рудонасыщенный был выделен отрезок Курунг-Эльконской зоны длиной около 8 км, и в его пределах подсчитаны запасы урана по категориям В, С и С₂. Тем не менее, Эльконский район так и не был вовлечен в эксплуатацию.

Гораздо успешнее шли геологоразведочные работы в Стрельцовском районе. Было доказано, что Тулукуевская кальдера вмещает около 20 жильных и штокерковых урановых месторождений (Стрельцовское, Тулукуевское, Юбилейное, Новогоднее, Мало-Тулукуевское, Октябрьское, Лучистое, Мартовское и др.). Важным событием стало открытие в фундаменте Тулукуевской кальдеры месторождения Антей, уходящего на глубину 500—700 м. Это единственный случай в мире для месторождений, так называемого, вулканогенного типа. К концу 1970-х годов разведка месторождений Стрельцовского района была завершена и Приаргунский горно-химический комбинат был обеспечен надежной минерально-сырьевой базой. Всего в 1960—1980 гг. геологоразведочные работы в пределах Тулукуевской кальдеры было затрачено 263,7 млн.руб. и пробурено около 3 млн.м скважин.

В Кировоградском рудном районе в 1970-х годах произошли серьезные изменения в методике поисков и разведки урановых руд. Подавляющая часть его площади перекрыта рыхлыми отложениями, представляет собой высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья (это центральная черноземная часть Украины), густо населена. Поэтому нужно было сократить число буровых станков путем организации глубокого многостовбурного бурения. В результате в 1972 г. было открыто новое — Центральное месторождение, часть рудных залежей которого обнаружена под городскими кварталами Кировограда. В центральной части Новоукраинского гранитоидного массива открыто Новокопанинское рудное поле, состоящее из Новокопанинского, Докучаевского, Летнего и Лесного урановых месторождений. Тем самым Восточный горнообогатительный комбинат был обеспечен столь необходимыми запасами урановых руд.

Использование подземного выщелачивания для отработки пластово-инфильтрационных месторождений урана вызвало необходимость получения дополнительных параметров в процессе геологоразведочных работ: удельный запас урана на скважину и единицу площади, удельные расходы реагентов и реагентоемкость вмещающих пород, радиоактивное равновесие руд и его изменчивость в разрезе и плане. Это позволило утвердить разведанные запасы месторождений Букиной, Кетменчи, Сурталы, Лявлякан, Бешкак и передать в промышленность для освоения. Затем в Сырдарьинской впадине было выявлено Карамуронское

рудное поле с несколькими крупными урановыми месторождениями, а в Чу-Сарысуйской впадине обнаружены месторождения Уванас, Жалпак, Мынкудук, Канжуган и др. За создание концепции уранового рудообразования в осадочных толщах и открытие на основе этой концепции крупных урановых месторождений была присуждена Ленинская премия.

В 1970-х годах были сделаны практически интересные открытия в Северном и Центральном Казахстане (Глубокое, Агашское, Шокпакское, Мынкудукское и др.). Однако поиски в Северо-Западном, Центральном, Уральском регионах и Западной Сибири не дали ощутимых результатов.

Глава пятая «Проблема уранового сырья решена. Уран переходит в разряд сырья с ограниченным спросом (1981—1990 гг.)». В это десятилетие на геологоразведочные работы на уран влияли различные факторы. Была полностью решена проблема обеспечения урановым сырьем и выявленные и разведанные запасы этого металла удовлетворяли любым темпам роста атомной энергетики. Однако программа строительства новых АЭС не была выполнена. После аварии на Чернобыльской АЭС резко изменилось отношение общественности к атомной энергетике. Вскоре в стране было законсервировано, а затем и ликвидировано 17 крупных строек, связанных с атомными станциями.

Важнейшее достижение первой половины указанного десятилетия — выявление крупных ресурсов урановых руд в Сырдарьинском и Чу-Сарысуйском районах. В рудах пластово-инфильтрационных месторождений были открыты попутные компоненты: селен, рений, скандий, ванадий, молибден, редкие земли, проведены эксперименты по извлечению некоторых из них при подземном выщелачивании. В Восточной Сибири в Витимском (Хиагдинском) районе была открыта серия гидrogenных урановых месторождений в осадочных породах неогенового возраста, перекрытых базальтами, в Онежской впадине — комплексное уран-ванадиевое месторождение Падма, в рудах которого присутствуют золото, серебро, платина и палладий. В Уральском регионе были получены обнадеживающие результаты на Далматовском месторождении. В Заплярной Сибири была начата разведка Малиновского уранового месторождения палеодолинного типа.

В новом десятилетии Кировская экспедиция наращивала запасы урана на Северинском, Центральном и Новокопанинском месторождениях. Задание по приросту запасов на 1981—1985 гг. было выполнено на 123%, 1985—1990 гг. — 112%. В 1985 г. более дешевым способом подземного выщелачивания было добыто 25% всего урана.

Распад в 1991 г. СССР как государства привела к ломке единой системы атомной промышленности и урановой геологоразведочной службы. К Российской Федерации в наследство от СССР перешли 60% предприятий атомной энергетики, весь атомный флот, хранилища природного урана. На постсоветском пространстве только Россия сохранила ядерное оружие. Другие страны СНГ объявили о своем безъядерном статусе и обязались передать Российской Федерации все ядерное оружие, оказавшееся на их территориях.

На территории России из шести урановорудных районов остался только Стрельцовский район с действующим Приаргунским добычным комбинатом с 28% от разведанных общесоюзных запасов урана.

Глава шестая «Работы на уран в Российской Федерации (1991—2000 гг.)». Секретность, сопровождавшая предшествующие геологические исследования на уран, потеряла смысл в 1991 г., когда в МАГАТЭ была представлена сводка о состоянии сырьевой базы урана СССР и размещении уранодобывающих предприятий. Сводку составили ведущие геологи-уранщики страны: Н.П.Лаверов, В.И.Величкин, В.В.Кротов, А.Л.Лапин, С.С.Наумов, М.Д.Пельменев, М.В.Шумилин. Суммарный объем ресурсов и запасов урана в ней определен в 2 млн.т, что больше чем в любой другой стране мира. МАГАТЭ учитывает разведанные запасы урана по трем ценовым категориям: I — рентабельные при цене урана до 80 долл./кг, II — от 81 до 120 и III — свыше 120 долл./кг. В 1989 г. в СССР на долю категорий приходилось I — 51%, II — 35,9% и III — 12,5% балансовых запасов урана. На этом и закончилась история геологоразведочных работ на уран в СССР.

В конце 1990-х—первой половине 2000 годов была опубликована серия книг и статей об истории открытия и освоения на территории бывшего СССР отдельных ураноносных провинций, рудных районов и месторождений, большая часть которых не имеет аналогов в основных уранодобывающих странах (Канада, Австралия и др.) Книга Е.А.Пятова впервые с недоступной ранее полнотой раскрывает деятельность Первого Главка по решению важнейшей государственной задачи — созданию минерально-сырьевой базы Атомного Проекта СССР. Поэтому ее значение трудно переоценить.

Руководители Первого Главка — В.И.Кузьменко и затем Н.Ф.Карпов — неоднократно подчеркивали, что поиски и разведка уранового сырья представляет собой единый научно-производственный процесс, и привлекали к решению практических задач крупные коллективы ученых из разных организаций. При описании провинций, рудных районов и месторождений урана, открытых в СССР, Е.А.Пятов указывает не только экспедиции и партии Первого Главка, но также соответствующие институты и их специализированные подразделения. В книге детально охарактеризована работа сотрудников ВИМС как головного института в области урановой геологии. Длительное и плодотворное сотрудничество ученых и геологов, непосредственно занимавшихся поисками и разведкой урановых месторождений, было полезно и той, и другой стороне. Это способствовало созданию теоретических обобщений и позволяло ученым получить из первых рук новую ценнейшую информацию, непосредственно влиять на геологоразведочный процесс. Д.И.Щербакову, Ф.И.Вольфсону, В.Г.Мелкову, А.А.Саукову и А.Тугаринову за разработку научных проблем в области урановой геологии была присуждена Ленинская премия.

Вне всякого сомнения, книга Е.А.Пятова представляет интерес не только для специалистов в области урановой геологии, но и для более широкого круга читателей — геологов, геофизиков, преподавателей высших и средних учебных заведений.

В статье И.А.Томбасова «Автономные анортозиты Алданского щита — их формационная принадлежность (на примере Каларского массива)» (№ 2/2006) обнаружен пропуск в последнем абзаце на с. 34.

Напечатано	Следует читать
По-видимому, постоянная приуроченность автономных анортозитов к региональным тектоническим швам обязана именно такому процессу. Чисто полевошпатовые породы более интенсивно выветриваются и разрушаются, что предположительно и является причиной ограниченного развития автономных анортозитов во всем мире.	По-видимому, постоянная приуроченность автономных анортозитов к региональным тектоническим швам обязана именно такому процессу. При этом вероятность выхода на современный эрозионный срез автономных анортозитов, занимающих в разрезе этой магматической колонны менее 10%, прямо пропорциональна этому проценту, и более того, при гранитизации они частично уничтожены. Физические свойства чисто полевошпатовых пород способствуют более интенсивному выветриванию и разрушению этого «слоя», что предположительно и является причиной ограниченного развития автономных анортозитов во всем мире.

75-летие Георгия Владимировича Гальперова

4 августа 2006 года исполнилось 75 лет Георгию Владимировичу Гальперову — заведующему Лабораторией прогнозных металлогенических исследований Научно-исследовательского института космоаэрогеологических методов (НИИКАМ).

Окончив в 1959 г. Иркутский горно-металлургический институт Г.В. Гальперов до 1963 г. работал в производственных геологических организациях Якутии, участвуя в работах по геологическому картированию, прогнозированию и поискам коренных месторождений алмазов.

С 1963 г. Г.В. Гальперов работает в ЛАЭМ-ВНИИКАМ-ГУП «НИИКАМ» и руководит космоаэрогеологическим отделом и затем лабораторией прогнозных металлогенических исследований.

В 1970 г. Георгий Владимирович защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, в которой впервые обосновал и изложил методические приемы дешифрирования вещественного состава горных пород по материалам аэросъемок.

В 1970-е годы под руководством Г.В. Гальперова и при его непосредственном участии была обоснована и разработана методика использования материалов дистанционного зондирования при глубинном геологическом картировании районов 2-3-х ярусного строения. Результаты этих исследований изложены в монографии «Аэрометоды геологического изучения районов двухъярусного строения» и серии методических рекомендаций по геологическому картированию среднего и крупного масштабов.

С 1977 по 1978 гг. Г.В. Гальперов работал по контракту в Гвинее и составил тектоническую карту западной части страны с использованием материалов дистанционного зондирования, что внесло существенный вклад в дело изучения геологического строения этого региона Африки.

В 1980-х годах большой коллектив специалистов под руководством Георгия Владимировича Гальперова выполнял тектоно-магматические и металлогенические исследования на основе материалов дистанционного зондирования в Кавказском, Оймяконо-Колымском и Кызылкумском регионах. В это время выпущен ряд методических руководств и в 1988 г. опубликована монография «Металлогенические и тектоно-магматические исследования на основе материалов аэро- и космосъемок».

Г.В. Гальперов ведущий специалист отрасли по изучению структурно-тектонического контроля размещения крупнейших рудных объектов и созданию прогнозно-поисковых моделей месторождений гигантов на основе материалов дистанционного зондирования Земли. Результаты работ неоднократно представлялись на Международных конференциях в Канаде, Великобритании, на XXXI Международном геологическом конгрессе в Бразилии.

В 1980-х годах Георгий Владимирович Гальперов с группой специалистов ВНИИКАМ работал по зарубежным контрактам в Монголии, где проводились работы, связанные с поиском подземных вод по материалам тепловой аэросъемки, в Болгарии и Чехословакии по дешифрированию и использованию материалов радиолокационной аэросъемки в геологических исследованиях, проводимых геологическими службами этих стран.

Г.В. Гальперов постоянно передает богатый опыт специалиста и эксперта в области аэрокосмических методов геологических исследований молодым специалистам и



геологам производственных геологических организаций. На курсах повышения квалификации геологов-съемщиков, организованных при ВСЕГЕИ (1980-90-ые годы), Георгий Владимирович читал лекции по интерпретации и использованию материалов дистанционного зондирования в процессе геологоразведочных работ. На научно-практических семинарах при ГУП «НИИКАМ» читал лекции и проводил практические занятия по использованию дистанционной основы Госгеолкарты-1000 и -200 при картографировании и прогнозировании полезных ископаемых.

Г.В. Гальперов — автор, соавтор и один из основных редакторов четырех монографий, одна из которых — «Аэрометоды геологических исследований» (1971) — была более двадцати лет основным методическим пособием по применению аэрометодов в геологических исследованиях для геологов производственных организаций, другая — «Аэрокосмические методы геологических исследований» (2000) — обобщила опыт последних лет применения материалов дистанционного зондирования в геологии.

Заслуги Г.В. Гальперова по внедрению методов дистанционного зондирования в геологоразведочные работы отмечены ведомственными наградами «Отличник разведки недр», «Почетный разведчик недр», юбилейным знаком «300 лет горно-геологической службе России».

*Ученый совет НИИКАМ
Редакция журнала*

60-летие Владимира Леонидовича Щербакова

27 августа 2006 г. исполнилось 60 лет Владимиру Леонидовичу Щербакову — заместителю директора Научно-исследовательского института космоаэрогеологических методов (НИИКАМ).

В.Л. Щербаков работает в ЛАЭМ-ВНИИКАМ-НИИКАМ с сентября 1973 г. после окончания Ленинградского лесотехнического института и службы в Военно-воздушных силах страны. В период прохождения военной службы В.Л.Щербаков получил высшую штурманскую подготовку, окончив училище им. Левановского и Кировоградскую школу высшей летной подготовки.

С 1973 по 1986 гг., в качестве штурмана-аэросъемщика группы лётно-съемочных работ Владимир Леонидович выполнил большой объем фотографической, радиолокационной и тепловой аэросъемки Сибири и Северо-востока России. Аэроснимки широко использовались геологическими предприятиями отрасли при выполнении геологической съемки, прогнозировании месторождений полезных ископаемых, геоэкологическом картографировании и контроле состояния окружающей природной среды. Под руководством В.Л.Щербакова и при его непосредственном участии радиолокационной аэросъемкой охвачено более чем 40% территории бывшего СССР.

В.Л.Щербаков выполнял контрактные работы по радиолокационной съемке на территории Чехии и Словакии, Восточной Германии, Польши. Полученные материалы радиолокационных аэросъемок широко использовались геологическими службами этих стран при проведении геологоразведочных работ и оценке минерально-сырьевого потенциала. В.Л.Щербаков активно участвовал в работах по усовершенствованию радиолокационной аппаратуры, разрабатывая технические требования для нового поколения радиолокационных станций.

В 1987 г. Владимир Леонидович руководил и выполнял тепловую аэросъемку для мониторинга подземных пожаров на угольном месторождении Мукунда в Индии. В дальнейшем В.Л.Щербаков работал по зарубежным контрактам в Финляндии, Испании по использованию космических снимков для решения задач землепользования, выполнял аэросъемку экспериментальной радиолокационной станцией с метровым диапазоном в рамках международного проекта с Космическим агентством Франции.

За значительный вклад в развитие и внедрение методов дистанционного зондирования В.Л. Щербаков награжден медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга», юбилейным знаком «300 лет горно-геологической службе Рос-



сии», нагрудным знаком «Отличник разведки недр», ему присвоено звание «Почетный разведчик недр».

*Ученый совет НИИКАМ
Редколлегия журнала*

Металлогения древних и современных океанов-2006. Условия рудообразования. Научное издание. — Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 375 с. ISBN 5-7691-1714-1.

В сборник вошли материалы XII научной студенческой школы «Металлогения древних и современных океанов-2006. Условия рудообразования» (24—28 апреля 2006 г.). Рассмотрены геодинамические, палеографические, литологические, физико-химические условия формирования месторождений в разновозрастных океанических структурах. Даны сведения об открытиях новых гидротермальных полей с сульфидной минерализацией в Срединно-Атлантическом хребте и развитии магматизма в океанических структурах. Отдельные разделы посвящены проблемам месторождений цветных, черных, благородных и редких металлов, состоянию и перспективам развития минерально-сырьевой базы Урала и Сибири. Большой круг вопросов касается результатов геолого-минералогических и геохимических исследований рудоносных структур, представленных студентами и аспирантами Сибири, Урала, европейской части России и Украины. Освещены вопросы геоинформационных технологий и компьютерного моделирования применительно к задачам металлогении и минералогии.

Проведение Школы и издание материалов осуществлено при поддержке РФФИ (06-05-74009-г), Президиума УрО РАН, Минобрнауки (РНП.2.1.1.1840).

Илл. 58. Табл. 39.

Ответственные редакторы: профессор, д-р геол.-минер. наук В.В.Зайков, канд. геол.-минер. наук Е.В.Белогуб

Члены редколлегии: член-корр. РАН В.Н.Анфилов, кандидаты геол.-минер. наук Е.В.Зайкова, И.Ю.Мелекесцева, К.А.Новоселов.

Программно-целевая система прогноза и воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Российской Федерации. *Б.И.Беневольский, С.С.Вартанян, В.И.Кочнев-Первухов, А.И.Кривцов, В.В.Кузнецов, В.И.Куторгин, И.Ф.Мигачев, Б.К.Михайлов, В.П.Новиков, Г.В.Ручкин* / Отв. редактор *А.И.Кривцов*. — М.: ЦНИГРИ, 2006. 75 с., 19 ил., 17 табл.

Научно-прикладная программно-целевая система управления воспроизводством минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов включает: комплексные модели месторождений основных типов и методические рекомендации по оценке прогнозных ресурсов; систему оценок и мониторинга прогнозных ресурсов; геолого-экономические модели использования и воспроизводства мировой и отечественной минерально-сырьевой базы и многовариантные прогнозы до 2025 г.; среднесрочные (до 2010 г.) и долгосрочную (до 2020 г.) программы воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов России; научно-методическое обеспечение и сопровождение оперативных программ и проектов федеральных геологоразведочных работ. Работа основана на многолетних исследованиях авторского коллектива по прогнозу, поискам и оценке месторождений стратегических полезных ископаемых; целевом анализе воздействия процессов глобализации на сырьевую базу экономики России, оценке состояния ее минерально-сырьевой безопасности.

Цель работы — создание и внедрение эффективной системы управления воспроизводством минерально-сырьевой базы и выявлением ресурсов недр в современных условиях России для устойчивого сырьевого обеспечения экономики и создания новых сырьевых баз. Работа направлена на повышение эффективности реального сектора экономики — горнодобывающей промышленности цветной металлургии; она имеет государственное значение, обеспечивает реализацию мероприятий «Основ государственной политики в области использования минерального сырья и недропользования», утвержденных распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2003 г. № 494р.

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

В данном номере журнала представлены доклады двух секций — «Модели месторождений металлов платиновой группы» и «Модели месторождений неметаллических полезных ископаемых» конференции «Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей — достижения и перспективы», прошедшей 4—6 апреля 2006 г.

Доклады, заслушанные на пленарных заседаниях, помещены в целевой сборник; остальные доклады публикуются в журнале «Руды и металлы», начиная с №3/2006 г.

PLATINUM-GROUP METAL DEPOSITS

- Mitrofanov F.P.*
Prospecting indicators for new economic deposits of Rh-Pt-Pd, Co-Cu-Ni, and Cr ores in Kola Peninsular 3
- Kochnev-Pervukhov V.I., Krivtsov A.I.*
Prognostic and prospecting models of metallogenic taxons, and their applying to delineation of prospective areas 9
- Zaskind E.S., Konkina O.M., Kochnev-Pervukhov V.I.*
Prognostic and prospecting models of platinum-bearing stratified mafic-ultramafic plutons 17
- Salaev A.V.*
Geology of nickel and platinum-bearing intrusives of Iysko-Kukschersky trough (East Sayan) 21
- Chernyschova M.N.*
Petrological-geochemical and structural-substantial criteria for forecasting and appraisal of Mamonsky-type dyke intrusive system for sulphide platinum-group metal-bearing copper-nickel ores. 25
- Zaskind E.S., Konkina O.M., Kochnev-Pervukhov V.I., Stolyarenko V.V., Fyodorova C.O.*
Models of placer-forming platinum-bearing massifs 33
- Kutorgin V.I., Djobadze V.A., Budilin Yu.S., Tarasov A.C.*
Multi-factor models of platinum placers of Far Eastern region 37

NONMETALLIC MINERAL DEPOSITS

- Kovalenko I.V., Kostelova T.G.*
Analysis of gemstone mineral base of Russia, and traectories of its development 47
- Turascheva A.V.*
Geological and economic analysis of gemstone mineral base of Russian Federation (beryl, topaz) 52

- Bydtayeva N.G., Kiseleva R.A., Mileyeva I.M.*
Forecasting and prospecting models of high-quality natural quartz crystal deposits 57
- Turascheva A.V., Schatnov Yu.A.*
Geological and economic aspects of development of quartz crystal-bearing areas in Russia for high-quality quartz crystal 64
- Nepryakhin A.E.*
Geological and technological assessment of phosphate rocks in European Russia 66
- Belyaev E.V., Chaykin V.G., Batalyn Yu.V., Distanov U.G., Kornilov A.V., Kurbanov M.M., Sabitov A.A.*
Scientific-methodical and analytical-technological support of geological exploration for nonmetallic minerals in South Federal region 71
- Astafyev B.Yu., Voinova O.A., Lokhov K.I., Matukov D.I., Prasolov E.M., Prilepsky E.B., Bogomolov E.S.*
Dating and genesys of Early Precambrian graphite mineralization of Lapland belt (Kola Peninsular) 75
- Ivanov M.A.*
Method for reappraisal of muskovite mineral base of largest in Russia North Baikalian mica-bearing province, based on pegmatite facial analysis. 83

REVIEWS

- Kazansky V.I.*
A valuable book on history of creation of uranium mineral base in USSR. 85
- 75th anniversary of Georgy Vladimirovich Galperov 90
- 60th anniversary of Vladimir Leonidovich Scherbakov 91
- New editions 92