

## РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РУДАХ АРМЕНИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ОСВОЕНИЯ

© 2002 г. П. Г. Алоян\*, Р. Т. Джрбашян\*\*, Ш. О. Амирян\*\*, А.С. Фарамазян\*\*,  
Р. Л. Мелконян\*\*, Г. П. Алоян\*

\* ) Горно-металлургический институт ЗАО  
375009 Ереван, ул. Корюна, 14, Республика Армения  
E-mail: hayk\_a@yahoo.com

\*\* ) Институт геологических наук НАН РА  
375019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения  
E-mail: hrshah@sci.am

Поступила в редакцию 5 11 2002 г

В статье рассматривается состояние минерально-сырьевой базы редких металлов. Приводятся материалы по рассеянным и редкоземельным элементам, а также платиноидам. Впервые рассматриваются формационно-технологические возможности промышленного освоения запасов редких металлов.

Повышение комплексного использования минерально-сырьевой базы и продуктов технологического передела – сложная и многогранная проблема, имеющая важное народнохозяйственное значение. Кроме основных полезных компонентов (медь, молибден, золото, серебро, свинец и цинк), в медных, молибденовых, золотосодержащих и полиметаллических концентратах Армении содержатся редкие металлы промышленного значения, частично учтенные и не учтенные в Госбалансе республики. Они пользуются постоянно повышенным спросом на мировом рынке. В ведущих развитых странах большинство из них (радиоогенный осмий, скандий, кадмий, теллур и др.) отнесены к категории стратегических и находятся под контролем военно-промышленного комплекса. В настоящее время эти полезные компоненты в составе концентратов вывозятся за пределы республики без соответствующей компенсации, более того, предприятиями выплачиваются огромные штрафы за “загрязненность” концентратов.

Геохимия некоторых редких металлов, учтенных в Госбалансе РА, изучена достаточно [1-8], однако научно-технологическая база для организации редкометалльного производства в республике пока не создана. К тому же выявлены новые стратегические металлы, имеющие большой экономический потенциал и пользующиеся повышенным спросом в космической и ядерной технике. Настоящая статья имеет целью восполнить этот пробел на первом этапе. Здесь приводятся новые материалы по рассеянным и редкоземельным элементам, а также платиноидам. Впервые рассматриваются формационно-технологические возможности их промышленного освоения. Вопросы мирового производства и областей применения редких металлов в статье не рассматриваются.

### Рений, радиоогенный осмий, платиноиды

**Рений.** Среднее содержание рения в молибденовых концентратах Армении составляет: в концентратах эксплуатируемых медно-молибде-

новых месторождений – от 260г/т (Каджаран) до 524 г/т (Агарак); в детально разведанных и подготовленных к промышленному освоению – от 340 г/т (Личк) до 740 г/т (Техут). Среднее содержание рения в рудах этих месторождений колеблется от 0.1 до 0.30г/т. Геохимия рения в медно-молибденовых рудах Армении изучена А.С. Фарамазяном [5,6].

Крупные запасы рения установлены в рудах Айюцзорской группы месторождений, где среднее содержание рения в молибденовом концентрате достигает 4000-18800г/т, т.е. до 4-18.8кг/т. Эти месторождения не разведаны, запасы не подсчитаны и не оценены. Это обстоятельство диктует необходимость их первоочередного изучения.

Общие запасы рения в рудах Армении, с учетом утвержденных и прогнозных запасов, составляют около 10-12% от мировых запасов с извлекаемой ценностью в сотни миллионов долларов США. Основная товарная продукция из ренийсодержащих молибденовых концентратов – перрениевая кислота, перренат аммония и металлический порошок рения (99.99%).

При обогащении рений, в основном, переходит в молибденовый концентрат. Разработана технология переработки каджаранских и агаракских молибденовых концентратов (содержание молибдена 51%). Подготовлен технологический регламент (проект) для проектирования опытно-промышленного цеха.

**Платиноиды и радиоогенный осмий.** Анализ платиноносности рудных формаций складчатых областей показывает, что она традиционно связывается с альпинотипными ультрабазитами. Исследования А.С. Фарамазяна внесли определенные коррективы на установившиеся взгляды о платиноносности рудных формаций Армении. Он выдвинул идею о платиноносности руд медно-молибденовой формации [5]. На этой формационно-генетической основе нами были проведены комплексные исследования по характеру распределения платиноидов в рудах и продуктах технологического передела эксплуатируемых и подготовленных к промышленному освоению

месторождений медной, медно-молибденовой и золотополиметаллической формаций [1-4]. Результаты исследований убедительно показали, что для Армении наиболее перспективной на платиноиды является медно-молибденовая формация как по содержанию, так и по масштабам и техническим возможностям попутного их извлечения. Основные результаты исследований по платиноносности рудных формаций Армении приводятся в статье [4]. Здесь мы ограничимся изложением лишь некоторых основных выводов.

Полученные новые данные свидетельствуют о том, что в рудах медно-молибденовой формации среднее содержание металлов платиновой группы (МПГ) составляет от  $0.016г/т$  (Каджаран) до  $0.024г/т$  (Агарак), при этом в молибденовом концентрате составляет  $0.156-0.211г/т$  (Каджаран) и  $0.371г/т$  (Агарак), в медном концентрате соответственно  $0.131-0.166$  и  $0.151г/т$ , а в коллективных концентратах соответственно  $0.351$  и  $0.422г/т$ . С учетом достигнутых технологических показателей по основным полезным компонентам (медь, молибден, рений) от суммарного содержания МПГ в коллективном концентрате около  $0.35г/т$ , 30-35% концентрируется в медных концентратах, а 60-65% – в молибденовых; потери в хвостах незначительные. Анализ данных показывает, что усредненные показатели по соотношению палладия, платины и родия в медных и молибденовых концентратах составляют соответственно 105:3:1, и 120:74:1. Палладий, платина и родий являются характерной примесью руд гидротермальных отложений Армении. Наиболее высокие содержания этих элементов приурочены к рудам ранней, более высокотемпературной молибденовой стадии минерализации, для которой характерно преобладание платины над палладием, вместо обычного соотношения  $Pd:Pt > 1$ . С понижением температуры рудообразования содержание МПГ резко падает, а соотношение между палладием и платиной меняется с резким уменьшением абсолютных величин и незначительным преобладанием платины. Геохимия поведения МПГ в рудах Армении отличается от общепринятых теоретических построений, в особенности в молибденовых концентратах. В последних (в обогащенных) распределение МПГ равномерное, а в остальных – весьма неравномерное.

Результаты исследований показали, что изученные пробы в разных концентрациях содержат платину и палладий в различных соотношениях. В медных концентратах Каджаранского медно-молибденового месторождения отношение палладия к платине составляет от 3.0 до 3.68, а в молибденовых – от 1.37 до 2.0. Эти соотношения устанавливаются также в групповых пробах за последние 20 лет: в медном концентрате – от 2.12 до 5.5 и в молибденовом концентрате – от 1.33 до 1.58, в то время, как в рудах Агаракского месторождения эти соотношения соответственно составляют 2.0 и 0.95. Это означает, что, если данные по медным концентратам в принципе соответствуют установленным соотношениям [5,6], то соотношение в молибденовых концентратах свидетельствует также о пре-

вышении содержаний палладия над содержаниями платины от 1.37 до 2.0 раз как по материалам 1996-1998гг, так и по материалам последних 20 лет, т.е. это соотношение для Каджаранского месторождения является постоянным, в то время, как для Агаракского и Техутского месторождений устанавливаются соотношения порядка 0.95 и 0.45 соответственно, что считается нормальным. На месторождениях золотополиметаллической формации в целом это соотношение варьирует от 0.18 до 0.8, за исключением Сотского месторождения, где отношение палладия к платине составляет 2.1.

Для сравнения отметим, что содержание металлов платиновой группы в канадских медно-никелевых рудах сравнительно низкое и поэтому их извлечение экономически оправдано в связи с большими объемами производства. Наиболее крупное из них находится в районе г. Седбери. На месторождениях провинции Онтарио среднее содержание МПГ составляет  $0.8г/т$ , а на месторождениях провинции Манитоба –  $0.4г/т$ . Основным источником получения платины и палладия в США являются месторождения меди и золота. Содержание МПГ на этих месторождениях невысокое – в медной руде не более  $0.005г/т$ . Промышленные запасы МПГ в Колумбии составляют около  $160т$ , из которых 65-70% составляют запасы платины. Вполне естественно, что целесообразность промышленного освоения этих бедных руд обеспечивается большими производственными мощностями. Такие производственные мощности имеются только на Зангезурском ММК (Армения).

Формы нахождения МПГ в рудных формациях Армении еще не выяснены. Они распределены в них весьма неравномерно. МПГ присутствуют в рудах в виде изоморфной примеси в основных рудных минералах. По мнению А.С.Фарамазяна, они "образуют субмикроскопические выделения собственных минералов, размеры которых находятся на грани разрешения светового микроскопа". Анализ имеющегося фактического материала свидетельствует о том, что первоочередными объектами исследований могут стать месторождения медно-молибденовой формации – Каджаран и Агарак. Это – новая и принципиальная постановка вопроса, перспективы которой объясняются тем, что достигнутые производственные мощности Зангезурского ММК дают возможность в процессе большеобъемной добычи поставить вопрос об организации попутного извлечения металлов платиновой группы как при комплексном металлургическом переделе концентратов, так и посредством создания автономных специализированных цехов по их доизвлечению.

Обработка всего имеющегося фактического материала по разведке Каджаранского месторождения дала нам возможность на основании данных групповых анализов и технологических разработок подсчитать более  $130т$  запасов МПГ при среднем содержании суммы металлов в коллективном концентрате  $0.3-0.4г/т$ , что сопоставимо с эксплуатируемыми месторождениями США, Канады, Колумбии, где в промышленных рудах

содержание МПГ составляет от 0.005 до 0.4-0.8г/т. Отметим, что в медно-порфировых месторождениях США (Клаймакс и др.) их запасы составляют около 150т, это обеспечивает получение ежегодно около 1т платины и палладия из первичного сырья в соотношении 35:65. Учитывая конъюнктуру и цены на металлы платиновой группы, годовая извлекаемая ценность МПГ из каджаранских руд при достигнутой производительности составит 45-50 млн. драмов. С учетом этих перспектив, а также того, что медные и молибденовые концентраты экспортируются без соответствующей компенсации за редкие металлы, необходимо, чтобы извлекаемая ценность МПГ учитывалась наряду с остальными редкими элементами в себестоимости товарной продукции.

Исходя из ранее установленной корреляционной связи между рением и радиоогенным осмием с одной стороны и молибденом и рением – с другой, нами ооконтурены обогащенные концентрации трехчленного парагенезиса – молибден-рений-радиоогенный осмий.

Исследованиями установлено, что в молибденовом концентрате Каджаранского месторождения осмий в основном представлен радиоогенным изотопом  $^{187}\text{Os}$  – продуктом бета-распада изотопа  $^{187}\text{Re}$ . Примесь обыкновенного осмия варьирует в пределах от 5 до 12%. Полученные нами новые данные подтверждают линейную зависимость молибдена, рения и осмия, установленную А.С.Фарамазяном. Однако график зависимости рения и осмия, составленный по данным А.С.Фарамазяна, смещен в сторону низких содержаний. Возможно, это является следствием различий в содержаниях осмия в молибденитах и молибденовых концентратах, т.к. в молибденитах содержание осмия варьирует от 20-60 до 200 мг/т, а в концентратах – от 106 до 300 мг/т. Данные по Айгедзорскому, Техутскому и Агаракскому месторождениям хорошо накладываются на усредненную корреляционную кривую Каджаранского месторождения, тем самым отражая прямую зависимость молибдена, рения и осмия в рудах медно-молибденовой формации Армении, хотя данные по Агаракскому месторождению образуют кучный ореол вдоль кривой. По-видимому, это – следствие генетических особенностей образования Агаракского месторождения, связанного с нижнемиоценовым магматизмом (Алоян и др., 2000).

Результаты исследований убедительно показали, что для Армении наиболее перспективной является медно-молибденовая формация как по содержанию, так и по масштабам и техническим возможностям попутного извлечения металлов платиновой группы. Это – принципиально новая постановка вопроса, основанная на новых данных, полученных в ведущих аналитических центрах России. Эти данные являются базой для организации в республике целенаправленных минералого-геохимических и технологических исследований для оценки перспективности формаций Армении на платиноносность и радиоактивность.

**Кадмий, селен, теллур, висмут, ванадий.**

**Кадмий.** В Госбалансе республики учтены запасы кадмия по трем месторождениям – Шаумянскому, Ахтальскому и Арманисскому – в количестве 7.2тыс.т. Кадмий преимущественно находится в виде примеси в сфалерите, редко образует самостоятельный минерал – пршибрамит –  $(\text{ZnCd})\text{S}$  – со средним содержанием Cd до 5%. Среднее содержание кадмия в рудах Шаумянского месторождения (где сосредоточено около 60% учтенных запасов) составляет 270г/т, а в концентратах – 1.5-4.8кг/т. В зависимости от чистоты, цена 1 кг кадмия сильно варьирует.

Геохимия кадмия в рудах Армении достаточно изучена [6]. Запасы кадмия не учтены в недоразведанных и опоискованных золоторудных месторождениях. Содержание кадмия в полиметаллических разновидностях руд этих месторождений составляет от 2-5кг/т (Меградзор) до 18кг/т (Сотк). В рудах детально разведанных и эксплуатируемых (законсервированных) месторождений содержание кадмия составляет от 1-10кг/т (Азатек, Ахтала) до 3 кг/т (Личквас-Тей, Тертерасар). В рудах предварительно оцененных и опоискованных свинцово-цинковых и медно-цинковых месторождений содержание кадмия составляет от 2.8кг/т (Гладзор) до 5-10кг/т (Какавасар, Каялу, Дзагидзор).

Установлена определенная закономерность в распределении содержания кадмия в сфалеритах различных формаций и типов руд. Так, для формации колчеданных полиметаллических руд содержание кадмия в среднем равно 0.29%, при разбросе величин от 0.23 до 0.55%. Для формации полиметаллических руд среднее содержание равно 0.44% при значительно большем разбросе (от 0.22 до 0.82%). Внутри этой формации среднее содержание кадмия в полиметаллическом, свинцово-цинковом и мышьяково-полиметаллическом типах руд равно 0.44%, а в свинцово-сурьмяном – 0.48%. При этом в карбонатах отмечаются аномально высокие содержания кадмия в сфалеритах – 8.2% (Мовсесское месторождение), а в туфоосадочных образованиях Привольненского месторождения – 0.24%. Исследования Г.О.Пиджяна и А.Г.Акопяна [5] показали, что для производства кадмия важное значение имеют не только цинковые концентраты Ахтальского, Шамлугского и Шаумянского месторождений, но и медные, и свинцовые концентраты (Cd – 0.11-0.12%), что обусловлено как механической примесью сфалерита, так и частичным замещением двухвалентных ионов свинца и меди кадмием. В галенитах и халькопиритах этих руд содержания кадмия составляют 0.1-0.3%, в цинковой обманке – от 0.3 до 3.0%.

Анализ имеющегося материала по кадмиенности полиметаллических руд показывает, что обогащенность кадмием тех или иных разновидностей сфалерита обусловлена как температурой, так и концентрацией кадмия в отдельных порциях рудоносных растворов [5]. Интересно отметить, что темные разновидности сфалерита (марматит) Соткского золоторудного месторождения более обо-

гащены кадмием (до  $30000\text{г}/\text{т}$ ), чем светлые — из Гамзачиманского, Азатекского, Какавасарского месторождений, что, возможно, вызвано замещением цинка кадмием в условиях относительно высоких температур. Для сравнения отметим, что в рудах медно-молибденовой формации среднее содержание кадмия составляет  $0.39\%$  (Каджаран), в рудах медноколчеданной формации — от  $0.18\%$  (Капан) до  $0.31\%$  (Шамлуг, Анкадзор), а в рудах серно-колчеданной формации —  $0.28\%$  (Тандзут).

Общие ожидаемые запасы кадмия в рудах Армении могут превысить числящиеся на Госбалансе запасы в несколько раз и составят несколько процентов от мировых, что является очень крупным потенциалом стратегического сырья.

**Селен и теллур.** Запасы селена и теллура, числящиеся на Госбалансе Армении, подсчитаны по эксплуатируемым месторождениям — Каджаранскому, Агаракскому, Капанскому и Шаумянскому. Общие запасы селена составляют  $6182.4\text{т}$ , теллура —  $6267\text{т}$ . Наиболее высокие содержания селена приурочены к молибденитам Каджаранского месторождения —  $374\text{г}/\text{т}$  и галенитам Шаумянского месторождения —  $600\text{г}/\text{т}$ . Содержание теллура в галенитовом концентрате Шаумянского месторождения составляет  $1900\text{г}/\text{т}$ , в медном —  $480\text{г}/\text{т}$ , в цинковом —  $212\text{г}/\text{т}$  и пиритовом —  $129.3\text{г}/\text{т}$ . При переработке медно-молибденовых и медных руд селен и теллур максимально извлекаются в медный концентрат: из руд Капана —  $61.5\%$  и  $63.7\%$ , из руд Каджарана —  $56.8\%$  и  $48.8\%$  соответственно. Из полиметаллических руд Шаумяна селен и теллур максимально извлекаются в свинцовый концентрат —  $31.4\%$  и  $48.1\%$  соответственно.

Геохимия селена и теллура в рудах Армении детально изучена Г.О.Пиджяном [5], А.С.Фарамазяном, Р.Н.Зарьяном [6,7], А.С.Фарамазяном [5,8]. Экономически обоснована целесообразность промышленного извлечения селена и теллура из каджаранских и шаумянских концентратов, однако, в связи с отсутствием замкнутого металлургического цикла по переработке медных, молибденовых и полиметаллических концентратов, эти ценные редкие металлы вывозятся с концентратами без соответствующей компенсации.

Значительные запасы селена и теллура содержатся в рудах недоразведанных, опоскованных, а в отдельных случаях и в рудах детально разведанных, но недоизученных месторождений медной, медно-молибденовой и золоторудной формаций. Эти запасы на балансе не числятся, но представляют интерес как с точки зренияпутного извлечения, так и, возможно, организации самостоятельного редкометалльного малотоннажного производства. Значительный интерес представляют медные месторождения западного фланга Алавердского рудного поля (Алаверди, Агви, Алвард и др.), рассматриваемые как сырье для бактериального и сернокислотного выщелачивания. Содержание селена в мономинеральных рудах —  $235\text{-}328\text{г}/\text{т}$ . На самом Алавердском месторождении меди среднее содержание селена

составляет  $235\text{г}/\text{т}$ , в рудах Агвинского и Алвардского — более  $300\text{г}/\text{т}$ . В рудах Азатекского месторождения, подготовленного к промышленному освоению, содержание селена  $400\text{г}/\text{т}$ . Во всех этих месторождениях горно-геологические и географо-экономические условия весьма благоприятные. На месторождениях колчеданной формации (Капан, Шамлуг, Ахтала, Чибухлы, Тандзут и др.) селен и теллур в основном представлены в виде рассеянной примеси. В медных и серноколчеданных рудах содержания селена и теллура колеблются в пределах тысячных долей процента, а в отдельных случаях — сотых долей. На Капанском-медном и Чибухлинском серноколчеданном месторождениях наблюдается положительная корреляционная зависимость в первом случае между селеном, медью и серой, а во втором случае — между серой, селеном и теллуrom [5]. Соотношение селена и теллура в рудах колчеданной формации —  $3:1:1:1$ .

Селен и теллур являются характерными примесями для руд месторождений медно-молибденовой формации — Каджаранского, Агаракского, Дастакертского и др. Содержание селена и теллура в рудах колеблется от десятитысячных до тысячных долей, а в рудах полиметаллической стадии — до сотых долей процента. Отношение селена к теллуру — от  $1.5:1$  до  $5:1$  [5, 6]. В рудах месторождений полиметаллической формации (Газминское, Азатекское, Какавасарское, Аткизское и др.) селен присутствует в виде изоморфной примеси в решетках сульфидов и сульфосолей, в то время как теллур образует теллуриды свинца, висмута, серебра и золота. Содержание селена в халькопирите достигает  $153\text{г}/\text{т}$ , в пирите —  $150\text{г}/\text{т}$ . Содержание теллура в халькопирите составляет сотые доли процента, т.е. в пределах  $100\text{г}/\text{т}$ . Наиболее высокие содержания селена установлены в антимоните — до  $340\text{г}/\text{т}$ , в сфалерите концентрация селена и теллура колеблется в пределах  $40\text{-}50\text{г}/\text{т}$ . Особый интерес могут представлять теллуриды Меградзорского месторождения золота. По данным геологоразведочных работ и полупромышленных испытаний технологических проб, в рудах месторождения кроме Au и Ag практическое значение имеет также Te, представленный теллуридами. Содержание Se и Bi в рудах месторождения низкое и не превышает  $3\text{-}5\text{г}/\text{т}$  (в пределах точности анализа). При флотации руд теллуриды переходят в золото-содержащий концентрат. Среднее содержание Te во флотоконцентрате составляет  $348\text{г}/\text{т}$ , при его извлечении —  $87.43\%$ . Подсчет запасов Te произведен по данным 12 технологических проб. Среднее содержание Te по Центральному участку (Второе, Слепое, Девятое р.т.) составляет  $30.6\text{г}/\text{т}$ , по Пятому р.т. (Аджаридзорский уч.) —  $12\text{г}/\text{т}$  и по Первому р.т. (Северный уч.) —  $21.45\text{г}/\text{т}$ . Средневзвешенное содержание Te по месторождению —  $23.6\text{г}/\text{т}$ . Количество запасов по категориям  $C_1+C_2$  —  $15.4\text{т}$ . Объектом первоочередной доразведки являются Анкаванское рудное поле и отдельные его участки (для селена, теллура и висмута). В коллективном сульфидном концентрате содержания теллура и висмута достигают  $100\text{кг}/\text{т}$ , а селена в тетрадимитовом

(теллуридах) концентрате – 4,4 кг/т, теллура – 350 кг/т (1). В медно-мышьяковых рудах содержание селена 1,2 кг/т, а теллура – 720 г/т. Сквозное извлечение низкое и из различных концентратов составляет от 2 до 9%, на стадии обогащения – от 5 до 29%, а при металлургическом переделе – от 20 до 42%. Решение технологических проблем переработки сырья с целью сокращения потерь важно не только с экономической и производственной точек зрения, но и с экологической, учитывая, что селен и теллур высокотоксичные элементы. За последние годы армянские технологи добились кардинальных успехов в деле повышения сквозного извлечения селена и теллура и довели их извлечение до 70-80% из концентратов и до 98% – из растворов.

**Висмут.** Висмут характерен для медно-молибденовой, золоторудной, полиметаллической и колчеданной формаций Армении. На Госбалансе Армении числятся запасы по семи месторождениям – Каджаран, Агарак, Личк, Алаверди, Личк-ваз-Тей, Тертерасар и Арманис. Общие запасы висмута составляют 7425,5 т, из коих 95% приходится на долю медно-молибденовых руд Каджарана. Основными концентраторами висмута в рудах медно-молибденовой формации являются халькопирит (60-430 г/т), галенит (420-670 г/т), пирит (20-340 г/т) и молибденит (10-30-230 г/т). Из неучтенных запасов наибольший интерес представляют полиметаллические руды Гладзорского, Азатекского (уч. Каяли), Какавасарского и Привольненского месторождений. В этих рудах содержания висмута достигают: в галените – 100-1000 г/т, а в свинцовом концентрате – 2000-10000 г/т.

В пределах Марджан-Мазмазакского рудного поля в полиметаллических рудах (галенитах) содержание висмута достигает 1,0% и выше. Запасы висмута на этих объектах не подсчитаны, объекты не оценены.

Выше уже было отмечено, что отдельные участки Анкаванского рудного поля представляют самостоятельный интерес (так называемый селективный тип руд с содержанием висмута >0,1%) на рассеянные редкие элементы – селен, теллур и висмут. В золото-теллуру-висмутовых рудах содержания основных компонентов на много превышают минимальный порог промышленных руд.

Основным сырьем для получения висмута являются свинцовые, медные и оловянные концентраты. Технология обогащения и металлургической переработки концентратов с получением металлического висмута в мировой практике хорошо разработана. Армянские технологи в этой области имеют значительные успехи. Изучен вопрос распределения кадмия и висмута при переработке медных концентратов, где содержание висмута колеблется в пределах 0,03% (Армения, Япония, Австралия, Канада). Разработана технология переработки тонких конвертерных пылей с получением коллективного кадмий-висмутового цементата. Технологические показатели извлечения висмута на всех стадиях переработки высокие. Товарным продуктом является висмут высокой чистоты. (99,999%).

**Ванадий.** Сведения о содержаниях ванадия в рудах и продуктах технологического передела эксплуатируемых месторождений Армении крайне отрывочны и недостаточны. Отметим, что ванадий не числится на Госбалансе, в то же время имеются авторские данные, которые позволяют рассматривать некоторые руды и продукты технологического передела как перспективное сырье на ванадий.

Среднее содержание ванадия в рудах Каджаранского месторождения, по данным 749 групповых проб, составляет 198 г/т. Около 80-85% ванадия приходится на магнетит. Среднее содержание магнетита в рудах составляет 1,0% при общем содержании железа 3,5-4,5%. По данным авторского подсчета (Алоян и др., 1995), в контуре балансовых руд категории  $C_1 + C_2$  валовые запасы ванадия составляют 630 тыс. т, в том числе 350 тыс. т в балансовых запасах, из коих извлекаемые 21 тыс. т. Горно-металлургическим институтом разработана и испытана технология получения ванадийсодержащего магнетитового концентрата из хвостов обогащения каджаранских медно-молибденовых руд по схеме магнитной сепарации с магнитной перемешкой измельченного продукта. В результате, из отвальных хвостов получен кондиционный магнетитовый концентрат с содержанием железа 60-65% и извлечением магнетита в концентрат до 75%. Содержание ванадия в магнетитовом концентрате составляет от 0,25 до 0,40%, а по данным ЦНИИ черной металлургии РФ – 0,45%. По этим же данным в магнетитовых концентратах Качкарского комбината, где предполагалась переработка каджаранских магнетитовых концентратов, содержание ванадия составляло 0,56% (в виде  $V_2O_5$ ). На Агаракском месторождении ванадий, как и титан, широко представлен в рудовмещающих породах; его содержание колеблется от 0,001 до 0,03%. Наиболее высокие содержания характерны для кварцевых монзонитов – 0,014%, а наиболее низкие – для лейкократовых гранодиорит-порфиров – 0,007% и кварцитов – 0,006%. Повышенные содержания ванадия установлены в мономинеральных пробах; в биотите – 0,013%, роговой обманке – 0,028-0,047% и эпидоте – 0,032%.

Следует подчеркнуть, что в каджаранских и агаракских рудах главные рудные минералы – молибденит и халькопирит – не содержат ванадия, что приводит к преимущественному накоплению ванадия в хвостах обогащения. В этой связи месторождения медно-молибденовой формации, в первую очередь Каджаранское и Агаракское, могут рассматриваться как новый, перспективный на ванадий тип, характеризующийся не менее высокими концентрациями, чем рекламируемые руды титано-магнетитовых месторождений. Хвосты обогащения медь-молибден-порфировых месторождений выдвигаются нами в качестве сырья для получения ванадия.

Одновременно магнетитовые концентраты можно использовать для замены высококачественных железных руд при производстве ферромолибдена. Имеющиеся материалы позволяют утверждать, что при технологической и минера-

лого-геохимической обеспеченности можно организовать также производство дефицитного феррованадия.

Определенный интерес с точки зрения ванадиеносности представляют железорудные месторождения Армении. Наиболее важными для промышленности являются магматические месторождения титаномагнетита. Сваранцское месторождение титаномагнетитовых руд относится к наиболее бедным как по содержанию ванадия, так и по содержанию титана. Имеющиеся данные не дают однозначного ответа о поведении ванадия в этих рудах. По данным химических и спектральных анализов, содержание  $V_2O_5$  в руде – 0.08%, в рутиле – 0.62%, а в титаномагнетите – 0.62% [5]. По данным И.Н. Мещваришвили, содержание  $V_2O_5$  в сваранцских рудах 0.13%. По результатам химических анализов мономинеральных проб, по типам руд наиболее богаты массивные и шлировые титаномагнетитовые разновидности – 0.3-0.4%, прожилково-вкрапленные разновидности – 0.1-0.2%, бедные редковкрапленные титаномагнетитовые разновидности – 0.03-0.05%.

Следует отметить, что руды Разданского скарнового месторождения на ванадий почти не изучены. Имеются данные по содержанию ванадия в магнетитовом концентрате в пределах 0.03-0.05%  $V_2O_5$  (Горно-металлургический институт, ЦНИИ черной металлургии РФ, 1966). Обычно руды контактово-метасоматических месторождений относительно бедны на ванадий.

В рудах Капутанского редкоземельно-апатит-магнетитового гидротермально-метасоматического месторождения содержание ванадия составляет от 0.007 до 0.0025%, а в массивных рудах – от 0.014 до 0.062%. По данным спектрального анализа, содержание ванадия в магнетите – 0.001%. Содержание  $V_2O_5$  в обогащенном магнетитовом концентрате – 0.068%.

Следует добавить, что руды железорудных месторождений на ванадий не оценены, минералогически слабо изучены, а технологическая изученность, как и в случае медно-молибденовых руд, отсутствует. Однако, учитывая ограниченные запасы и низкие содержания ванадия в железорудных месторождениях, приоритетная роль остается за месторождениями медно-молибденовой формации Армении с их огромными запасами, производственными мощностями действующих горнорудных предприятий и развитой инфраструктурой.

#### Редкоземельные элементы и скандий

**РЗЭ.** Потенциал рудных формаций Армении на РЗЭ изучен слабо. Это касается в первую очередь руд и продуктов технологического передела эксплуатируемых месторождений. Повышенные концентрации РЗЭ известны в пределах Тежсарского щелочного комплекса, на Капутанском (Абовянском) и Разданском железорудных месторождениях. На Лагерном участке Тежсарского комплекса содержание РЗЭ колеблется в пределах 0.028-3.8%. Редкие земли

здесь относятся к цериевой группе. Форма нахождения РЗЭ – собственные минералы (монацит, ортит, паризит и др.) и изоморфная примесь в апатите, сфене, флюорите, цирконе. По ориентировочным подсчетам запасы РЗЭ в Тежсарском комплексе составляют 130 тыс. т. На Капутанском железорудном (редкоземельно-апатит-магнетитовом) месторождении содержание РЗЭ в качестве сопутствующих элементов составляет 0.3%. Преобладающая форма нахождения – изоморфная примесь в апатите, содержание которого в рудах составляет ~6.0%. Ориентировочно запасы РЗЭ в рудах Капутанского месторождения составляют 120 тыс. т.

При обогащении руд Капутанского месторождения по схеме электромагнитного обогащения с последующей флотацией хвостов магнитной сепарации получен кондиционный магнетитовый концентрат, пригодный для использования в чугуно-литейном производстве (выход 33.7%, содержание  $Fe_{обд}$  – 68.5% при извлечении 80%), и редкоземельно-апатитовый концентрат с содержанием РЗЭ 1.8%. Технологическими исследованиями Горно-металлургического института показана возможность получения экстракцией редкоземельного концентрата с содержанием РЗЭ 93-95%.

Рекомендуемая технологическая схема обеспечивает комплексное использование сырья и высокое извлечение редких земель из редкоземельно-апатитовых концентратов. Техничко-экономические расчеты показывают высокую эффективность освоения недр и рентабельность будущего горнорудного предприятия.

В рудах Разданского редкоземельно-золотомагнетитового (известково-скарнового) месторождения содержания редких земель (преимущественно элементы цериевой группы – 75-93%) составляют 0.02-0.05% и более, которые изоморфно связаны в основном с кальцитом, гранатом и эпидотом. Разработанная комбинированная технологическая схема обеспечивает комплексное использование драгоценного сырья с получением высококачественных сталей и сплавов и попутно – редких земель и благородных металлов.

**Скандий.** Геохимия скандия в рудных формациях Армении не изучена. Аналитических данных почти нет, имеются результаты единичных групповых проб. Для восполнения этого пробела и на основании всего имеющегося материала мы попытались найти месторождения-аналоги или соответствующие рудные формации Армении и получить некоторые предварительные аналитические данные для постановки проблемы скандиеносности. При этих исследованиях мы исходили из того, что, во-первых, как уже было отмечено выше, в США скандий извлекали из серо-содержащих хвостов медных руд рудника Бингхем Кенюн (штат Юта), а также скандийсодержащих вольфрамовых концентратов медно-молибденового месторождения Клаймакс; во-вторых, учитывали имеющиеся данные о концентрациях скандия в основных и ультраосновных породах, т.е. с железо-магнезиальными минералами.

Вполне естественно, что нами были отобраны две формации на предмет изучения их скандиенности. Это – медно-молибденовая формация (Каджаран, Личк) и золоторудная формация (Сотк). Анализы выполнены в специализированных лабораториях РФ. Полученные данные дают основание отметить следующее:

1. По данным аналитических исследований установлено содержание скандия в рудах Соткского золоторудного, Каджаранского и Личкского медно-молибденовых месторождений. Содержание скандия в соткских рудах составляет 5-6г/т в сульфидных рудах, до 15-20г/т – в окисленных рудах. При переработке руд около 75-80% скандия переходит в шлам. В рудах Каджаранского месторождения содержание скандия колеблется в пределах от 6 до 20г/т, из коих около 50-85% скандия переходит в железосодержащие хвосты обогащения. На Личкском месторождении скандий преимущественно концентрируется в молибдените (5-6г/т).

2. Сопоставление полученных данных с вышеприведенными данными показывает, что с учетом имеющихся технологических схем переработки скандийсодержащих руд (технологических продуктов) возможно их промышленное освоение. Наиболее перспективным представляется извлечение скандия из железосодержащих хвостов обогащения Каджаранского медно-молибденового месторождения. Однако для окончательного решения данного вопроса необходимо проведение широкого комплекса минералого-геохимических и технологических исследований. Такая проблема нами выдвигается впервые, учитывая весьма высокую извлекаемую ценность скандия, а также технологические и технические возможности Каджаранского медно-молибденового комбината.

3. По данным авторского пересчета, выполненного совместно с Акопян А.О., запасы скандия в балансовых рудах Каджаранского месторождения составляют свыше 30тыс.т, из них извлекаемые – около 90т (около 11%) с учетом среднего содержания скандия 15г/т и извлечения из хвостов 10%. При этом не учтены сотни млн.т лежащих хвостов. Промышленная ценность этих запасов подтверждается формационной принадлежностью месторождения к медно-порфировому типу, концентрацией скандия в железосодержащих хвостах обогащения и огромными промышленными мощностями комбината и, наконец, постоянно высокой ценой и стратегической конъюнктурой металла. Скандиенность руд Соткского и Личкского месторождений нуждается в изучении на втором этапе.

Весь вышеизложенный материал свидетельствует о том, что в промышленных рудах Армении имеются значительные концентрации редких металлов, рациональное освоение которых повысит эффективность горнорудного производства и обеспечит комплексное использование сырья. На этой основе нами разработаны и представлены в Правительство РА отраслевые комплексные программы «Ремет» и «Молибден» с целью организации в республике редкометалльного производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алоян П.Г., Арутюнян Л.А., Гукасян Ж.Г., Фарамазян А.С., Амирян Ш.О., Мелконян Р.Л. Проект «Ремет». Разработка научно-технологической базы для организации редкометалльной промышленности в Армении. Фонды Правительства РА. Ереван: 1995. 56 с.
2. Алоян П.Г., Арутюнян Л.А., Гукасян Ж.Г. Редкие металлы в рудах и продуктах обогащения, перспективы организации редкометалльных производств в РА. Сб. научных трудов Армнипроцветмета. Ереван. Изд. «Манкаварж», 1996. с. 7-27.
3. Алоян П.Г., Гукасян Ж.Г., Акопян А.О., Фарамазян А.С. Проект «Молибден». Организация производства молибденовой и попутной товарной продукции из одноименных концентратов и хвостов обогащения Зангезурского медно-молибденового комбината. Фонды Правительства РА. Ереван: 1996. 34с.
4. Алоян П.Г., Алоян Г.П. и др. Платиноиды в главнейших рудных формациях Армении. Сб. научн. трудов Армнипроцветмета. Ереван: Изд. «Манкаварж», 2000. с.35-45.
5. Амирян Ш.О., Фарамазян А.С. Минералогия, геохимия и условия образования рудных месторождений Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1974. 254 с.
6. Магакьян И.Г., Пиджян Г.О., Фарамазян А.С., Амирян Ш.О., Карапетян А.И., Пароникян В.О., Зарьян Р.Н., Меликсетян Б.М., Акопян А.Г. Редкие и благородные элементы в рудных формациях Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1972. 393 с.
7. Фарамазян А.С. Зарьян Р.Н. Особенности геохимии селена и теллура в рудах Каджаранского рудного поля. – Геохимия, 1964, №11, с.1164-1169.
8. Фарамазян А.С. Промышленная оценка селена и теллура в медных и медно-молибденовых рудах Армянской ССР. – Промышленность Армении, 1977, №6, с.21-26.

**ՀԱՉՎԱԳՅՈՒՏ ՄԵՏԱՂՆԵՐԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱԲԵՐԱԿԱՆ  
ՀԱՆՔԱՔԱՐԵՐՈՒՄ ԵՎ ՆՐԱՆՑ ՅՈՒՐԱՑՄԱՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐՆԵՐԸ**

**Պ. Գ. Ալոյան, Ռ. Տ. Ջրբաշյան, Շ. Հ. Ամիրյան, Ա. Ս. Ֆարամազյան,  
Ռ. Լ. Մելքոնյան, Հ. Պ. Ալոյան**

**Ա մ փ ո փ ու մ**

Հոդվածում քննարկվում է հազվագյուտ մետաղների հանքահումքային բազայի վիճակը և զարգացման հեռանկարները: Բերվում են նյութեր ցրված տարրերի հազվագյուտ հողերի, ինչպես նաև պլատինոիդների վերաբերյալ: Առաջին անգամ քննարկվում են հազվագյուտ մետաղների պաշարների արդյունաբերական յուրացման ֆորմացիոն-տեխնոլոգիական հնարավորությունները:

**RARE METALS IN THE COMMERCIAL ORES OF ARMENIA AND THE  
OUTLOOK OF THEIR DEVELOPMENT**

**P. G. Aloyan, R. T. Jrbashyan, Sh. H. Amiryan, A. S. Faramazyan,  
R. L. Melkonyan, H. P. Aloyan**

**Abstract**

The state of rare metals raw mineral source's development is esteemed. The materials on dispersed and rare earths and platinoides are resulted in a paper. The formation-technological possibilities of industrial development of rare metals reserves are esteemed for the first time.