МИНИСТЕРСТВО
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЛАТИНА РОССИИ

ТОМ III

В ДВУХ КНИГАХ

МОСКВА
ГЕОИНФОРММАРК
1999

44 **Ru**	$4d^7 5s^1$	101,07
РУТЕНИЙ		
45 **Rh**	$4d^8 5s^1$	102,9055
РОДИЙ		
46 **Pd**	$4d^{10} 5s^0$	106,4
ПАЛЛАДИЙ		
76 **Os**	$5d^6 6s^2$	190,2
ОСМИЙ		
77 **Ir**	$5d^7 6s^2$	192,22
ИРИДИЙ		
78 **Pt**	$5d^9 6s^1$	195,09
ПЛАТИНА		

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЛАТИНА РОССИИ

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ В XXI в.

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Том III
В двух книгах

Москва
ЗАО "Геоинформмарк"
1999

УДК 553.491.8.04

Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в. (Платиноидное сырье России XXI в.) //Сб. научн. трудов. – Т.III. – Кн. 1 и 2. – М.: ЗАО "Геоинформмарк", 1999. – с.352. **ISBN 5-900357-24-4.**

В сборнике научных трудов, состоящем из двух книг, рассмотрены результаты исследований российских ученых-соисполнителей программы "Платина России" по теоретическому рудно-формационному, прогнозно-металлогеническому, минералого-геохимическому, аппаратно-аналитическому и эколого-технологическому обоснованию создания в XXI в. надежной, качественной комплексной минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Приведены новые данные о перспективах платиноносности территории России, ее крупных регионов, геологических, рудных формаций и конкретных объектов. Показано, что при сохранении в первой четверти XXI в. высокой значимости главной действующей минерально-сырьевой базы МПГ – Норильских сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений, новыми высокорентабельными источниками поступления платиновых металлов в России могут стать руды других платинометальных (малосульфидной и техногенной) и платиносодержащих (глиноземных нефелин-уртитовых, золоторудных черносланцевых, железорудных титаноносных и медно-рудных) формаций. Обращено внимание, что в связи с широкой распространенностью нефелинсодержащие породы, черносланцевые комплексы и железистые кварциты станут в XXI в. новыми глобальными источниками благородных, в том числе и платиновых металлов. Безусловное значение будут иметь и охарактеризованные россыпные объекты. Обоснована направленная на расширение Норильской и Алданской, возрождение Уральской, создание Карело-Кольской, Курско-Воронежской, Южно-Сибирской и Корякско-Камчатской минерально-сырьевых баз платинодобычи стратегия научно-исследовательских и геологоразведочных работ на платину.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов в области геологии, аналитики, минералогии и геохимии, металлогении и экономики платиновых металлов.

Platinum of Russia. Problems of development of the platinum metals resource base in the XXI century (Platinum raw material in Russia in the XXI century)//Collection of transactions. – Vol. III. – Books 1 and 2. – Moscow: Geoinformmark Closed Joint-Stock Company, 1999. – 352 p.

The collection of transactions consisting of two books presents research results obtained by Russian scientists-co-executors of the program "Platinum of Russia" covering theoretical, methodological, hardware, analytical and environmental protection activities to aid the creation of a reliable, high-grade complex platinum metals resource base in the XXI century. The collection presents new data on prospects of platinum presence within the territory of Russia, its large regions, geological and ore formations and particular objects. The data show that in the first quarter of the XXI century with high importance of the main operating platinum metals resource base – Norilsk sulfide platinum-copper-nickel deposits being preserves, ores from other platinum metal (low-sulfide and technogenic) and platinum-containing (alumina nepheline-urtite, gold-ore black shale, iron-ore titanium-bearing and copper-ore) formations may become Russia's new highly profitable sources of platinum metals. It is noted that in the XXI century in connection with a wide distribution of nepheline-containing ores black-shale complexes and ferruginous quartzites will become new global sources of noble, including platinum, metals. The characterized placer deposits will be also of absolute importance. The concept of researches and geological prospecting operations for platinum aimed at expansion of Norilskaya and Aldanskay, restoration of Ural, creation of Karelo-Kola, Kursko-Voronezhskaya, S.Siberian and Koryakso-Kamchatskaya resources bases of platinum extraction is substantiated.

The book is intended for a wide circle of specialists in the field of geology, analytics and geochemistry, metallogeny and economics of platinum metals.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

***Главный редактор – акад. АЕН* В.П.Орлов**

Акад. РАН ***О.А.Богатиков,*** акад. РАН ***И.С.Грамберг,*** к.г.-м.н. ***Ю.М.Дауев,***
д.г.-м.н. ***Д.А.Додин*** **(зам. главного редактора, составитель сборника),**
д.г.-м.н. ***А.Ф.Коробейников,*** чл.-кор. РАН ***М.И.Кузьмин,*** к.г.-м.н. ***А.Н.Курский,***
к.г.-м.н. ***А.Н.Лабутин,*** акад. РАН ***А.А.Маракушев,*** д.г.-м.н. ***Н.В.Милетенко,***
к.г.-м.н. ***Г.Л.Митрофанов,*** чл.-кор. РАН ***Ф.П.Митрофанов,*** к.г.-м.н. ***С.С.Неручев,***
акад. АЕН ***Л.В.Оганесян*** **(зам. главного редактора, составитель сборника),**
чл.-кор. РАН ***Г.В.Поляков,*** акад. АЕН ***Л.В.Разин,***
чл.-кор. РАН ***Н.М.Чернышов*** **(зам. главного редактора),** д.г.-м.н. ***С.А.Щека,***
акад. РАН ***А.Д.Щеглов,*** к.г.-м.н. ***Б.А.Яцкевич*** **(зам. главного редактора)**

ISBN 5-900357-24-4

© ЗАО "Геоинформмарк", 1999

прожилково-вкрапленные золото-пирит-арсенопиритовые ассоциации имеют умеренные значения этого геохимического показателя (от 54 до 569) по сравнению с кварцево-золото-сульфидными типами (от 2 до 11600).

Выводы

1. Данный золоторудный объект следует рассматривать как комплексный золото-платиновый, что существенно повышает промышленное значение Нежданинского месторождения.

2. Платиноносность этого золоторудного месторождения обусловлена проявлением мантийно-корового диапиризма и сопровождающих гидротермальных потоков в условиях зародившейся рифтогенной структуры в верхнем палеозое-мезозое. Глубинный диапиризм обусловил становление гранитоидов повышенной основности и дайковых серий диорит-лампрофирового ряда, с которыми парагенетически связано комплексное золото-платиновое оруденение.

3. Комплексное благороднометальное оруденение Нежданинского типа сходно с оруденением Сухоложского и Бакырчикского типов и характеризуется такими показателями: рифтогенными региональными структурами рудоносных терригенных толщ углеродистого типа; дислоцированными флишоидными рудоносными образованиями, метаморфизованными в условиях дозеленосланцевой фации; приуроченностью толщ к горстовым антиклинальным структурам, осложненным пересекающимися системами разрывных нарушений; развитием гранитоидного магматизма повышенной основности с дайковыми сериями диорит-лампрофирового ряда с проявлением своеобразных кольцевых структур; длительностью развития и мобильностью рудоконтролирующих структур (горстов, впадин, разрывов, кольцевых структур); наличием в рудном поле проницаемых для глубинных флюидов разрывных структур; формированием зон гидротермального метасоматоза; наложением продуктивной золото-платино-сульфидной минерализации, наличием минералогических и геохимических ореолов.

УДК: 552.33:553.492:553.491:553.411.9

А.М.Сазонов, Г.И.Шведов, О.М.Гринев, А.М.Погодаев

ПЛАТИНОИДНО-ЗОЛОТОНОСНЫЕ НЕФЕЛИНОВЫЕ ФОЙДОЛИТЫ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ СОЗДАНИЯ НОВОГО ГЛОБАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ XXI в.

Введение

Организация концептуально нового производства благородных металлов на базе нефелиновых пород может внести существенное изменение в экономические отношения регионов в стране, а также в конъюнктуру России на мировом рынке драгоценных металлов и алюминия. Актуальность активизации научных и производственных работ, направленных на расширение и укрепление МСБ платиновых металлов России, определяется возрастающей потребностью в них промышленного производства. Ожидается, что потребность только в платине к 2035 г. возрастет в 2,5 раза [6]. В России главным производителем платины является Норильский горно-металлургический комбинат. Добыча и запасы МПГ из руд Норильских месторождений в настоящее время обеспечивают нужды России для отечественного потребления и экспорта.

Горно-добывающая и металлургическая отрасли промышленности России находятся в состоянии выживания, создания самостоятельного экономического статуса практически каждого конкретного предприятия в условиях партнерских неплатежей, неразвитой законодательной базы и конкурентной борьбы. Поэтому трудно ожидать в ближайшие 5-10 лет развития платинодобывающей

отрасли за счет ввода новых предприятий. Ситуация в отрасли осложнена отсутствием эффективных технологий обогащения руд. Минерально-сырьевая база платиновых металлов России обладает значительным потенциалом [8]. В последние годы суммированы сведения по проявлениям платиноидного оруденения на территории России, промышленным типам зарубежных месторождений, создан вариант формационно-генетической классификации месторождений МПГ, установлены закономерности размещения и формирования платиноносных объектов [6; 7; 22]. Это исследование способствует металлогеническим и прогнозным построениям и созданию рациональной системы поисковых и разведочных работ. Благодаря исследованиям ученых, объединенных национальной программой "Платина России" [7], платиноиды выявлены в месторождениях золота, железа, цветных металлов, каустобиолитов. Широко и успешно проводятся работы на платиноиды в пределах Кольского полуострова. Они привели к открытию Федорово-Панского, Падминского месторождений, оруденения в Мончегорском и Имандровском плутонах, а также в гранулитах Западно-Кольского рудного района [8]. Платиноиды фиксируются в щелочных породах, фосфоритах и карбонатитах [10; 14-17].

Стоит вопрос о необходимости попутного извлечения платиновых металлов на предприятиях черной и цветной металлургии. В настоящее время эти предприятия не ориентированы (морально и технологически) на попутное извлечение МПГ, этому способствует неучтенность запасов платиноидов в рудах. Несмотря на очевидность необходимости поиска решений комплексного использования руд, проблема рационального использования недр пока остается открытой.

В Кузнецком Алатау, Восточном и Западном Саянах платиноиды известны во многих россыпных месторождениях золота, но промышленная оценка платиноносности региона не проводилась. В ряде россыпей Коммунаровского рудного района нами установлены значительные потери тонких классов платиноидов при старательской золотодобыче [15]. Платиноносность коренных золоторудных месторождений практически не изучена, хотя единичные находки платиноидной минерализации в рудах отмечались в работах А.Н.Чуракова и Н.К.Высоцкого [2; 23].

В результате исследований последних лет нами установлена золото-платиноносность фельдшпатоидных пород северо-востока Кузнецкого Алатау [15-17]. Эти разработки, по нашему мнению, имеют важное значение для формирования направлений поисковых и разведочных работ в районах развития щелочного магматизма.

Значительный объем геологических исследований и успехи в изучении нефелиновых пород Кузнецкого Алатау связаны с проектированием и вводом в производственную деятельность сибирских алюминиевых заводов. В качестве сырья для глиноземного про-

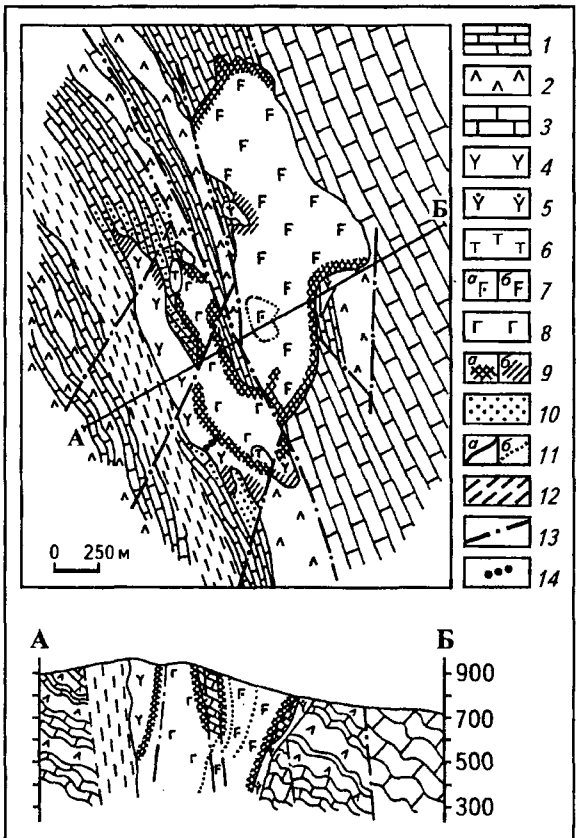


Рис.1. Схема геологического строения района Кия-Шалтырского массива (составил О.М.Гринев с использованием материалов ПГО "Запсибгеология")

Усть-кундатская свита: *1 – тонкослоистые известняки с прослоями кремнисто-глинистых пород; 2 – туффиты с редкими прослоями туфов среднего состава; 3 – массивные и широкослоистые известняки усинской свиты; 4 – уртиты, ийолиты; 5 – порфировидные ийолит-уртиты; 6 – тералиты; 7 – габбро: порфировидное трахитоидное лейкократовое (а), трахитоидное лейкократовое (б); 8 – мезократовое габбро; 9 – эндоконтактовые фации габброидов: неравномернозернистое меланократовое габбро, габбро-пироксениты (а), скарнированные уртиты (б); 10 - мраморизованные и скарнированные карбонатные породы; 11 - границы: самостоятельных геологических тел (а), фациальных переходов (б); 12 - зона рассланцевания пород; 13 - дизъюнктивы; 14 - профиль отбора крупнообъемных проб на минералогический анализ*

изводства используются уртиты Кия-Шалтырского массива, который является типичным представителем многочисленных интрузий щелочно-габброидной ассоциации (рис.1). Эффузивно-интрузивные проявления нефелиновых пород сосредоточены на территории Кемеровской области, Красноярского края и Республики Хакасия на площади около 7 тыс. км^2. Геология и петрология щелочного магматизма региона рассмотрена в монографиях и статьях [1; 3; 4; 8; 9; 20 и др.].

Геохимия платиноидов в главнейших разновидностях у пород щелочно-габброидной формации

Методы анализа. Учитывая сложный и неоднородный химический состав анализируемых проб и малые содержания определяемых элементов, за основу взяты комбинированные (пробирно-сорбционно-спектральный) методы анализов. Навеску пробы в 25-50 г. подвергали пробирному коллектированию в медный сплав, который растворяли в смеси соляной и азотной кислот (3:1). Концентрирование благородных металлов проводили из аликвотной части основного раствора на волокнистом сорбенте Полиоргс-У1 с добавлением спектрального угля. Сорбент озоляли и подвергали спектральному анализу с определением платины, палладия, родия и золота. Анализы выполнены на спектрографе СТЭ-1 с полуавтоматической приставкой АИ-3 методом "вдувание-просыпка". Пределы обнаружения составили (в мг/т): Pt – 1; Pd – 5; Rh – 0,4; Au – 0,4.

Иридий и рутений определены кинетическим методом из аликвотной части основного раствора. Определение иридия основано на его каталитическом действии в реакции окисления ртути (1) церием (4). Содержание рутения определялось на основе его каталитического действия в реакции окисления тропеолина ОО периодатом калия в солянокислой среде после разрушения нитрозохлоридного комплекса рутения (аликвотная часть основного раствора) прокаливанием с гидроксидом натрия. Определение иридия и рутения проведено на приборе Specol. Чувствительность метода для иридия составила 2,0 мг/т, а рутения – 0,4.

Серебро определялось атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией в графитовой трубчатой печи (спектрофотометр "Сатурн-2М") после концентрирования его из аликвотной части основного раствора с осаждением на свежевосстановленном селене. Предел обнаружения серебра 10 мг/т.

Анализы выполнены в лаборатории красноярского института "СибцветметНИИпроект" (Аналитик Л.Е.Дрозд). Сходимость аналитических данных устанавливалась по трем параллельным определениям. Контроль точности результатов анализа проводился по стандартным образцам сплава меди с благородными металлами № 93О-76, 933-76, 935-76 и методом добавок.

Распределение благородных элементов в породах. В 67 пробах из главнейших разновидностей пород щелочно-габброидной формации определены содержания благородных металлов. Аналитическим исследованиям подвергнуты геохимические пробы пород семи массивов (Кия-Шалтырский – КШ, Белогорский – Б, Горячегорский – Г, Подтайгинский – П, Урюпинский – У, Андрюшкиной речки – Ар, Учкурюпский – Уч), характеризующих региональную кольцевую вулканоплутоническую структуру в радиальном направлении от центра до северо-восточного контура. Анализами обеспечены все дифференциаты многофазового магматизма. Значимые концентрации золота, серебра и МПГ обнаружены в 40 % проб (табл. 1). Распределение благородных элементов в породах подчиняется закономерностям, отраженным на рис. 2. Первые фазы магматизма, характеризующиеся внедрением субщелочных габбро и тералитов, явились концентраторами серебра и не аккумулировали платину, родий, иридий, рутений и золото. Содержание серебра в частных анализах габбро и тералитов превышает кларк в 2-10 раз, а палладия – до 6. В лейкократовых нефелиновых породах частота встречаемости серебра снижается до 70 %, возрастает дисперсия концентраций. Наиболее высокое содержание серебра зафиксировано в уртите Кия-Шалтырского массива (1,16 г/т). Накопление золота и МПГ фиксируется в заключительных фазах щелочно-габброидного магматизма. Наиболее высокие концентрации золота отмечаются в полевошпатовых уртитах и нефелиновых сиенитах Горячегорского плутона, где его содержание превышает кларк пород земной коры в 80 раз. В то же время в габбро, тералитах, ийолитах концентрации элемента редко достигают кларковых значений.

Платинометальная обогащенность характерна для уртитов, полевошпатовых уртитов и нефелиновых сиенитов. Особенностью района является Pt-Pd-Rh-специализация. Содержание наиболее тугоплавких платиноидов (рутения и иридия) едва достигает кларковых значений. Причем частота встречаемости иридия выше в габбро и тералитах, а рутения – в нефелиновых сиенитах. Максимальное содержание платиноидов зафиксировано в полевошпатовых уртитах (2,9 г/т), нефелиновых сиенитах (1,8 г/т) и берешитах (0,5 г/т). Основная доля концентраций платиноидов приходится на палладий (1,97; 1,22; 0,82; 0,36 г/т) Наиболее высокое содержание платины отмечается в полевошпатовых уртитах (0,55 г/т) и нефелиновых сиенитах (0,18 г/т). Особенностью геохимии платиноидов в породах формации является примерно равное соотношение концентраций платины и родия. Максимальное содержание родия (0,4 г/т) установлено в полевошпатовых уртитах и нефелиновых сиенитах. Поэлементное фракционирование Pt, Pd, и Rh в дифференциатах щелочно-габброидной формации выражается в общей палладиевой специализации магматитов, иногда фиксируется преобладающая концентрация платины и родия, отмечающаяся в полевошпатовых уртитах, плагиоклазовых ийолитах и собственно уртитах. Причем

Таблица 1

Содержание благородных элементов в породах щелочно-габброидной формации (в мг/т)

№ п/п	Порода	Номер пробы, массив	Pt	Pd	Rh	Ir	Ru	Au	Ag
1	Мезократовое габбро	85277 (КШ)	–	34	–	–	–	–	560
2	-"-	85278 (КШ)	–	330	–	–	–	–	530
3	-"-	85279 (КШ)	–	300	–	–	1,2	8,6	550
4	Мезократовый тералит	85241 (КШ)	–	–	–	3,0	–	–	200
5	-"-	85242 (КШ)	–	–		–	–	–	180
6	-"-	85243 (КШ)	–	–	–	–	–	–	530
7	Лейкократовый тералит	85229 (Б)	–	229	–	–	–	–	790
8	Мезократовый тералит	85236 (Б)	–	254	–	–	–	–	800
9	-"-	85237 (Б)	–	224	–	3,0	–	3,7	740
10	-"-	85237 (Б)	–	56	–	–	–	–	540
11	Уртит	85118 (КШ)	32	44	49,2	–	–	24,0	1160
12	Порфировидный уртит	8451 (Б)	–	48	–	–	–	7,5	–
13	-"-	8453 (П)	22	–	48,8	–	–	15,8	60
14	Плагиоклазовый ийолит	8596 (Б)	–	–		–	–	5,5	320
15	-"-	85105 (Б)	–	–	38,5	–	–	10,7	320
16	-"-	8444 (Г)	25	242	13,2	–	–	66,0	700
17	Полевошпатовый уртит	8585 (Б)	25	71	–	–	–	1,8	20
18	-"-	8585 (Б)	63	198	–	–	1,2	66,0	60
19	-"-	85116 (Г)	70	38	2,6	–	–	51,8	160
20	-"-	8571 (Г)	550	1976	398	–	–	121,8	80
21	Нефелиновый сиенит	8561 (КШ)	–	825	–	–	–	40,0	–
22	Меланократовый нефелиновый сиенит	85236 (Б)	–	247	–	–	2,0	56,0	60
23	Нефелиновый сиенит	8416 (Г)	–	151	22,1	–	0,9	83,4	40
24	-"-	8419 (Г)	–	528	38,5	–	–	338,0	–
25	-"-	8420 (Г)	25	198	14,0	–	0,9	338,0	–
26	-"-	8514 (У)	179	1217	398	–	3,5	140,0	360
27	Порфировидный нефелиновый сиенит	8468 (У)	15	247	35,5	3,0	–	338,0	180
28	Берешит	866 (Ар)	122	356	73,7	–	1,6	83,4	140
29	Нефелиновый сиенит-порфир	8470 (У)	–	360	34,8	–	1,6	338,0	180

Примечание. Прочерк означает концентрацию элемента ниже чувствительности анализа.

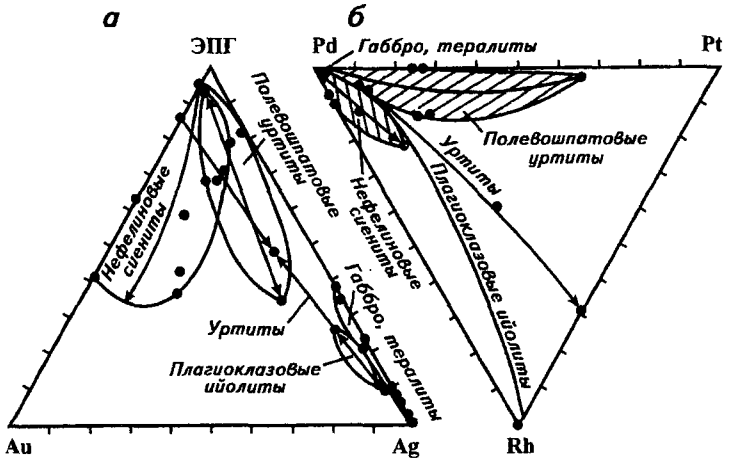


Рис.2. Распределение благородных элементов в породах щелочно-габброидной формации северо-восточной части Кузнецкого Алатау
а – фракционирование платиноидов, золота и серебра; б – распределение платиноидов. Стрелками показаны тренды концентрации элементов в направлении от центра к периферии кольцевой структуры

в уртитах, плагиоклазовых ийолитах и нефелиновых сиенитах типично накопление палладия и родия, а в полевошпатовых уртитах обособляется палладий-платиновая ассоциация. Аномальные содержания платиноидов наиболее типичны для массивов северо-восточного обрамления кольцевой структуры с одноактным и дифференцированным магматизмом основного фойдолитового состава (интрузии плагиоклазовых ийолитов, полевошпатовых уртитов, нефелиновых сиенитов).

Минералогия рудного комплекса

Способы обработки проб и анализа. Установленный уровень концентраций золота и платиноидов в некоторых породах позволяет предполагать наличие в них минералов-концентраторов благородных элементов. Для изучения минералогии предполагаемого золото-платинометального парагенезиса нами отобраны крупнообъемные пробы (8-20 кг) из Кия-Шалтырского массива (габбро-пироксенит, мельтейгит, ийолит, графитизированный мельтейгит, скарн, уртит), Горячегорской интрузии (плагиоклазовый ийолит, полевошпатовый уртит, нефелиновый сиенит), Кургусюльского массива (ювиты) и берешита из проявления Андрюшкиной речки. Пробы отбирались из разведочных и эксплуатационных карьеров. Породы проб Кия-Шалтырского массива содержат сульфиды от 5 до 10 %, в остальных пробах сульфиды макроскопически отмечаются в единичных зернах. Насыщенность сульфидами пород Кия-Шалтырского массива объясняется тем, что в процессе отработки уртитов вскрыты глубокие (150-200 м от поверхности) горизонты массива, где сульфиды не затронуты процессами выветривания. В других массивах породы отобраны в карьерах-выемках глубиной 10-15 м, где проявлено гипергенное выщелачивание сульфидов.

Для обогащения проб рудными минералами использовались лабораторные обогатительные установки (концентрационный стол СКО-15 ПМ и центробежный концентратор Кнельсона с диаметром рабочего конуса 3 дюйма).

Крупность материала, направляемого на обработку, соответствовала классу – 0,63+0,0 мм. Схема подготовки проб представлена на рис. 3. Первоначально пробы обрабатывались на концентрационном столе, а затем подвергались обогащению на концентраторе Кнельсона. В некоторых случаях обработке на концентраторе предшествовала перечистная операция на концентрационном столе. Схемы обогащения каждой из проб составлялись по визуальной оценке процесса и представлены на рис. 4. Тяжелая фракция, полученная на концентрационном столе и концентраторе Кнельсона, сушилась, взвешивалась, перемешивалась методом перекатывания, и затем квадратированием проводился

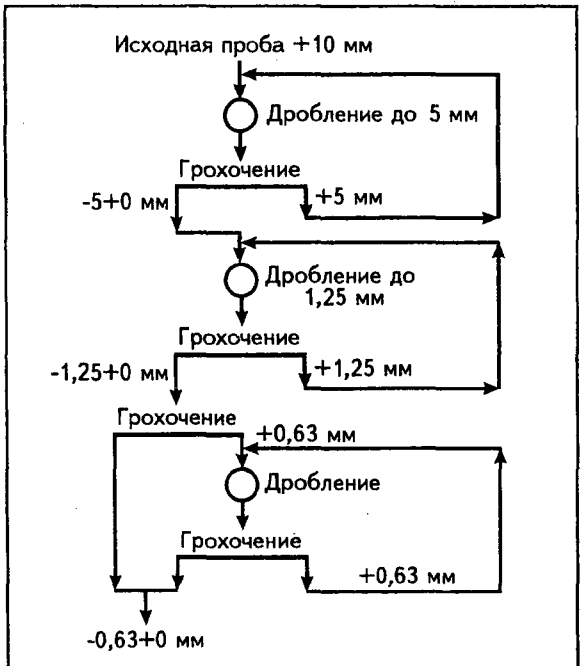


Рис.3. Схема подготовки проб к исследованию

отбор проб на минералогическое исследование, пробирный и другие анализы.

Содержание золота и МПГ определялось пробирным анализом на заводе цветных металлов (г. Красноярск). Чувствительность анализа в разное время составляла 0,5-1,0 г/т. Причем лабораторная ошибка анализа для концентраций 1,0-10,0 г/т составляет около 90 %. Некоторые пробы анализировались атомно-абсорбционным и нейтронно-активационным методами в лабораториях Красноярской государственной академии цветных металлов и золота (Au, Ag, Pd – аналитик Н.Л.Медведева), Томского политехнического университета (элементы-примеси, Au – аналитик Е.Н.Вертман), Новосибирского института геологии и геофизики (Pt, Pd, Rh, Au – аналитик В.Г.Цимбалист). Несмотря на наибольшую ошибку анализа, свойственную лаборатории завода цветных металлов (по стандартам лабораторной службы) для концентраций благородных металлов, эти результаты являются наиболее достоверными для Au, Pt, Pd и Rh. В тексте и таблицах мы используем значения содержаний, для которых результаты контрольных определений и расчетные цифры (по уравнению баланса металлов) не отличались больше чем на 25 %.

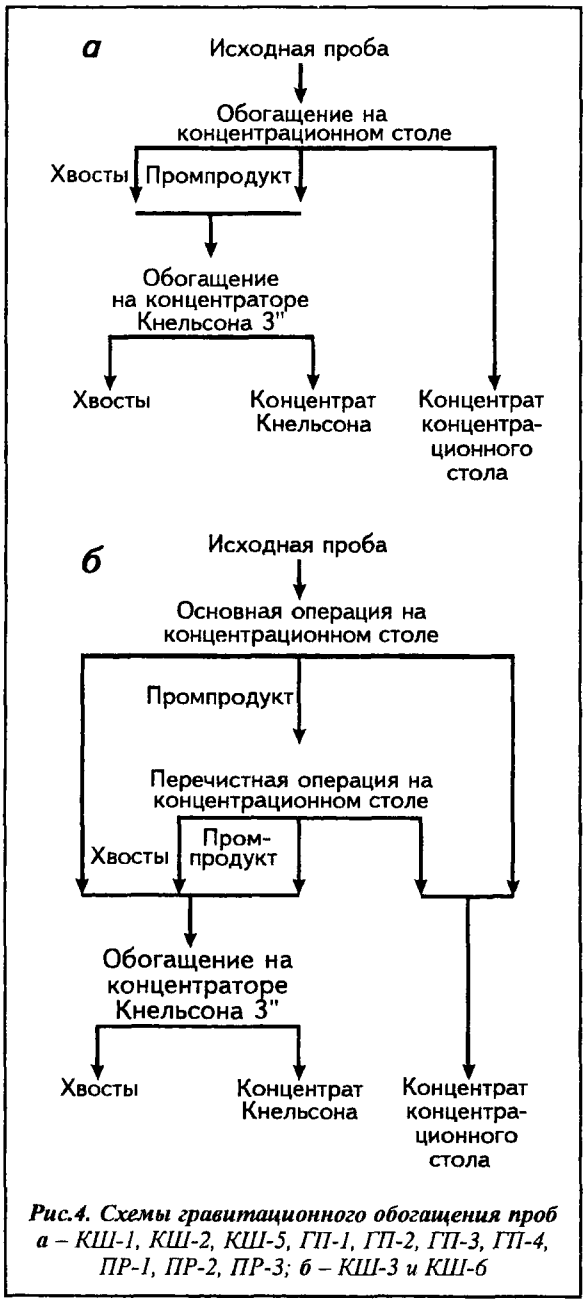


***Рис.4. Схемы гравитационного обогащения проб** а – КШ-1, КШ-2, КШ-5, ГП-1, ГП-2, ГП-3, ГП-4, ПР-1, ПР-2, ПР-3; б – КШ-3 и КШ-6*

Наибольший выход гравитационного концентрата (от 4 до 21,5 %) получен на концентрационном столе. Содержание золота в нем изменяется от 0,3 до 4,2 г/т . Платиноиды установлены в концентрате стола в пробах мельтейгита, графитизированного мельтейгита, уртита и плагиоклазового ийолита. В концентрат Кнельсона благородные металлы доизвлечены из хвостов стола. При незначительном выходе концентрата (0,5-1,1 %) содержание благородных металлов выше, чем в концентратах стола. Содержание золота колеблется от 1 до 18 г/т. В концентрате Кнельсона зафиксировано наиболее высокое содержание платины (7,3 г/т, проба КШ-6 – графитизированный мельтейгит).

Оценка гравиоконцентрата (суммарный концентрат стола и Кнельсона) по распределению благородных металлов свидетельствует о перспективности исследований по извлечению золота, серебра и платиноидов из нефелиновых пород в процессе глиноземного производства. Благороднометальная рудоносность связана с сульфидной минерализацией и графитизированными породами. В изучаемых породах отмечаются повышенные концентрации Co, Cr, As и Sb, которые являются минералообразующими элементами сульфидов, арсенидов, антимонидов. Сравнительный анализ содержаний микроэлементов в промпродуктах обогащения свидетельствует о низкой степени концентрирования в процессе гравитационного обогащения. В хвостах гравитационного обогащения содержание сульфидов колеблется от 1 до 2 %. Флотация нескольких проб хвостов гравитации подтверждает потери благородных металлов при гравитационном обогащении.

Для минералогических исследований использовались аншлифы и гравиоконцентраты, полученные на концентрационном столе и сепараторе Кнельсона. Определение состава минералов выполнено в лаборатории

микрозондового анализа ОИГГиМ СО РАН (в исследованиях принимали участие сотрудники ОИГГиМ Л.Н.Поспелова, Л.В.Агафонов, Н.Д.Толстых под общим руководством Ю.Г.Лаврентьева).

Примесь рудных минералов в изученных породах составляет 4-5 %. Типоморфными акцессорными минералами являются титаномагнетит, магнетит, ильменит и гематит. Кроме них установлены сульфиды Fe, Ni, Co, Cu, Ag, арсениды и диарсениды Fe, Co, Ni, Pt, антимониды и сульфоантимониды Ni, самородные металлы и их природные сплавы.

Минералогический интерес представляют находки металлического кремния, сплавов Au_2Al, $AuAl_2$, AuSn. Комплекс надежно определенных минералов приведен в табл. 2.

Сперрилит – пока единственный обнаруженный минерал платины. Он встречен в пробах КШ-2 (скарн) и КШ-6 (графитизированный мельтейгит). В пробе КШ-2 платиноиды не обнаружены пробирным анализом. Кроме сперрилита в скарне отмечается большое количество частиц самородного золота, серебра, электрума, кюстелита, амальгамы золота, что не соответствует результату пробирного анализа. Судя по концентрациям платины в других разновидностях пород, присутствие сперрилита не исключено и в других пробах. Минерал встречен в виде мелких зерен (0,005-0,035 мм) идиоморфной изометричной формы в срастании с пирротином, диарсенидами и сульфоарсенидами Co, Ni и Fe. Микрозондовые определения состава выявленных частиц минерала приведены в

Таблица 2

Рудные минералы фойдолитов северо-востока Кузнецкого Алатау

Минерал	Теоретическая формула	Размеры, мм	Месторождение
Минералы благородных металлов, самородные элементы			
Самородное Au	Au	0,001-0,5	КШ, Г, К, Ар
Самородное Ag	Ag	0,001-0,04	КШ, Г, К, Ар
Электрум	AuAg	0,001-0,3	КШ, Г, К, Ар
Кюстелит	Ag_4Au	0,001-0,08	КШ, Г, К, Ар
Амальгама Au и Ag	$(AuAg)_2Hg_3$	0,001-0,03	КШ
Амальгама Au	$Au_5Ag_{10}Hg$	0,02	Г
Тетраурикуприд	AuCu	0,001-0,05	КШ, Г
Сплав Au и Al	Au_2Al	0,04×0,09	Г
-"- Au и Al	$AuAl_2$	0,02×0,03	Г
-"- Au и Sn	AuSn	0,03×0,04	Ар
Акантит	Ag_2S	0,03-0,07	КШ, Г, Ар
Агвиларит	Ag_4SeS	0,05-0,07	Г
Айтенбогарид	Ag_3AuS_2	0,02-0,05	Г
Гессит	Ag_2Te	0,02-0,08	КШ, К
Полибазит	$(Ag, Cu)_{16}Sb_2S_{11}$	0,02-0,08	Г
Пирсеит	$(Ag, Cu)_{16}As_2S_{11}$	0,02-0,08	Г, Ар
Смитит	$AgAsS_2$	0,008-0,07	КШ
Сперрилит	$PtAs_2$	0,005-0,03	КШ
Сплав Cu и Zn	Cu_2Zn	0,05-0,2	КШ, Г
-"- Cu и Sn	Cu_3Sn	0,05-0,07	Г, К
-"- Pb, Sn, Cu	$PbSn_{16}Cu_2$	0,03-0,04	Г, К, Ар
-"- Pb, Sb, Sn	Pb_9SnSb_3	0,01-0,02	К, Ар
-"- Pb, Sn, Sb	$PbSn_3Sb_6$	0,05-0,06	К
Самородная Cu	Cu	0,1-0,15	Г, КШ
Самородный Bi	Bi	0,04-0,06	Г, К
Самородный Si	Si	0,15×0,037	Г
Самородный Pb	Pb	0,01-0,03	Г, Ар, К
Самородное Sn	Sn	0,02-0,03	Г, Ар, К
В виде примеси Pt, Pd и Rh установлены в галените, теннантите, кюстелите и самородной меди			

Минерал	Теоретическая формула	Размеры, мм	Месторождение
Сульфиды, антимониты, арсениды			
Пирротин	$Fe_{1-x}S$	0,05-20,0	КШ, Г, К, Ар
Пирит	FeS_2	0,1-5,0	КШ, Г, К, Ар
Марказит	FeS_2	0,1-0,2	КШ
Мельниковит	FeS_2	0,5-1,0	КШ
Маккинавит	Fe_9S_8	До 0,5	КШ
Пентландит	$(Fe, Ni)_9S_8$	0,03-0,2	КШ, Ар
Халькопирит	$CuFeS_2$	0,1-3,0	КШ, Г, К
Борнит	Cu_5FeS_4	0,04-0,05	Г
Сфалерит	SnS	0,01-0,1	КШ, Г
Галенит	PbS	0,01-0,25	КШ, Г, К, Ар
Арсенопирит	FeAsS	0,05-0,2	КШ, Г, К, Ар
Кобальтин	CoAsS	0,01-3,0	КШ
Герсдорфит	NiAsS	0,05-0,1	КШ
Теннантит	$Cu_{12}As_4S_{13}$	0,08-0,1	КШ
Саффлорит	$CoAs_2$	0,03-0,06	КШ
Леллингит	$FeAs_2$	0,05-0,06	КШ, Г
Никелин	$NiAs_2$	0,01-0,2	КШ
Брейтгауптит	NiSb	До 0,08	КШ
Ульманит	NiSbS	До 0,03	КШ
Джемсонит	$Pb_4FeSb_6S_{14}$	0,005	Ар
Ковеллин	CuS	0,03	Г
Куприт	Cu_2O	0,05	Г
Титаномагнетит	Fe_2TiO_4	5-8	КШ, Г,К
Магнетит	$FeFe_2O_4$	0,01-1,0	КШ, Г, К
Ильменит	$FeTiO_3$	0,5-2,0	КШ, Г, К
Гематит	Fe_2O_3	0,1-0,15	КШ, Г
Касситерит	SnO_2	0,02-0,05	КШ, Г, Ар
Бадделеит	ZrO_2	До 0,5	Г
Торианит	TrO2	До 0,1	Г, К, Ар
Барит	BaSO4	До 0,5	Г
Вольфрамит	$(Fe, Mn)WO_4$	До 0,3	КШ

табл. 3. Сперрилит Кия-Шалтырского месторождения заметно обогащен сурьмой (0,759-1,27% мас.),что не характерно для этого минерала, отличающегося обычно постоянством и стехиометричностью состава [24]. Это указывает на участие As и Sb в транспортировке благородных металлов.

На рис. 5 приведен энергодисперсионный спектр сперрилита из пробы КШ-6.

Металлический кремний обнаружен в ийолитах Горячегорского массива в виде единственного зерна в срастании с золото-алюминиевым сплавом состава Au_2Al. Результаты анализов (табл. 4) показывают, что из числа анализируемых элементов в составе кремния присутствует примесь железа (не более 0,12 % мас.). Золото и алюминий, вероятно, захвачены из соседнего зерна Au_2Al. Необходимо отметить высокую чистоту природного кремния.

Находка металлического кремния, по-видимому, является первой в России. Согласно М.Н.Новгородовой [13] самородный кремний диагностирован лишь в двух пунктах земного шара.

Таблица 3

Состав сперрилита из скарна Кия-Шалтырского месторождения

Содержание элементов, % мас.							
Pt	Ni	Fe	As	S	Rh	Pd	Sb
53.80	0,335	0,477	41,42	0,025	0,066	0,0	1,27
53,91	0,261	0,433	41,11	0,025	0,065	0,0	1,24
53,35	0,286	0,434	41,84	0,0	–	–	0,999
53,02	0,318	0,538	41,90	0,0	–	–	0,759
54,95	0,320	0,506	42,37	0,0	–	–	0,886
54,62	0,268	0,483	42,0	0,0	–	–	0,977

Примечание. Знак "–" – определение элемента не проводилось, 0,0 – содержание элемента ниже чувствительности прибора.

Таблица 4

Результаты анализов металлического кремния

Соединение элементов, % мас.							Сумма
Fe	Cu	Zn	Al	Si	Au	Ag	
0,10	–	–	0,03	98,89	–	–	99,02
0,11	–	–	0,04	97,71	–	–	97,85
0,08	–	–	0,09	98,14	0,50	–	98,81
0,12	–	–	0,15	95,81	1,81	–	97,89
0,09	–	–	0,04	98,77	–	–	98,90

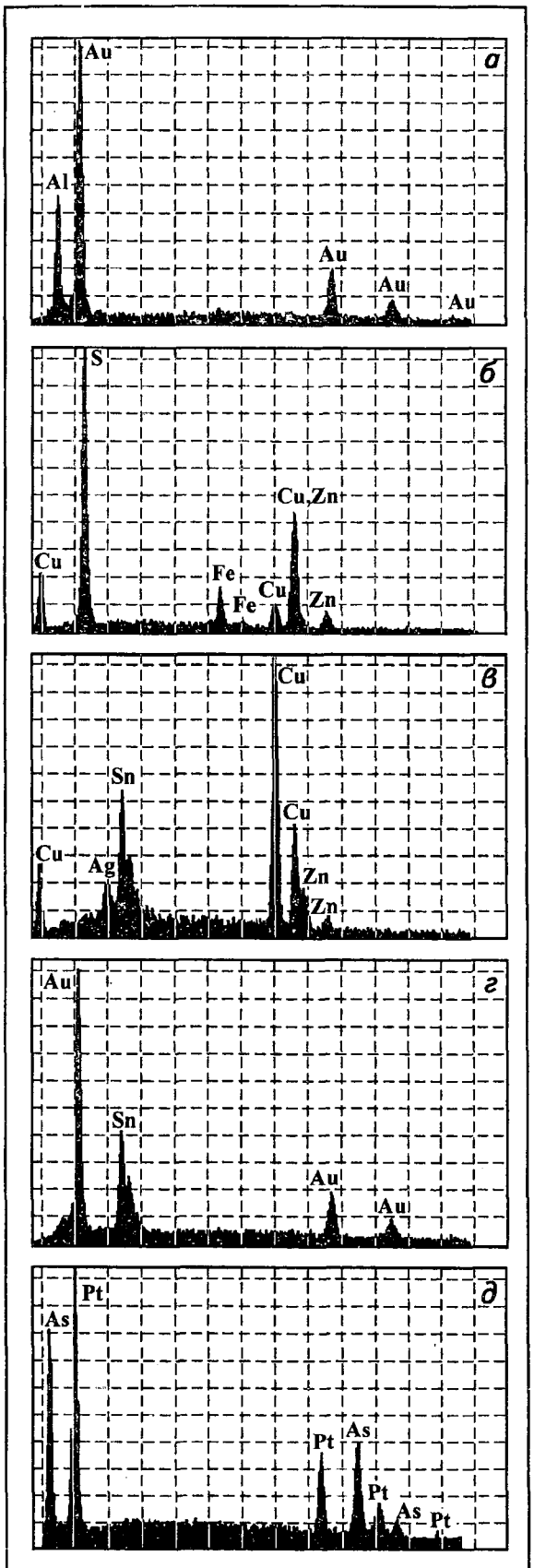


***Рис.5. Энергодисперсионные спектры минералов** а – сплава Au_2Al; б – халькопирита; в – серебристой латуни; г – сплава AuSn; д – сперрилита*

Экспериментальные исследования гравиоконцентрата на Ачинском глиноземном комбинате

Содержание благородных металлов в руде и промпродуктах АГК. На комбинате отобрано четыре пробы (кусковая руда из приемного бункера, пыль циклонов, пыль электрофильтров и белитовый шлам) для получения гравиоконцентрата и дальнейшего его анализа на благородные металлы. Исходная руда (уртит) дробилась и измельчалась до – 0,63+0 мм, остальные продукты обрабатывались без измельчения. Анализы на благородные элементы выполнены в лаборатории завода цветных металлов (г.Красноярск). Золото и серебро в процессе глиноземного производства "рассеиваются". В пылях электрофильтров, циклонов и белитовых шламах их количество уменьшается на порядок. Концентрации платиноидов остаются на одном уровне. Как показывают результаты обогащения (выход концентрата и извлечение), гравитационный способ получения концентратов на сепараторе Кнельсона малоэффективен.

В связи с отрицательными результатами гравитационного обогащения выполнено несколько опытов адгезионного способа флотирования нефелиновой пульпы Ачинского глиноземного комбината. Продолжительность флотации изменялась от 10 до 60 мин. Полученный флотационный концентрат высушивался и анализировался пробирно-весовым и рентгеноспектральным методами на установке VRA-2 (КГАЦМиЗ, аналитик В.Стрижев). Во всех полученных продуктах независимо от условий проведения опытов присутствуют благородные металлы. Содержание благородных металлов в руде 2,8-3,1 г/т. Элементный состав полученного концентрата по данным рентгеноспектрального анализа: Al – 20-25; Si – 20-25; Fe – 10-20; S – 6-8; As – 0,1-0,2; Pb – 0,2-0,3 %; Ag – 180-190; Au – 34-36; Pt – 12-40; Pd, Rh, Ru – 0,5 г/т. Эти данные свидетельствуют о перспективности флотационных способов обогащения при извлечении драгоценных металлов из нефелиновых руд.

Концентрирование драгоценных металлов в анодном сплаве при электролитическом рафинировании алюминия. Исходной посылкой исследовательских работ на Красноярском алюминиевом заводе (КРАЗ) послужили результаты экспериментов на Ачинском глиноземном комбинате (АГК), которые свидетельствуют о рассеянии благородных металлов в промпродуктах глиноземного производства. Технология производства глинозема из нефелина предусматривает спекание уртита с известняком при температуре 1270 °С. При выщелачивании спека в алюминатном растворе образуются растворимые в щелочных средах химические соединения драгоценных металлов: $Na[Ag(OH)_2]$, $Na[Au(OH)_2]$, $Rh(OH)_3$, $Pd(OH)_4$ и т.д.

В процессе карбонизации алюминатного раствора часть драгоценных металлов выпадает в осадок вместе с гидроксидом алюминия. При прокалке гидроксида алюминия драгоценные металлы частично концентрируются в глиноземе и рассеиваются в промпродуктах предприятия (сода, поташ, белитовый шлам). В процессе электролитического получения алюминия из глинозема благородные металлы полностью переходят в алюминий. При электролитическом рафинировании первичного алюминия драгоценные металлы накапливаются в анодном сплаве подобно галлию, кремнию и железу.

Содержание драгоценных металлов в пробах анодного сплава, медистых осадков и фильтроостатков корпуса АВЧ ОАО КРАЗ приведены в табл. 5. Значения концентраций металлов, полученных атомно-абсорбционным, масспектрометрическим и пробирным методами являются обобщенными. Степень концентрации драгоценных металлов в отходных продуктах процесса рафинирования алюминия представляет интерес для разработки технологий их извлечения, что значительно повысит рентабельность металлургического процесса.

Таблица 5

Концентрации драгоценных металлов в отходах металлургического производства алюминия

Материал	Содержание, г/т					Сумма
	Ag	Au	Pd	Rh	Ru	
Анодный сплав	43	4	11	19	1,4	78,4
Медистые осадки	8	3	13	20	–	44
Фильтроостатки	9,7	3	18	19	–	49,7

Обсуждение результатов и выводы

Выявленная благороднометальная минерализация в фойдолитах Кузнецкого Алатау представляет интерес в определении ее промышленной ценности и изучении генетического родства золото-платиноидных проявлений и щелочного магматизма. Повышенные концентрации благородных элементов и минеральное их выражение в породах щелочно-габброидной формации не являются уникальным явлением, если полагать мантийную природу исходных расплавов. Предполагаемое соответствие состава хондритов веществу мантии позволяет оценить возможный уровень концентраций благородных элементов в мантийном расплаве, превышающий кларк в земной коре в 50-500 раз.

Значительную роль в концентрировании, фракционировании и переносе благородных элементов из источника магмогенерации в область становления магматических тел играют флюидные растворы, насыщающие магму. В петрологии установилось мнение о высокой насыщенности щелочных магм флюидной фазой и рудными элементами. Повышенный фон рудных элементов в щелочных магмах может инициировать рассеянную минерализацию, которую мы выявили прецизионными методами исследований, и не продуцировать промышленных скоплений. Ювенильный, существенно восстановленный характер флюидов (табл. 6), накапливающихся в заключительных фазах магматитов, содержащих повышенные концентрации благородных металлов, может свидетельствовать о мантийном их источнике.

Таблица 6

Газовый состав законсервированных флюидов в породах щелочно-габброидной формации (в $см^3$/кг)

Порода	H_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	CO	CO_2	Сумма газов
Мезократовое габбро	2,58	–	–	–	–	0,06	2,64
Тералит	0,56	0,07	–	–	0,41	–	1,04
Уртит	0,69	62,94	0,4	0,01	0,29	0,08	64,05
Плагиоклазовый ийолит	2,28	0,016	–	–	2,02	0,04	4,356
Полевошпатовый уртит	3,04	–	–	–	1,52	0,07	4,63
Нефелиновый сиенит	0,52	2,26	0,01	–	0,24	0,13	3,16

В то же время исследование изотопного состава O, Sr пород и минералов (Покровский и др., 1991) свидетельствует о значительной гетерогенности изотопов, проявившейся в вариациях в $\delta^{18}O$ от 7,5 до 11,8 и $(^{87}Sr/^{86}Sr)_4$ – от 0,7025 до 0,7065. В связи с этим авторы предполагают два источника вещества, участвовавших в образовании пород формации. Один из них соответствует деплетированной мантии ($^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0,702-0,703; $\delta^{18}O$=8±0,5), а другой близок к вмещающим осадочным карбонатам ($^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0,708; $\delta^{18}O$=20±5). Авторы изотопных исследований предполагают поглощение внедряющейся магмой коровых рассолов, обогащенных сульфатами, щелочами и алюминием.

Ассимиляция мантийной магмой солей либо рассолов, по нашему мнению, может только увеличить потенциальную рудоносность щелочных магм. В последнее время установлены повышенные концентрации благородных металлов в сильвинитах Верхнекамского месторождения [18-19]. Исходя из изложенных фактов и их генетической интерпретации следует, что основополагающим источником золота и платиноидов является мантия, несмотря на различные формы их аккумуляции в процессе эндогенной и экзогенной генерации и трансформации рудосодержащего вещества.

В России нефелиновые породы (уртиты) используют для получения глинозема. Наиболее крупным производителем глинозема из уртитов является Ачинский глиноземный комбинат. Его продукция поступает на алюминиевые заводы Красноярского края. В процессе глиноземного производства попутно получают поташ, цемент и галлий. Кроме этого, возможно извлечение редких и рассеянных элементов.

В сырье глиноземного производства нами установлены золото-серебряные природные сплавы, образующие практически непрерывный ряд от собственно серебра (Ag = 96 %) до высокопробного золота (Au = 95 %). Единственный обнаруженный платинометальный минерал представлен сперрилитом ($PtAs_2$). В виде незначительной примеси платина отмечается в галените (Pt – до 0,23 %) и теннантите (Pt – до 0,34 %). В подавляющем большинстве серомышьяковых минералов выявлены неоднородные концентрации золота, серебра и платиноидов, что, вероятно, обусловлено наличием в них мельчайших ча-

стиц (<1 мкм) минералов благородных металлов. Характер распределения благородных металлов в сульфидах свидетельствует об ограниченном количестве их в виде изоморфных примесей.

Минералы благородных элементов ассоциируют с выделениями пирротина, халькопирита и пентландита. Эти сульфиды образуют макроскопически определяемые зерна (до 0,5 см и редко более крупные). Под микроскопом совместно с ними выявлен обширный комплекс сульфоарсенидов, арсенидов и диарсенидов железа, кобальта и никеля. Присутствуют антимониды (брейтгауптит, ульманит и джемсонит). В одной из проб (графитизированном мельтейгите), отобранной в Кия-Шалтырском карьере, содержание сульфидов незначительное (<2 %), но при этом фиксируется повышенное содержание благородных металлов. Это свидетельствует о том, что минералогически благородные металлы связаны с сульфидами и графитизированными породами, которые могут быть разобщены в пространстве. При оценке рудоносности нефелиновых пород необходимо учитывать эти два минералогических признака аккумуляции благородных металлов. Подавляющая часть минералов благородных металлов имеет субмикроскопические размеры (1-50 мкм). Около 5 % частиц этих минералов имеют размеры 0,01-0,1 мм. Они включены в более крупные выделения сульфидов, арсенидов, диарсенидов и сульфоарсенидов. В свою очередь минералы серы и мышьяка на 20-30 % являются включениями в породообразующих нефелине и пироксене. Эти особенности проявления благороднометальных минералов отрицательно влияют на процессы обогащения традиционными способами (гравитация, флотация).

Единичными анализами нами обнаружены повышенные концентрации палладия (1,8-0,7 г/т) в нефелиновых сиенитах и карбонатитах Гулинской интрузии на севере Сибирской платформы. В этом районе необходима постановка опробовательских работ на благородные металлы разведанных апатит-магнетитовых руд, нефелиновых пород и карбонатитов на участках массивов Гули, Маган, Ыраас, Одихинча, Бор-Урях, Ессей и другие. В аллювиальных отложениях рек, дренирующих Гулинскую интрузию, нами выявлено 15 благороднометальных минералов. Коренных проявлений золота и металлов платиновой группы в районе не обнаружено. Геохимическое опробование главных разновидностей пород ультраосновного, основного и щелочного составов свидетельствует о возможной связи оруденения с интрузиями мелилитовых, нефелиновых пород и карбонатитов. Причем наиболее богатые россыпи золота и платиноидов по р.Гулэ зафиксированы в участках пересечения тел карбонатитов.

Переработка нефелиновых руд предполагает совместное с глиноземом производство содопродуктов и цемента, что требует бесперебойного регионального спроса на попутное сырье. В связи с изменением экономических отношений в России производство глинозема из нефелиновых руд является убыточным. В то же время дефицит отечественного глинозема на ближайшие годы для алюминиевой промышленности России составляет 55-60 %. В качестве одного из вариантов уменьшения дефицита глинозема для алюминиевых заводов России предусматривается долевое строительство новых глиноземных заводов в Гвинее и Греции. Попутное извлечение благородных металлов при производстве глинозема безусловно повысит рентабельность Ачинского комбината и экономическую ценность нефелиновых руд в целом. По нашим рекогносцировочным данным, при работе на полную мощность АГК может извлекать до 10 т Au, Ag, Pt, Pd и Rh в год.

Помимо изучения золото- и платиноносности нефелиновых пород Кузнецкого Алатау необходимо провести аналитическое обследование на драгоценные металлы нефелиновых пород других регионов ниже зоны начального гипергенеза (десульфидизации). ***По нашему мнению, щелочные породы являются новым глобальным источником золота и платиноидов.*** Запасы нефелиновых руд наиболее крупных месторождений в Мурманской области (3509,7 млн т), Кемеровской области (161,9), Красноярском крае (445,9), Тыве (850,0), Бурятии (860,0) составляют значительную резервную базу глиноземного и благороднометального производства. Если будут решены технологические вопросы по экономически выгодному способу извлечения благородных металлов из нефелинового сырья в процессе глиноземного производства, то можно уверенно прогнозировать новый промышленный тип благородных металлов и экономическую стабилизацию в глиноземной и алюминевой отрасли промышленности Средне-Сибирского и других регионов России [1-2; 4-11; 15-17; 21-22].

Авторы выражают признательность Е.В.Малкову, С.И.Леонтьеву, С.М.Потылицину, С.В.Пантелееву, Н.К.Алгебраистовой, В.С.Чекушину, А.И.Рюмину, В.А.Бухарову, Е.А.Алексеевой, Л.В.Агафонову за помощь в проведении полевых экспедиционных работ и экспериментальных лабораторных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Е.Д. Щелочной магматизм Кузнецкого Алатау. – М.: Недра, 1968.

2. Высоцкий Н.К. Платина и районы ее добычи. – Ч.5 //Обзор месторождений платины вне Урала. – Л.: Изд. АН СССР, 1933.

3. Гринев О.М. Эволюция щелочно-габброидного магматизма Кузнецкого Алатау //Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. – Томск, 1990.

4. Девонские рифтогенные формации юга Сибири /Под редакцией В.П.Парначева и И.А.Вылцана. – Томск: Томский государственный университет, 1996.

5. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Полферов Д.В. Тарновицкий Л.Л. Платинометальные месторождения мира. Т. 1. – Кн. 1 //Платинометальные малосульфидные месторождения в ритмично-расслоенных комплексах. – М.: АОЗТ "Геоинформмарк", 1994.

6. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Дюжиков О.А. и др. Новая концепция расширения и комплексного освоения сырьевой базы платиновых металлов (программа "Платина России") //Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. – М.: АОЗТ "Геоинформмарк", 1994.

7. Додин Д.А., Чернышов Н.Н., Яцкевич Б.А. и др. Состояние и проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов //Платина России. Сб. научн. трудов. – Т.П. – Кн.1. – М.: АОЗТ "Геоинформмарк", 1995.

8. Дроздов Б.В. К вопросу о формировании уртитов Кия-Шалтырского месторождения (Кузнецкий Алатау) // Нефелиновое сырье. – М.: Наука, 1978.

9. Зубков В.С. К сопоставлению щелочно-оливин-базальтовых формаций Минусинской системы впадин и Байкальского рифта //Геохимия вулканитов различных геодинамических обстановок. – Новосибирск: Наука, 1986.

10. Иваников В.В., Путинцева Е.В., Филиппов Н.В. Проблемы комплексного использования руд Ковдорского месторождения в связи с новыми данными по благороднометальной минерализации //Второй Международный симпозиум "Проблемы комплексного использования руд" (19-24 мая 1996 г.). Тез. докладов. – Санкт-Петербург, 1996.

11. Ильенок С.С. Петрология габбро-сиенитового комплекса Горной Шории. – Изд. Томского государственного университета, 1963.

12. Леонов Ю.Г. Тектоническая природа девонского орогенеза. – М.: Недра, 1976.

13. Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. – М.: Наука, 1983.

14. Путинцева Е.В., Иваников В.В., Филиппов Н.Б., Богачев В.А. Благороднометальная минерализация и алмазоносность щелочных комплексов Карело-Кольского региона //Отечественная геология. – 1996. – № 11.

15. Сазонов А.М., Рюмин А.И., Алгебраистова Н.К. и др. Увеличение добычи золота и высокоценных цветных металлов за счет резервов минерально-сырьевой базы и действующих предприятий Красноярского края //Материалы научного совета по региональной научно-технической программе "Экология, новые материалы и технологии Красноярского края". – Красноярск, 1995.

16. Сазонов А.М., Гринев О.М., Шведов Г.И. и др. Благороднометальная рудоносность Кия-Шалтырского габбро-уртитового плутона //Руды и металлы. – 1996. – № 1.

17. Сазонов А.М., Гринев О.М. Платиноносность щелочно-габброидной формации северо-восточной части Кузнецкого Алатау //Отечественная геология. – 1996. – № 10.

18. Сметанников А.Ф., Кудряшов А.И. О возможности извлечения золота и серебра из руд Верхнекамского месторождения калийных солей //Руды и металлы. – 1995. – № 5.

19. Сметанников А.Ф., Кудряшов А.И. Содержание и распределение Au, Ag и Pt-металлов в сильвините Верхнекамского месторождения //Геохимия. – 1995. – № 9.

20. Сурков В.С., Жеро О.Г., Уманцев Д.Ф. и др. Тектоника и глубинное строение Алтае-Саянской складчатой области. – М.: Недра, 1973.

21. Толстов А.В. Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (Северо-Западная Якутия) //Геология и геофизика. – 1994. – № 9.

22. Чернышов Н.М., Додин Д.А. Формационно-генетическая типизация месторождений металлов платиновой группы для целей прогноза и металлогенического анализа //Геология и геофизика. – 1995. – № 1.

23. Чураков А.Н. Кузнецкий Алатау. История геологического развития и его геохимические эпохи //Очерки по геологии Сибири. – Л.: Изд. АН СССР, 1932.

24. Юшко-Захарова О.Е., Иванов В.В., Соболева Л.Н. Минералы благородных металлов: Справочник. – М.: Недра, 1986.