

ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ АРМЕНИИ
ЦЕНТР ОХРАНЫ НЕДР

АЛОЯН П.Г., АЛОЯН ГАЙК П.

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РУДНОГО СЫРЬЯ АРМЕНИИ

Серия: Рациональное использование рудного сырья
и эффективное освоение недр Армении



ЕРЕВАН
ГЕОИД
2008

В библиотеку ИГи НАН РА.

ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ АРМЕНИИ
ЦЕНТР ОХРАНЫ НЕДР

Шаг

АЛОЯН П.Г., АЛОЯН ГАЙК П.

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РУДНОГО СЫРЬЯ АРМЕНИИ

Благородные и редкие металлы, редкие земли,
радиоактивное сырье

Серия: Рациональное использование рудного сырья
и эффективное освоение недр Армении

Выпуск 9

ЕРЕВАН
ГЕОИД
2008



5693

УДК 553.04
ББК 26.325
А 514

Печатается по решению Президиума Инженерной академии
Армении и редакционного совета Центра охраны недр

Рецензенты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Б.Г. Безирганов
кандидат геолого-минералогических наук,
Г.С. Амазаспян

Алоян П.Г., Алоян Гайк П.

А 514 Ресурсный потенциал рудного сырья Армении
Ер., ГЕОИД, 2008. 604 с.

Серия: Рациональное использование рудного сырья
и эффективное освоение недр Армении

Выпуск 9

Настоящее издание является крупным обобщением по ресурсно-му потенциалу рудного сырья Армении. В работе впервые рассматриваются новые формационно-генетические типы рудно-силикатного, рудно-топливного, рудно-строительного и рудно-гидроминерального сырья. Впервые всесторонне рассмотрены потенциальные ресурсы геологических формаций Армении и обосновываются перспективы минеральных ресурсов на благороднометалльное, редкометалльное, редкоземельное и радиоактивное сырье. Книга рассчитана на широкий круг специалистов, студентов, научных работников, проектировщиков, инвесторов и предпринимателей.

ISBN 978-99941-962-5-8

ББК 26.325

© Алоян П.Г., Алоян Г.П., 2008

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԸՆԴԵՐՔԻ ՊԱՀՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ

Պ.Գ. Ալոյան, Հայկ Պ. Ալոյան

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՀՈՒՄՔԻ
ԲՆԱՊԱՇՏԱՐԻ ՆԵՐՈՒԺԸ

Ազնիվ և հազվագյուտ մետաղներ, հազվագյուտ հողեր,
ռադիոակտիվ հումք

Մատենաշար՝ Հայաստանի հանքային հումքի արդյունավետ
օգտագործում և ընդերքի լիարժեք յուրացում

Երևան, ԳԵՈԻԴ, 2008

ENGINEERING ACADEMY OF ARMENIA
CENTER OF ENTRAIL PROTECTION

Petros G. Aloyan, Hayk P. Aloyan

**THE RESORT POTENTIAL OF CRUDE ORE
IN ARMENIA**

Noble and rare metals, rare earths and
radioactive raw materials

Ser.: The efficient use and comprehensive subsoil
development of crude ore in Armenia

Yerevan, GEOID, 2008

Մատենաշարի պատասխանատու խմբագիր
ԽՍՀՄ և ՀՀ Պետական մրցանակների դափնեկիր,
երկրաբանական գիտությունների դոկտոր, Հայաստանի
ճարտարագիտական ակադեմիայի ակադեմիկոս
Պ. Գ. Ալոյան

Հատորի խմբագրական կոլեգիա՝
երկրաբ. գ. դ. Պ. Գ. Ալոյան (գլխավոր խմբագիր)
երկրաբ.-հանք. գ. դ. Հ. Հ. Սարկիսյան,
տեխ. գ. դ. Վ. Ռ. Իսրայելյան, երկրաբ.-հանք. գ. ք. Հ. Պ. Գույումջյան,
երկրաբ.-հանք. գ. ք. Վ. Վ. Թովմասյան,
երկրաբ. գ. ք. Հայկ Պ. Ալոյան (պատասխանատու քարտուղար)

Ответственный редактор серии
лауреат Госпремий СССР и РА, доктор геологических наук,
академик Инженерной академии Армении
П. Г. Алоян

Редакционная коллегия тома:
доктор геол. н. П. Г. Алоян (главный редактор)
доктор геол.-мин. н. О. А. Саркисян,
доктор тех. н. В. Р. Исраелян, канд. геол.-мин. н. О. П. Гуюмджян,
канд. геол.-мин. н. В. В. Товмасын,
канд. геол. н. Гайк П. Алоян (ответственный секретарь).

Responsible editor of series
USSR and RA State Prizes Winner, doctor of geological sciences
academician of the Engineering Academy of Armenia
P. G. Aloyan

Editorial board of volume:
doctor of geol. s. (editor-in-chief) P. G. Aloyan,
doctor of geol.-mineral. s. H. H. Sarkisyan,
doctor of tech. s. V. R. Israelyan, Ph. of geol.-mineral. s. H. P.
Ghuyumjyan, Ph. of geol.-mineral. s. V. V. Tovmasyan,
Ph. of geol. s. Hayk P. Aloyan (responsible secretary).

ВВЕДЕНИЕ

В рудничной геологии широко используются понятия “рудные” или “металлические” и “нерудные” или “неметаллические” формации, с целью изначального определения конкретной отраслевой (промышленной) пригодности комплекса металлов (меднорудные, золоторудные и т.д.) или горных пород (угленосные, соленосные и др.). На современном этапе аналитических и технологических возможностей в определенной степени это разделение геологических формаций носит условный характер, так как установлена промышленная металлоносность многих видов нерудного сырья. Так, традиционное энергетическое сырье – угленосные (черносланцевые, углесланцевые, углеродистые) комплексы – в настоящее время являются одновременно важнейшим сырьем для производства благородных и редких металлов, а также радиоактивных элементов, что дает основание классифицировать их как комплексное **рудно-топливное сырье**. То же относится к продуктам новейшего вулканизма – туфам, шлакам, пескам, обсидианам, перлитам, широко используемым в строительстве. Исследованиями доказано, что при комплексном подходе продукты новейшего вулканизма ($Ma=1-0,5$) можно использовать как сырье для получения черных, редких и благородных металлов, тем самым переоценивая их в **рудно-строительное сырье**.

Веками в качестве силикатного сырья, в особенности для стекольной промышленности, являлись различные фации кварцитов и кварцевые пески. В настоящее время установлено, что покровы вторичных кварцитов являются перспективным сырьем на оруденение Au (Ag)-U-Cu и других полезных компонентов, тем самым классифицируясь как **рудно-силикатное сырье**. Интересные данные получены по гидроминеральному сырью и соленосным отложениям, которые рассматриваются как перспективное **рудно-**

гидроминеральное сырье на редкие щелочные металлы – Li, Се, Rb.

Все вышеизложенное открывает новые возможности для целенаправленных поисков полезных ископаемых, требует совершенствования аналитических и технологических исследований для разработки комплексных программ и схем переработки по многоцелевому использованию минерально-сырьевых ресурсов. С другой стороны, этот подход приведет к развитию новых отраслей науки и производства, направленных на эффективное использование сырья и охрану недр.

Ресурсный потенциал рудного сырья Армении, с учетом новейших достижений науки и технологий, пока не рассмотрен. В настоящем издании делается одна из первых попыток, по мере возможности и с учетом уже полученных нами данных, обобщить результаты наших исследований и наметить перспективы по их производственной реализации. Нет сомнения, что мы не претендуем на всестороннее и окончательное рассмотрение всех затронутых вопросов по переводу нерудного сырья в категорию рудного. Однако сам факт такого обобщения может послужить основой для широкого и углубленного развития целенаправленных исследований по коренной переоценке перспектив рудного потенциала Армении, который может стать конкурентноспособным газо-нефтяным проектам Кавказского и Ближневосточного регионов и вывести нашу республику в ряд ведущих стран мира по сырьевым ресурсам.

В настоящем издании ресурсный потенциал меди и молибдена, а также железа нами не рассматриваются, т.к., **во-первых**, медно-молибденовая отрасль обеспечена запасами в долгосрочной перспективе; **во-вторых**, разведанные железорудные месторождения пока не эксплуатируются и перспективы создания черной металлургии в Армении не совсем ясны, хотя сырьевой потенциал более чем надежный, достоверный и технологически подготовлен, и, наконец, **в-третьих**, состояние и перспективы расширения минерально-сырьевой базы медно-молибденовой промышленности и черной металлургии нами неоднократно рассматривались в многочисленных публикациях за последние годы.

Глава I. ЗОЛОТОНОСНОСТЬ

Мировая золоторудная промышленность развивается быстрыми темпами, и за последние годы уровень годовой добычи золота превзошел 2500т. При этом доля комплексных месторождений золота составила 30%, хотя доля собственно золоторудных и комплексных золотосодержащих месторождений в вековом разрезе приблизительно одинакова. Перспективы развития добычи золота в мире в основном связывают с комплексными рудами.

В современной добыче золота примерно 8-10% приходится на месторождения черносланцевой формации, которые по суммарным запасам золота уступают лишь месторождениям Витватерсранда (20% от общей добычи).

В России уровень годовой добычи золота превзошел 170т. Этот рост добычи обусловлен увеличением объемов разработки коренного (а не традиционно россыпного) золота, преимущественно из собственно золоторудных месторождений. Доля попутного золота из колчеданных полиметаллических и сульфидных медно-никелевых месторождений составляет более 12%. В России также перспективы развития добычи золота связываются с коренными месторождениями, в значительной части – с комплексными, что соответствует мировой тенденции. Вполне понятно, что это связано с развитием технологического процесса и экономикой горно-металлургического производства.

Мировая тенденция направлена на обнаружение золотоносных меднопорфировых месторождений и золотоносных конгломератов. Причем в меднопорфировых системах особый интерес представляет золотоносный покров вторичных кварцитов (алунит-кварцевые фации), который классифицируется как высокосульфидное эпитермальное месторождение, годовая добыча золота из которых превышает 370т.

Прогнозные ресурсы золота в мире в настоящее время оцениваются в 200 тыс. т.

Мировой рынок золота. Фундаментальным фактором, существенно повлиявшим на стоимость золота, стал сложившийся в 2007г. дефицит металла на мировом рынке, который по оценкам исследовательского центра World Gold Council составил 182т. (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Производство и потребление золота в мире в 2003-2007 годах^{*)}

Показатели/год	2003	2004	2005	2006	2007
<i>Предложение золота</i>	<i>тонна</i>				
Первичное производство	2593	2469	2520	2467	2530
Прочие предложения ^{**)}	1554	891	1390	1090	966
<i>Всего предложение</i>	4147	3360	3910	3557	3496
<i>Спрос на золото</i>					
Промышленное потребление	2916	3022	3133	2725	3050
Прочее потребление ^{***)}	304	473	593	661	628
Всего спрос	3220	3495	3726	3386	3678
Баланс рынка	927	-135	184	171	-182

^{*)} по данным World Gold Council

^{**)} продажи из госзапасов+вторсырье+запасы производителей

^{***)} инвестиции+госзапасы

Объем первичного производства золота в 2007г. составил 2530т, что на 63т больше, чем в 2006г. Общее предложение золота на рынке составило 3496т, что на 61т меньше показателя 2006г. Объем предложения золота на мировом рынке формируется, кроме первичного производства, с учетом продаж из государственных резервов, запасов производителей, а также объема производства вторичного золота.

В 2007г. Китай стал главным мировым производителем золота и отобрал первенство у Южно-Африканской республики. Производство золота в КНР увеличилось по сравнению с 2006г. на 12% и достигло рекордной величины – 272т. Объем производства золота в США составил 250т.

Спрос на золото в мире в 2007г. вырос на 8,6% и составил 3678т. В 2009г. цены на золото превысили 930 долл./унц. Причины роста цен те же, что и в предыдущие годы – мировой финансовый кризис, замедление темпов роста мировой экономики, ослабление

доллара, опасность инфляции и поиски надежного убежища от нестабильности на финансовых рынках. Однако центральные банки ведущих стран мира продают металл на рынке, и растущие котировки металла могут вызвать рост его производства, что может смягчить скачки цен. В 2006г. золото подорожало на 30%, продемонстрировав самый большой рост за последние 30 лет, что стимулировало его производителей активизироваться в области добычи. В это время началось освоение новых проектов в ЮАР и в Китае. Благодаря увеличению объемов добычи металла в Австралии, Китае, США и ЮАР на 3%, объем первичного производства металла в 2008г. составил более 2600т, при объемах потребления в пределах 3200т.

Следует учесть, что объемы производства золота в Армении также возрастут почти на 25% в связи с промышленным освоением Амулсарского месторождения золота.

В настоящее время в общих запасах золота Армении, числящихся на госбалансе, доля собственных золоторудных месторождений составляет более 48%, в том числе доля золотополиметаллических – 25,6%, а доля комплексных золотосодержащих месторождений – 26%. В последней группе месторождений доля медно-молибденовой формации составляет 96,74%, т.е. 25,8% от общих запасов; меднорудных – 1,8%, а свинцово-цинковых – 1,4%.

Из собственно золоторудных месторождений эксплуатируются Соткское, Меградзорское, Гандзутское, законсервированы временно Тертерасарское, Мгартское, подготавливается к промышленному освоению вновь открытое Амулсарское высокосульфидное эпитемальное месторождение.

Из золотополиметаллических месторождений эксплуатируются Шаумянское, Арманисское, Тухманукское, временно законсервировано Личквас-Тейское, готовится к промышленному освоению Азатекское месторождение.

Из комплексных золотосодержащих месторождений эксплуатируются медно-молибденовые Каджаранское и Агаракское, законсервировано Дастакертское, готовится к промышленному освоению Техутское месторождение. Из медных месторождений эксплуатируются Капанское и Шамлугское, законсервировано

Алавердское; из свинцово-цинковых эксплуатируется Ахтальское месторождение.

Годовая добычка золота в Армении составляет 3-4т.

Сейчас существуют множество генетических моделей формирования золоторудных концентраций. Наибольший интерес представляют те модели, в которых рассматриваются соотношения меднопорфировых и эпитермальных месторождений, т.к. в этих моделях, как показали наши исследования, роль инфильтрационных процессов в формировании золоторудных концентраций слишком велика и поэтому они нами классифицируются как эпитермально-инфильтрационные. С другой стороны эти модели характерны тем, что свидетельствуют о многоэтажной рудоносности порфировой системы – меднопорфировое ядро сульфидных руд (Cu, Mo, Au) – золото-уран-меденосный покров вторичных кварцитов. При этом в “покровах” отчетливо оконтуриваются зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения.

Золоторудная промышленность Армении в долгосрочной перспективе обеспечена надежной базой за счет освоения традиционного золотосодержащего сырья месторождений золоторудной, полиметаллической и медно-молибденовой формаций. Наши новейшие исследования показывают, что в ближайшей перспективе возможно значительное увеличение ресурсов золота, а также не числящихся на госбалансе республики платиноидов, в связи с установлением золото-платиноносности терригенно-карбонатно-туфогенно-угленосных отложений, вмещающих угли и горючие сланцы – по аналогии с черносланцевыми геотипами мира, золотоносных вторичных кварцитов меднопорфировых систем, а также золотоносных конгломератов и конглобрекций. Уникальным сырьем золоторудной промышленности в далекой перспективе могут стать новейшие вулканические золотоносные титано-магнетитовые пемзовые пески, шлаки, туфы, перлиты и др. массива г.Арагац и других регионов, не имеющих пока аналогов-геотипов в мире.

С учетом результатов наших исследований, промышленными типами золоторудных и золотосодержащих месторождений Армении являются:

1. Собственно золоторудные;
2. Золотополиметаллические.
3. Комплексные золотосодержащие:
 - 3.1 – медно-молибденовые (меднопорфировые);
 - 3.2 – меднорудные;
 - 3.3 – свинцово-цинковые.
4. Золотосодержащие углесланцевые комплексы.
5. Золотосодержащие продукты новейшего вулканизма.
6. Золотоносные вторичные кварциты (высокосульфидные эпitherмально-инфильтрационные месторождения).
7. Золотоносные конгломераты и конглобрекчии.
8. Золотоносные россыпи.

По первым трем промышленным типам запасы подсчитаны и числятся на госбалансе. Следующие четыре типа – углесланцевые комплексы, продукты новейшего вулканизма, вторичные кварциты, конгломераты и конглобрекчии – выделяются нами впервые, причем золотоносные продукты новейшего вулканизма, как промышленные типы, рассматриваются впервые в геологической литературе. Прогнозные ресурсы этих типов превышают утвержденные запасы в несколько раз, в результате чего Армения может занять одно из ведущих мест среди крупнейших золоторудных (платиносодержащих) провинций мира.

Россыпное золото в Армении известно давно и разрабатывалось довольно интенсивно. Эти ресурсы не велики и не утверждены. Относительно большие золотоносные россыпи известны в районе Соткского золоторудного месторождения с прогнозными ресурсами по трем участкам (бассейны рр.Сотк, Тигранакерт и Шахули) около 0,5-0,8т, при среднем содержании золота 0,7-1г/м³. Небольшие ресурсы россыпного золота известны в пределах бассейнов рр. Мармарик, Актев, Шамлуг, Гарпи, Памбак и др. Значительная часть этих россыпей в древности разрабатывалась. Наиболее детальные сведения о золотоносных россыпях приводятся в работах И.Г. Магакьяна, Ю.А. Арапова, Н.Я. Малахова, Ш.О. Амиряна, Э.М. Мадатяна, Ф.Г.Шамцяна, Р.О. Марутяна и других исследователей. Общие прогнозные ресурсы россыпного золота Армении оцениваются в 1-1,5т.

Золотоносные россыпи нами не рассматриваются. Нам представляется, что освоение этих ресурсов является прерогативой старателей. Необходимо отметить, что следует иметь в виду также богатые **погребенные россыпи**, которые в настоящее время пока не могут быть предметом промышленного интереса. Однако в пределах некоторых рудных полей их наличие в большом количестве допускается. Например, предполагается, что значительная часть рудного материала вновь открытого Амулсарского месторождения золота потеряна при эрозии и расположена под мощным покровом новейших отложений. Это проблема будущего.

1.1. Золотоносность рудных формаций Армении

Армения является древнейшим центром горнорудной промышленности. Об этом свидетельствуют богатые археологические находки золотых, серебряных, медных и железных изделий, сохранившиеся фрагменты плавильных печей, элементы литейного производства, металлургические шлаки, каменные орудия труда и др. Следы древнейших разработок – система древних выработок, каменные рудотерки и ступы, окаменелые фрагменты деревянной крепи и лестниц, светильники и др. – обнаружены почти во всех разведанных золоторудных месторождениях. Золото Армении имеет древнюю историю (VI-V тысячелетие до н.э.). Наилучшим подтверждением историко-археологических данных является сенсационное научное открытие гениального Вилена Сафаряна, который на огромном фактическом материале достоверно доказал армянское прочтение так называемых “шумерских” надписей (Сафарян, 2003).

В настоящее время создана надежная сырьевая база для долгосрочного развития золоторудной промышленности республики. Разведано и опойсковано более 40 месторождений. Разведанные и предварительно оцененные запасы золота подсчитаны по 21 месторождению, которые находятся в эксплуатации или подготовлены к промышленному освоению, с общими запасами золота 399т. По золоторудным месторождениям запасы золота составляют 295,5т (74%) (табл. 1.2). Из них собственно золоторудных – 12 месторождений (золоторудные и золотополиметаллические подформации) и 9 – комплексных золотосодержащих месторождений цветных металлов (медно-молибденовые, меднорудные и полиметаллические). Разведанные запасы золота (категория С₁) составляют

Таблица 1.2

**Разведанные и предварительно оцененные запасы золота на
эксплуатируемых и разведанных месторождениях
Армении на 01.01.2009г.**

руда
металл

N/N	Месторождение	Формация, тип	Процентное соотношение запасов, %	
			по типу	от общих
1	2	3	4	5
1	Сотк	Собственно золоторудные месторождения	<u>47,16</u>	
			84,92	
2	Меградзор		<u>0,77</u>	
			2,46	
3	Тертерасар		<u>0,33</u>	
			0,98	
4	Мгарт	<u>0,48</u>		
		1,07		
5	Тандзут	<u>0,71</u>		
		0,23		
6	Амулсар (разведанное)	<u>50,56</u>		
		10,35		
Итого				<u>1,97</u> 48,43
7	Шаумян	Золотополиметалли- ческие месторождения	<u>34,73</u>	
			34,06	
8	Личкваз-Тей		<u>7,41</u>	
			17,47	
9	Арманис		<u>35,87</u>	
			12,07	
10	Тухманук	<u>3,05</u>		
		7,78		
11	Азатек	<u>16,70</u>		
		17,13		
12	Барцрадир (разведанное)	<u>2,25</u>		
		9,45		
Итого				<u>1,60</u> 25,56
Комплексные золотосодержащие месторождения				
13	Каджаран	медно- молибденовые	<u>90,9</u>	
			58,72	
14	Агарак	<u>6,91</u>		
		3,31		

1	2	3	4	5
15	Личк	медно-молибденовые	<u>1,09</u>	
			1,47	
16	Техут		<u>0,2</u>	
			4,8	
17	Анкаван		<u>0,91</u>	
			31,74	
Всего				<u>96,04</u> 25,16
18	Капан	меднорудные	<u>66,92</u>	
			27,09	
19	Алаверди		<u>13,23</u>	
			7,39	
20	Шамлуг		<u>19,9</u>	
			65,5	
Всего				<u>0,35</u> 0,47
21	Ахтала	свинцово-цинковое		<u>0,04</u>
				0,37
Итого				<u>96,43</u> 26,01

192т, из которых на долю золоторудных и золотополиметаллических месторождений приходится 98,5% (189,2т), а из предварительно оцененных запасов (категория С₂) – 59,8 % (102,8т).

Прогнозные ресурсы по 20-ти дополнительным золоторудным и комплексным золотосодержащим месторождениям цветных металлов составляют 170т золота (около 57,5 % от разведанных и предварительно оцененных). Доля золоторудных месторождений в прогнозных ресурсах более 75% по золоту. Общие запасы (разведанные+предварительно оцененные+прогнозные ресурсы) золота составляют более 550,8т. По данным ФГУНПП «Аэрогеология», общие запасы золота (подтвержденные + прогнозные) в странах СНГ составляют около 26976т (в т.ч. подтвержденные 46,2% или 12470т), а мировые – 89040т (в т.ч. подтвержденные 57,1% или 50840т) (Лешков и др., 2000). Здесь же приводятся для Армении цифры: подтвержденные – 220т и общие – 314т. Фактически доля общих запасов золота Армении в запасах СНГ составляет 2,04%, а

в мировых – 0,62%. По общим запасам золота Армения занимает в настоящее время пятое место после России, Узбекистана, Казахстана и Кыргызстана. Руды комплексных золотосодержащих месторождений цветных металлов перерабатываются на Зангезурском (Каджаран) и Агаракском (Агарак) медно-молибденовых, Капанском (Капан, Шаумян) и Ахтальском (Ахтала, Шамлуг) обогатительных комбинатах и фабриках. В настоящее время ММК является акционерным обществом: 75% акций принадлежат немецкой фирме “Chronimet Mining”, 15% – заводу ОАО “Чистое железо”, 12,5 – ООО “Armenian Molibdenum Production” (AMP) и 12,5 – ООО “Zangezur Mining”.

Акции Агаракского ММК, полностью принадлежавшие американской компании “Compus Commodities”, проданы российской финансово-промышленной группе “Промышленные инвесторы”.

Капанская фабрика с Капанским и Шаумянским рудниками принадлежит фирме ОАО “Dundee Precious Metals” (80% акций) и “Deno Gold Mining Company” (20% акций), а Ахтальская обогатительная фабрика с рудниками Ахтала, Шамлуг и Арманис – фирме “Metal Prince”. Из комплексных золотосодержащих месторождений цветных металлов наиболее крупным является гигант – Каджаран, где сосредоточены более 59т золота, т.е. более 56,8% запасов золота из комплексных и около 14,8% от предварительно оцененных и разведанных запасов золота. На Каджаранском месторождении сосредоточено в 1,3 раза больше серебра, чем во всех разведанных золоторудных месторождениях вместе взятых.

В настоящее время золоторудные месторождения Армении эксплуатируются и доразведуются 9-ю предприятиями. Лицензировано более 97% запасов золоторудных месторождений (табл. 1.3). Самым крупным является канадская компания Sterlite Group (AGRC), которая 82,4% акций на эксплуатацию Соткского (Зодского) и Меградзорского месторождений (где сосредоточено более 41% общих запасов золота Армении и более 55,5% запасов золоторудных месторождений) продала компании GeoPro Mining, входящую в компанию “Промышленные инвесторы”. Этой группе принадлежит грузинский ГОК Маднеули. Компания производит в

Список предприятий, получивших лицензию на доразведку и эксплуатацию золоторудных месторождений Армении

№/№ п.п.	Предприятие	Месторождение	Доля запасов золота в запасах золоторудных м-ний, %	Базовая перерабатывающая фабрика
1	GeoPro Mining Промышленные инвесторы	Меградзор Сотк (Зод) Агарак ММК	59,3	Арагатская золотоизвлекательная ф-ка (АрЗИФ) Агаракский ММК
2	Deno Gold Mining (20%), ОАО Dundee Precious Metals (80%)	Капан Шаумян	12,63	Капанская ОФ
3	Алроса (80%) Инвестресурс (20%)	Азатек	5,56	-
4	Iberian Resources	Личкваз-Тей Тертерасар	6,9	Айгедзорская ЗИФ
5	Metal Prince	Арманис Ахтала (полиметаллическое) Шамлуг (медное)	5,0	Ахтальская ОФ
6	Mega Gold	Тухманук	3,56	Гравиустановка на м-нии
7	Multi Group	Мгарт	2,83	Гравиустановка
8	Армянский медный проект (АСР)	Марц Тандзут	1,46	Алавердский медеплавильный комплекс
9	Ассат	Гладзор Какавасар	Запасы прогнозные (менее 1 %)	Опытная база (г.Масис)
Всего лицензировано на разведку и эксплуатацию			97,26 %	

год около 3т золота. Кроме руд кореных месторождений, компания перерабатывает также лежалые хвосты Арагатской золотоизвлекательной фабрики, содержащие около 1г/т золота. Из общего объема

хвостов в 12 млн.т. уже переработано более половины. Извлечение порядка 50%. Технологическая схема фабрики предусматривает прямое цианирование руд и хвостов с получением металла Доре. Намечается строительство аффинажного производства.

Общество с ограниченной ответственностью “Сипан-1” эксплуатировало Личквас-Тейское и Тертерасарское месторождения с получением гравитационных и флотационных концентратов. Годовая производительность в пределах 150 тыс. т. руды. Основным потребителем концентратов были швейцарская фирма Glencore International AG, ACP, а также фирма Deno Gold Mining. В настоящее время Личквас-Тейское и Тертерасарское месторождения с Айгедзорской ЗИФ принадлежат фирме Iberian Resources, которая производит доразведку месторождений и реконструкцию фабрики и хвостохранилища. Остальные фирмы пока не набрали проектные мощности.

Мгартское золоторудное месторождение с перерывами (частично) эксплуатируется концерном “Multi Group”. В настоящее время товарным продуктом рудника является золотосодержащий гравитационный концентрат.

Повышение комплексного использования минерально-сырьевой базы и продуктов технологического передела – это очень сложная и многогранная проблема. Она обусловлена геолого-формационной принадлежностью месторождения, аналитико-технологической изученностью руд и продуктов их передела, а также народнохозяйственной (конъюнктурно-отраслевой) целесообразностью, т.е. эта проблема является формационно-технологической и экономической. Конъюктурно-отраслевые подходы к сырьевым ресурсам особенно сильно отразились на месторождениях с золото-полиметаллическими промышленными типами руд в связи с наличием свободных мощностей на Араратской золотоизвлекательной фабрике, действующей с 1976г. Разведываемые золотополиметаллические руды в советское время принудительно переоценивались как золоторудные в соответствии с налаженной технологической схемой АрЗИФ, при этом терялось безвозвратно большое количество промышленно ценных попутных (а порой и не только попутных) полезных компонентов. Так, с баланса Азатекского зо-

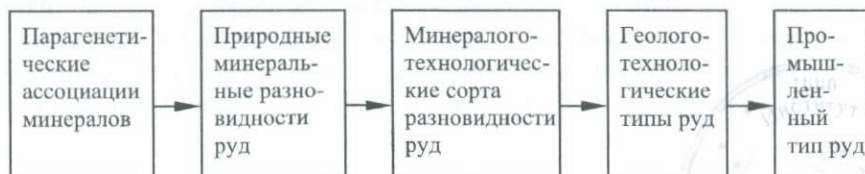
лото-свинцово-сурьмяного месторождения были списаны сотни тысяч тонн сурьмы, мышьяка, свинца и других компонентов с общей извлекаемой ценностью около 100 млн.долларов США. Та же участь постигла Личквас-Тейское, Меградзорское, Тертерасарское и другие месторождения золота. С их баланса списаны значительные запасы меди, свинца, цинка и редких элементов, что резко снизило потенциальную ценность руд. Если проблема комплексного использования многокомпонентного сырья в советское время не волновала госпредприятия по конъюнктурным соображениям, то в настоящее время она не волнует частные компании по меркантильным соображениям.

Конъюнктурный подход привел к значительному снижению степени промышленного освоения золоторудных месторождений, т.к. в большинстве случаев промышленная типизация руд не была еще проведена и вместо геолого-технологических типов руд по валовым пробам выделялся единый технологический тип с учетом конъюнктуры того или иного металла, а не ценности и номенклатуры промышленно ценных компонентов. Степень промышленного освоения золотосодержащих запасов должна была быть довольно высокая за счет Соткского и Каджаранского месторождений, на которых сосредоточено 60% всех разведанных (C_1+C_2) запасов золота и 57% серебра. Однако сопоставление результатов детальной разведки и разработки Соткского месторождения с анализом технико-экономических показателей за 10-летний период показало, что имеет место резкое снижение степени использования (освоения) запасов месторождения. По шести эксплуатационным блокам подземной добычи по рудным телам 4 и 39, доля которых по руде составляет 64% и по запасам металла – 57,2%, дополнительные эксплуатационные потери составили по руде 60,3%, по золоту – 71,1%. Разубоживание руды при плане 7,8% составило 27,3%, а потери металла при плане 4,7% составили 11%. По 16 рудным телам в пределах контура месторождения установлено неподтверждение площадей (28,2%) и мощностей (51,6%) рудных тел в основном по предварительно оцененным запасам, т.к. они были вовлечены в добычу без доразведки. Разубоживание руды при плане 11,8% составило 20,1%, а потери металла при плане 5% составили

8,3%. Неучтенные потери золота по карьере и подземному руднику составили десятки миллионов долларов США, а степень освоения запасов составила менее 40%. Аналогичная картина наблюдается и на Меградзорском месторождении. По данным Меградзорского рудника за 1985-1998 г.г. по рудным телам 1, 2, 5 и Слепого добыто 312 тыс.т. руды со средним содержанием золота 5,89г/т и погашено 225 тыс.т руды со средним содержанием золота 8,81г/т. Фактически (по данным ТЭО-2001), за тот же период погашено 310,7 тыс.т руды со средним содержанием золота 21,5г/т. Коэффициент сопоставления погашенных запасов составляет в среднем 0,41. За 6 месяцев 2001г на Меградзорском руднике из 2-го и Слепого рудных тел добыто 23,9 тыс.т руды со средним содержанием золота 2,53г/т при разубоживании 42,3 %. За тот же период погашено 14,2 тыс.т. руды со средним содержанием золота 4,39г/т, при потерях руды в количестве 439т и золота – 1,9т. По данным геологоразведки, запасы руды составляли 113,2тыс.т при среднем содержании золота 12,71г/т. (Алоян и др., 2002).

5693
Для полной ликвидации последствий конъюнктурно-отраслевого подхода к многокомпонентным сырьевым ресурсам и необоснованной чистки госбаланса правительство РА (№ 80 от 9.02.1998) разработало комплексную программу по коренной переоценке эксплуатируемых и подготовляемых к промышленному освоению месторождений, в т.ч. и золота. На этой основе нами проводилось геолого-технологическое картирование с целью типизации руд и подсчета запасов по геолого-технологическим типам руд (Алоян, 2001).

Промышленная типизация руд месторождений золоторудной формации нами проведена с учетом формационно-генетических особенностей, технологических показателей типов руд и номенклатуры полезных компонентов как в подсчитанных запасах, так и промышленно извлекаемых (Алоян, 2001). Типизация руд проведена по следующему формационно-технологическому ряду:



Парагенетические ассоциации минералов не имеют конкретной геологической привязки, не оконтурены пространственно на разрезах рудных тел или погоризонтных планах и потому, вполне естественно, они не являются представительными по месторождению (участку, рудному телу) и не могут быть тестированы технологически и экономически с выходом на номенклатуру товарной продукции и экономику горнорудного предприятия. Этим парагенетическая ассоциация минералов отличается от природной минеральной разновидности руд – **базового звена** геолого-технологической и промышленной типизации руд. Промышленная типизация руд представляет собой экономически обоснованную целесообразность селективной добычи различных геолого-технологических типов руд или предусматривает переработку многосортных (различных типов) руд в композитной шихте с учетом их количественного соотношения при заданных технологических показателях. Промышленный тип руд – это экономическая категория и потому имеет временный характер, а геолого-технологический тип – это формационно-техногенная категория и в принципе категория постоянная, и потому подсчет запасов рекомендуется проводить по геолого-технологическим типам руд. Типы руд подразделяются на 2 категории: сульфидные и окисленные. Смешанные руды рассматриваются в качестве технологических сортов окисленных руд (табл. 1.4).

На долю золоторудного типа руд приходится 65,6% запасов золота, а на долю золотополиметаллического типа – около 30 %.

Золоторудные месторождения парагенетически связаны с комплексом вулcano-плутонических образований мезокайнозойского возраста. Оруденение контролируется антиклинальными складками и системой разрывных нарушений в зонах региональных (глубинных) разломов. Рудные тела представлены крутопадающими жилами, жильными зонами и обогащенными участками (рудными столбами) с прожилково-вкрапленным оруденением. Промышленные концентрации золота связаны с более поздними дифференциатами магматического очага, в основном с внедрением малых интрузий. Золото наложено на медное, медно-молибденовое и полиметаллическое оруденение и проявляется во всех промышленных

Промышленная типизация руд месторождений золотополиметаллической формации Армении

Месторождения	Минеральные (природные) разновидности руд	Минералого-технологические разновидности руд	Геолого-технологический тип руд	Промышленный тип руд	Оптимальная схема переработки руд Товарная продукция
1	2	3	4	5	6
1. Шаумянское	А. Халькопирит-сфалерит-галенитовая Б. Халькопирит-сфалеритовая	Золотополиметаллическая (А+Б)	Сульфидный золотополиметаллический (А+Б)	Сульфидный золотополиметаллический (А+Б)	Коллективно-селективная флотация Концентраты: медный, свинцовый, цинковый
2. Арманисское	А. Халькопирит-сфалерит-галенитовая Б. Халькопиритовая	1. Золотополиметаллическая (А) 2. Медно-золоторудная (Б)	1. Сульфидный золотополиметаллический (А) 2. Сульфидный медно-золоторудный (Б)	Сульфидный золотополиметаллический (А+Б)	Коллективно-селективная флотация Концентраты: медный, свинцовый, цинковый
3. Марцигетское	А. Халькопиритовая Б. Халькопирит-сфалеритовая В. Сфалерит-галенитовая Г. Сфалеритовая Д. Пиритовая Е. Лимонит-малахит-купритовая Ж. Лимонит-церуссит-англезит-смитсонитовая	1. Медно-золоторудная (А) 2. Золотополиметаллическая (Б+В+Г+Д) 3. Окисленная лимонит-малахит-купритовая (Е) 4. Окисленная лимонит-церуссит-англезит-смитсонитовая (Ж). Технология переработки пока не разработана	1. Сульфидный медно-золоторудный (А) 2. Сульфидный золотополиметаллический (Б+В+Г+Д) 3. Окисленный лимонит-малахит-купритовый (Е)	1. Сульфидный медно-золоторудный (А) 2. Сульфидный золотополиметаллический (Б+В+Г+Д)	Гравитация+флотация; Коллективно-селективная флотация Концентраты: гравитационный, коллективно-флотационный, медный, свинцовый, цинковый

1	2	3	4	5	6
3. Маршигетское				3. Окисленный лимонит-малахит-купритовый (Е) I-ый технологический сорт - смешанные руды. Степень окисления 15-20%	Шихта с сульфидными рудами с обеспечением среднего содержания основного компонента в товарной руде
				II-ой технологический сорт. Степень окисления более 20%	Шихта с сульфидными 1:5 и более с обеспечением основных технологических показателей
4. Меграздорское	А. Халькопирит-сфалерит-галенитовая Б. Пиритовая	1. Золотополиметаллическая (А) 2. Золотоколчеданная (Б)	Сульфидный золоторудный (А+Б)	Сульфидный золоторудный (А+Б)	Гравитация+флотация Концентраты: гравитационный, коллективно-флотационный
5. Азатекское	А. Халькопирит-сфалерит-галенитовая Б. Пиритовая В. Пирит-арсенопиритовая В1. Пирит-арсенопиритовая с сфалеритом, галенитом и халькопиритом Г. Антимонит-сульфоантимонитовая	1. Золотополиметаллическая (А+В1) 2. Золотоколчеданная (Б+В) 3. Золото-свинцово-сурьмяная (Г)	1. Сульфидный золоторудный (А+Б+В+В1) 2. Сульфидный золото-свинцово-сурьмяной (Г)	1. Сульфидный золото-рудный (А+Б+В+В1)	Гравитация+флотация Концентраты: гравитационный, коллективно-флотационный (с последующей переработкой для доизвлечения мышьяка)
				2. Сульфидный золото-свинцово-сурьмяной (Г)	Гравитация+флотация Концентраты: коллективный свинцово-сурьмяной (с последующей гидрометаллургической переработкой)

1	2	3	4	5	6
6.Марджанское	А.Сфалерит-галенитовая Б.Пиритовая	Золотополиметаллическая (А+Б)	Сульфидный золотополиметаллический (А+Б)	Сульфидный золотополиметаллический (А+Б)	Гравитация+флотация Концентраты: гравитационный, коллективно-флотационный с дальнейшей селекцией (на свинцовый и цинковые концентраты) и последующей гидрометаллургической переработкой концентратов для извлечения сурьмы и мышьяка
7.Личквз-Тейское	А.Халькопирит-сфалерит-галенитовая Б.Пиритовая В.Пирит-арсенипиритовая	1.Золотополиметаллическая (А+Б) 2.Золотомышьяковистая (В)	Сульфидный золотополиметаллический (А+Б+В)	Сульфидный золотополиметаллический (А+Б+В)	Гравитация+флотация Концентраты: гравитационный, коллективно-флотационный (с последующей селекцией), медный, свинцовый, цинковый
8.Тергерасарское	А.Халькопиритовая с галенит-сфалеритом Б.Пирит-арсенипиритовая В.Магнетит-гематитовая Г.Лимонит-церуссит-плюмбоарозит-скородитовая	1.Золотополиметаллическая (А+В) 2.Золотомышьяковистая (Б) 3.Окисленная лимонит-церуссит-плюмбоарозит-скородитовая (Г)	1.Сульфидный золоторудный (А+Б+В) 2.Окисленный лимонит-церуссит-плюмбоарозит-скородитовый (Г)	1.Сульфидный золоторудный (А+Б+В) 2. Окисленный лимонит-церуссит-плюмбоарозит-скородитовый (Г) I-ый технологический сорт. Степень окисления 25-30% II-ой технологический сорт. Степень окисления более 30%	Гравитация+флотация Концентраты: гравитационный, коллективно-флотационный Не шихтовать с сульфидными рудами Селективная переработка по схеме гравитация + флотация Гравитация+флотация + цианирование хвостов флотации. Катодный осадок золота.

1	2	3	4	5	6
9.Сотское	А.Пиритовая в метасоматитах Б.Пирит-арсенопиритовая в метасоматитах В.Антимонитовая в метасоматитах Г.Реальгар-аурипигментовая в метасоматитах Д.Пирит-галенит-сфалеритовая в кварц-порфириновых дайках Е.Пиритовая в габбро Ж.Халькопирит-сфалерит-галенитовая в габбро З.Лимонит-гетитовая	1.Золотоколчеданная (А+Е) 2.Золотополиметаллическая (Д+Ж) 3.Золотомышьяковистая с арсенопиритом (Б) 4.Золотомышьяковистая с реальгар-аурипигментом (Г) 5.Золотосурьмяная (В) 6.Окисленная лимонит-гетитовая (З)	1.Сульфидный золотополиметаллический (А+Д+Е+Ж) 2.Сульфидный золотомышьяковистый (Б+Г) 3.Сульфидный золотосурьмяной (В) 4.Окисленный лимонит-гетитовый (З)	1.Сульфидный золоторудный (А+Б+В+Г+Д+Е+Ж) 2.Окисленный лимонит-гетитовый (З)	Гравитация+флотация Для окисленных руд + цианирование хвостов флотации Концентраты: гравитационный, коллективно-флотационный Катодный осадок золота

рудных формациях, являясь сквозным благородным металлом. Оно наложено даже на низкотемпературное реальгар-аурипигментовое оруденение, замыкающее стадию рудоотложения. Рудовмещающими породами являются андезиты, андезито-дациты, кварцевые порфиры, их туфы и туфобрекчии, габбро, монцониты, гранодиориты, метасоматиты. Гидротермальное изменение представлено окварцеванием, серицитизацией, хлоритизацией, эпидотизацией, каолинизацией, биотитизацией, лиственитизацией, оталькованием. На золотополиметаллических месторождениях установлена многостадийность рудообразования с элементами вертикальной и горизонтальной зональности. На верхних горизонтах преимущественно развиты низкотемпературные золототеллуридовые и реальгар-аурипигментовые, а на нижних горизонтах – золотополиметаллические и золотоарсенопиритовые руды. Минеральный состав руд сложный. Он представлен пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, антимонитом, сульфоантимонитом, теллуридами, реальгаром, аурипигментом, вторичными сульфидами меди, блеклыми рудами и др. Эти месторождения формируются при средне-низких температурах на малых глубинах. Зона окисления имеет значительное распространение и представлена лимонитом, малахитом, купритом, скородитом, гетитом. Золото находится в рудах в самородной форме, с сульфидами и в виде теллуридов. Кроме золота и серебра, промышленную ценность представляют медь, свинец, цинк, мышьяк, галлий, индий, кадмий, селен, теллур. Схема переработки руд многостадийная; технологические показатели сравнительно низкие в связи со сложным составом товарной руды. Характерным для большинства месторождений является наличие первичного золотосодержащего гематита, который в ряде случаев образует большие скопления и четко обособляется в пространстве (Марц, Тертерасар). Одной из отличительных черт золотополиметаллических руд является наличие в них обособленных участков со значительными концентрациями мышьяка и сурьмы. Мышьяк представлен золотосодержащим арсенопиритом, который является одним из основных носителей золота и в тесной ассоциации с пиритом образует пирит-арсенопиритовую минеральную разновидность (Азатек, Личквас-Тей, Сотк, Тертерасар). На Соткском месторождении но-

сителем сурьмы является в основном антимонит (антимонитовая разновидность), а носителями мышьяка, кроме арсенопирита, являются реальгар и аурипигмент. Последние образуют вторую мышьяковистую разновидность. Богатые сурьмой руды особенно выделяются на Азатекском месторождении, где они представлены антимонитом и сульфоантимонитом свинца. Ввиду особого технологического поведения мышьяк- и сурьмасодержащих руд, на некоторых месторождениях выделяются золотомышьяковистый и золото-свинцово-сурьмяной типы руд (Азатек, Сотк).

Товарными продуктами подотрасли являются гравитационный, коллективно-флотационный, медный, свинцовый и цинковый концентраты, а также катодное золото и сплав Доре. Проба золота на разных месторождениях разная и варьирует в пределах 700-960. Сравнительно высокие пробы золота в сульфидах, а низкие – в теллуридах.

Нет сомнения, что перспективы золоторудной промышленности Армении связаны в определенной степени с промышленным освоением прогнозных ресурсов. Однако за последние годы нами получены новые данные, которые принципиально меняют не только перспективы, но и настоящее золоторудной промышленности Армении.

Нашими теоретическими исследованиями была предсказана, а в последующем практически доказана **металлоносность** (золото-серебро-платиноносность) **черносланцевых комплексов Армении**. Черносланцевые комплексы имеют широкое распространение в Армении.

Установление золото-серебро-платиноносности черносланцевых комплексов Армении имеет важное научное и прикладное значение и открывает новые перспективы для всего региона и, в первую очередь, для Грузии и Ирана.

Золотосодержащим рудно-строительным сырьем XXI века для Армении являются также **новейшие вулканические титаномагнетитовые пемзовые пески и кислые туфы**, образующие приповерхностный единый стратиграфический горизонт-покров в пределах массива г.Арагац, занимающего более 17% территории республики. Возраст вулканических образований по новейшим

данным определяется в 0,5-0,7 Ма (Чернышев и др., 2000). Запасы песков и в особенности туфов огромны, они используются в основном в строительстве. Значительны также отходы туфодобычи – туфовые пески от механической распилки туфовых плит (блоков) правильной формы, которые образуют большеобъемные отвалы рыхлого песка и пыли в неглубоких карьерах. Отходы туфодобычи наносят огромный вред окружающей среде в связи с содержаниями тяжелых металлов, а с другой стороны занимают большие территории плодородных земель.

Наши исследования последних лет показали, что с морфологической и генетической точки зрения отчетливо выделяются **“покровы” вторичных кварцитов**, занимающие огромные площади на поверхности. Специальные исследования показали, что “покровы” вторичных кварцитов венчают разрез меднопорфировых систем гранитоидного типа и образовались за счет интрузивных и перекрывающих их вулканогенно-осадочных образований. Такие “покровы” в настоящее время опойсковываются и разведуются в пределах рудных полей Армении и являются перспективными на Au-Cu-U оруденение. Это, по существу, железогидроокисные золото-медно-урановые руды. Основную промышленную ценность в “покровах” вторичных кварцитов представляют зоны вторичного сульфидного обогащения (зоны супергенеза). Оруденение представлено прожилково-вкрапленным штокверковым типом. По морфогенетическим, минералого-петрографическим особенностям, технологической схеме переработки и качеством товарной продукции (концентрата), а также горнотехническими условиями отработки руды зоны супергенеза принципиально отличаются от первичных сульфидных руд, и поэтому их следует выделить в качестве самостоятельного геолого-технологического и промышленного типа. Таким образом, вторичные кварциты нами рассматриваются как **комплексное рудно-силикатное сырье** многоцелевого назначения с большими перспективами на золотое оруденение.

В течение 2006-2008гг. фирмой “Geoteam” в Армении открыто и разведано новое золоторудное месторождение во вторичных кварцитах. С генетической точки зрения Амулсарское месторождение относится к высокосульфидным эпитермальным место-

рождениям по классификации Р. Силлитое (2008). Однако, учитывая важную роль гипергенных процессов при формировании промышленных концентраций золота, месторождения этого типа мы относим к высокосульфидному эпитермально-инфильтрационному типу и рассматриваем их как золото-урано-меденосные (Вардазорское рудное поле: Цахкашенское, Чанкатахское и Еркатасарское проявления) “покровы вторичных кварцитов” (медно)порфировых систем (Алоян, 2007-2009). Утвержденные запасы руды составляют 25,5 млн. т, золота – 20014кг, в том числе по категории C_1 – 10354 млн. т и C_2 – 15146 млн. т руды. Открытие и промышленная оценка Амулсарского месторождения открывает новые большие перспективы для резкого расширения минерально-сырьевой базы золоторудной промышленности Армении, так как в промышленное освоение вовлекаются бедные руды со средним содержанием золота 0,2-0,5г/т при извлечении золота в процессе кучного выщелачивания 95-97% (“Lakefield” 2008).

Промышленное освоение Амулсарского месторождения золота в принципе может решить злободневную проблему переработки бедных руд Соткского месторождения. Разработанная фирмой “Lakefield” (Канада) и запроектированная фирмой “Golder” (Великобритания) технологическая схема кучного выщелачивания золотосодержащих бедных руд Амулсарского месторождения является наиболее прогрессивной и экологически безопасной технологией с извлечением золота 95-97%. Это новейшее технологическое достижение может снять с повестки дня стремление компании “GeoPro Mining” добиться строительства золотоизвлекательной фабрики на площадке Соткского рудника, т.е. в бассейне озера Севан, что запрещено специальным законом. Бедные руды Соткского месторождения и ближайших участков проектируется компанией AGRC перерабатывать на месте с применением кучного выщелачивания с цианированием, что обосновывается большими транспортными затратами для перевозки добытой руды в Арарат (Ар ЗИФ). Извлечение золота цианированием на промплощадке Ар ЗИФ составляет в среднем около 50% (данные выщелачивания лежалых хвостов Ар ЗИФ).

Наиболее экономически рентабельным, экологически безопасным вариантом переработки бедных руд Соткского рудного поля является их переработка кучным выщелачиванием на промплощадке строящегося Амулсарского рудника (Вайоц Дзор), расположенного к югу от Соткского месторождения на 40км: по укороченной дороге, через перспективное Царасарское золоторудное месторождение, Сотк-Верин Шоржа-Цар-Джермук или по трассе Сотк-Юрабак-Карвачар-Вайкунк – далее по шоссе Н-32 до Джермука (~80-90км). Технологические показатели на Амулсарском руднике в настоящее время считаются самыми высокими, что с лихвой окупает все транспортные расходы и обслуживание дорог.

Это очень эффективное решение проблемы, т.к. в сферу промышленного освоения могут быть вовлечены бедные руды Царасарского рудного поля.

Этот проект обеспечит сохранность экосистемы Севанского национального парка от загрязнения с непредсказуемыми экологическими последствиями для всего питьевого водного баланса республики и смежных регионов.

В ближайшие годы центр золотодобывающей промышленности из Арарата может переместиться в Вайоц Дзор с учетом потенциальных ресурсов Азатекского, Гладзорского, Какавасарского и Амулсарского месторождений. Этому будет способствовать и строительство железнодорожного пути из Арарата в Вайк и далее в Джермук и Сюник, что создаст весьма благоприятные экономические условия для Амулсарского рудника, расположенного на развилке Вайк-Джермук и Вайк-Сюник. С другой стороны, создание Амулсарского золотоизвлекательного предприятия (АЗП) обеспечит при надобности переработку крупнейших ресурсов бедных золотосодержащих кварцитов Мардакертского района НКР – Вардадзорского рудного поля (Алоян, 2007), а также лежалых хвостов Дрмбонского горно-обогачительного комбината.

1.2. Благороднометалльность терригенно-углесланцевых комплексов Армении

1.2.1. О терминологии

Черносланцевая формация Армении имеет смешанный состав и представлена переслаиванием маломощных прослоев углей, горючих, битуминозных и углефицированных сланцев различного состава с пачками песчаников, аргиллитов, алевролитов, а также туфогенных и известковистых образований общей мощностью от 60 до 100-120, а в отдельных случаях и более метров. Разделение каустобиолитов на угли и горючие сланцы в данном случае носит в определенной степени условный характер, т.к. генетически и качественно (химически) этот единый формационный комплекс слабо изучен. Черносланцевые комплексы представлены как переслаиванием черноцветных и сероцветных (таймырский и сухоложский типы) сланцев, так и занимают пограничное положение между углями и черными сланцами. Аналогичные образования углесланцевого смешанного состава известны в Венесуэле (эоценового возраста) и Австралии (пермского возраста, Ю.Уэльс) (Юдович, Кетрис, 1988). С точки зрения металлоносности, а в связи с этим и горно-технических условий отработки этот вопрос на данной стадии исследований не имеет принципиального значения, т.к. золото-серебро-платиносодержащими почти в равной степени являются не только угли, но и сланцы, песчаники и аргиллиты, т.е. металлоносной является вся пачка (весь комплекс) терригенно-углесланцевых и терригенно-туфогенно-карбонатно-углистых пород, занимающая определенное стратиграфическое положение в разрезе фанерозоя и соответствующая этапам геодинамического развития региона.

По определению В.А. Косинского и соавторов, «Ископаемый уголь – твердая органическая порода, образовавшаяся преимущественно из отмерших растений в результате их биохимических, физико-химических и физических изменений. Основные компоненты: органическое вещество – носитель горючих и других технологических свойств угля, минеральные включения и влага» (Косинский и др., 1997). Угли подразделяются на гумусовые (гумолиты),

сапропелевые (сапропелиты) и гумусо-сапропелевые. Наиболее распространены гумусовые угли – продукт преобразования отмерших высших растений (целлюлозы и лигнина – до 80%, хемицеллюлозы, протеинов, жиров, смол). Сапропелиты образуются преимущественно от превращения отмерших низших растений и простейших животных в анаэробных условиях (целлюлоза – до 20%, лигнин отсутствует, преобладают протеины, жиры, воски, смолы). В зависимости от характера и степени метаморфизма ОВ угли подразделяются на три группы: бурый, каменный и антрацит.

Угли используются обычно в энергетике и для получения кокса, в меньшей степени – для газификации полукоксования, получения обогащенного топлива (газа и жидких продуктов) для бытовых нужд, на транспорте, в кирпичном производстве, обжига извести, производства термоантрацита и термографита, углеграфитовых изделий, углеродных адсорбентов, карбидов кремния и кальция, углещелочных реагентов, горного воска и др.

Наиболее полная генетическая и химическая характеристика понятия “черные сланцы” дана Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис (1988). Детальный анализ определения “черные сланцы” дает основание этим исследователям обобщить, что **“для черных сланцев характерно аквагенное, а для углистых пород – терригенное ОВ”**, и далее приводится четкое определение понятия “черные сланцы” как **“водно-осадочные горные породы, обычно темные, пелитоморфные и сланцеватые, обогащенные сингенетичным органическим веществом преимущественно аквагенного и отчасти терригенного типов”** (Юдович, Кетрис, 1988). В то же время эти исследователи принимают замечание В. Суэнсона о том, что не все сланцы черные, среди них встречаются даже оливковые (эстонский кукерсит желтый), и не все они сланцеватые. Например, глинисто-кремнистые сланцы силура и карбона Северного Урала пластинчатые и листоватые, а переслаивающиеся с ними фтаниты (то же лидит – черный, твердый и плотный кремнистый сланец, состоящий из кварца, халцедона и опала с примесью тонкорассеянного углистого вещества. Геол. словарь, 1973) грубоплитчатые, даже массивные. Поэтому к черным сланцам относят и непелитоморфные породы: алевролиты, графитовые гнейсы, кристалличес-

кие известняки. Часто в природе аквагенное и терригенное ОВ могут быть представлены в смешанной форме, а часто в некоторых черных сланцах примесь терригенного ОВ очень значительна (фаменские сланцы Чаттануга и средне-верхнекарбоновые пенсильванские сланцы, перекрывающие угольные пласты, США; олигоценовые менилитовые сланцы, Карпаты и др.).

Термин “горючие сланцы” в настоящее время применяется в различном значении. В широком понимании это высокозольные горючие твердые полезные ископаемые, содержащие органические вещества различного происхождения и различных условий преобразования. Такое понятие термина включает: углистые, битуминозные, пиробитумные и литобиолитовые сланцы, высокозольные сапропелиты и другие породы с повышенным содержанием органического вещества (Клер, Ненахова, 1981).

По определению Г.К. Хрусталева и соавторов, “Горючий сланец – осадочная органо-минеральная порода, содержащая в концентрированной форме (20-70%) преимущественно сапропелевое органическое вещество (продукт преобразования низших растительных и животных организмов – фитопланктона, зоопланктона, фитобентоса), в основной массе нерастворимое в органических растворителях, при термической деструкции которого образуется значительное количество смолы (более 25% на органическое вещество)” (Хрусталева и др., 1997).

Главным диагностическим признаком горючих сланцев является преимущественно сапропелевый характер органического вещества, чем они аналогичны сапропелевым углям. В отличие от последних они формируются преимущественно в неглубоких и озерно-лагунных условиях в аридном климате. К горючим сланцам не относятся битуминозные породы (т.е. с готовой нефтью), а также углистые сланцы, органическая часть которых представлена остатками высших растений. По сравнению с другими твердыми каустобиолитами, горючие сланцы обладают повышенной зольностью при сжигании и высоким выходом жидких и газообразных продуктов при термическом разложении. К горючим сланцам относят породы, содержащие в среднем не менее 20% ОВ, прочие угле-

родистые породы называют керогенсодержащими глинами (Юдович, Кетрис, 1988).

Все типы горючих сланцев характеризуются повышенным содержанием водорода (7-8%) и летучих (30-70%). Органическое вещество колеблется в пределах 15-35%, остальное приходится на минеральную массу. В зависимости от содержания и характера органического вещества горючие сланцы образуют переходы к рассеянному органическому веществу (породам, содержащим битумы нефтяного ряда); более концентрированному органическому веществу (углям сапропелевого – богхеды, гумусово-сапропелевого и менто-биолитового состава); высокозольным гумусовым образованиям (углистым и липтобиолитовым сланцам). В процессе метаморфизма в результате карбонизации различия между горючими сланцами, битуминозными и углистыми породами сглаживаются, и все указанные породы переходят в категорию “углеродистые” сланцы, обогащенные органическим углеродом, с низким содержанием углеводородов (Клер, Ненахова, 1981). В настоящее время не существует общепринятых параметров, ограничивающих горючие сланцы от битуминозных и углистых пород и других каустобиолитов. По данным В.Р. Клер и В.Ф. Ненаховой, при оценке геологических запасов в СССР границы для выделения горючих сланцев условно были установлены между:

- горючими сланцами и углистыми или битуминозными породами – по предельной теплоте сгорания – 1200ккал/кг;
- углям и горючим сланцам – по зольности – 50%, включая содержание углекислоты карбонатов;
- горючими и углистыми или высокоуглеродистыми сланцами – по выходу смол – 10%.

Горючие сланцы являются комплексным органо-минеральным сырьем для энергетики, химической, медицинской промышленности, стройиндустрии и сельского хозяйства.

Горючие сланцы также являются металлическим сырьем; прибалтийские диктионемовые сланцы обогащены Mo, V, Ni, Co, Zr, Nb, Y, Cu; туранские – Re, Mo, W, V; волжские – Mn, Mo, Pb, Cu, Ag; вычегодские – Mn, Ni, Co, Mo, Cu. Источником этих элементов является ОВ. При обогащении диктионемовых аргилли-

тов месторождений Маарду и Тоолсе (Эстония) гидроциклонированием удалось извлечь до 70-75% редких металлов – Мо (в ОБ 46,4%), U (46,4%) и V (28,5%), при извлечении Мо – 61,2%, U – 88% и V – 40,5%. Хорошо зарекомендовал себя биотехнологический метод обогащения горючих сланцев для извлечения редких элементов. Растворами $Fe_2(SO_4)_3$ обеспечивается извлечение U – 70-80%, Мо – 40-60%, V – 15-20% (Хрусталева и др., 1997).

1.2.2. Крупнейшие золото-платиносодержащие геотипы черносланцевой формации мира

Черносланцевые формации известны в геологических разрезах всех возрастов; они являются составной частью метаморфических и осадочных комплексов докембрия и фанерозоя.

С черносланцевой формацией связаны крупные месторождения шунгитов, графитов, фосфора, марганца, серного колчедана, меди, полиметаллов, благородных и редких элементов, ванадия, урана, редких земель, что определяет их исключительное экономическое значение. Металлоносность черносланцевых комплексов известна давно.

Наиболее важными в промышленном отношении являются сульфидные полиметаллические руды широко известных месторождений типа Роммельсберг в Германии, Эргани-Мадан в Восточной Анатолии (Турция), Маунт-Айза в Квисленде (Австралия), Бонн-Терр (шт. Миссури) и Дефферсан-Сити (шт. Теннесси) в США, Горевское (Енисейский край) и Холоднинское в Прибайкалье (Россия) и др. Разработка Роммельсберга началась примерно с 900 г. и интенсивно продолжается более 1000 лет. Здесь в последние десятилетия добывают около 100 тыс.т руды в год, с содержанием Cu 2 тыс.т, Pb и Zn – по 20 тыс.т. Попутно добывают Au и Ag.

Разработка черных медистых песчаников и сланцев (содержание Cu 2-3%) в области Мансфельд-Хетштедт-Эйлебен началась приблизительно в 1200г и с тех пор продолжается, определяя промышленную значимость этого района. Попутно извлекается серебро (90-180 г/т) (Рамдор, 1962; Ермолаев, Созинов, 1986).

В польской Силезии известны крупные месторождения медистых битуминозных мергелей, аналогичные по природе черным медистым сланцам Мансфельда, свинцово-медные и ванадийсодержащие известковые сланцы Дургамы в Северной Англии, черносланцевые колчеданные и колчеданно-баритовые месторождения Германии типа Мегген (Шейферт и др., 1952; Шнейдерхен, 1958).

Уникальным примером является пермская осадочная формация Фосфория (Скалистые горы). Протяженность формации – многие сотни км при мощности продуктивного горизонта от 35 до 70 м. Эти образования содержат: P_2O_5 – от единиц до первых десятков процентов, жидкие углеводороды – до 30 л/т, уран – 0,005-0,03%, V_2O_5 – 0,04-0,27%, редкие земли – 500-1500 г/т (Шелдон, 1959; Бушинский, 1969).

Значительное развитие и огромные запасы бедных руд редких металлов характерны для уранованадиеносных диктионемов и кварцевых сланцев Швеции, углисто-глинистых сланцев Чаттануга (США) (Сердюченко и др., 1969).

Золото (серебро) с редкими землями и платиноидами в черносланцевых комплексах представляют собой в геологоразведочной практике явление принципиально новое. Первая обоснованная информация о промышленной значимости редких земель в этих рудах появилась в середине 80-х годов, а об устойчивой, выдержанной в масштабах крупных блоков платиноносности – в конце 80-х годов прошлого столетия.

После публикации Иды Ноддак (1936) о содержаниях платиноидов в черных сланцах мансфельдских Купфершифер почти полвека не было никакой информации. Развитие знаний о платиноидах в высокоуглеродистых породах было достигнуто посредством разработки новых способов пробирно-активационного анализа, в первую очередь путем **опережающего тигельную плавку** разрушения присутствующего в сланцах твердого минерализатора (сильвина) и разработки приемов полного разложения металлоносной графит-антраксолитовой составляющей. В исследованиях Н.П. Ермолаева и др. (1992) результаты анализа МПГ получены нейтронно-активационным способом (Pt, Pd), а также эмиссионно-спектральным с возбуждением в индуктивно-связанной плазме (Ir,

Pd, Pt) по королькам неполного купелирования веркблесс (Ермолаев, Созинов, 1992).

Крупным импульсом послужил Международный проект "Металлоносные черные сланцы" (Metalliferous black shales). Проект выполнялся в 1987-1991гг. в рамках Международной программы геологической корреляции (IGCP), которая осуществлялась Международным союзом геологических наук (IUGS) под эгидой ЮНЕСКО (UNESCO). Проект "Металлоносные черные сланцы" возглавлял чешский геолог Ян Пашава из геологической службы в Праге. Вице-президентом Проекта 254 был профессор В.А.Буряк (Хабаровск), известный исследованиями по золотоносности черных сланцев. Активными участниками этого Проекта были профессора Фань Делянь (Пекин), Ричард Груч (США) и Яков Юдович (Россия, Коми). В рамках Международного Проекта 254 Я.Э. Юдович и Н.П. Кетрис опубликовали фундаментальный труд, не имеющий аналогов в мировой геологической литературе – "Элементы-примеси в черных сланцах" (1994). В разделе "Сидерофилы группы платины" авторы приводят краткое изложение изученности проблемы платиноносности черных сланцев на первом этапе (1984-1993). После завершения Проекта 254 эти исследования с особой интенсивностью продолжаются в России и на Украине в рамках международной постоянно действующей конференции «Благородные и редкие металлы» – БРМ.

К сожалению, армянский регион (даже кавказский) выпал из поля зрения исполнителей этого Проекта. Черносланцевые комплексы Армении и Грузии остались неосвещенными (неизученными) на предмет их металлоносности.

Наиболее крупными золото-платиносодержащими месторождениями черносланцевой формации являются геотипы: онежский, тимской, таймырский, наталкинский, сухоложский, карлинский. Следует учесть, что к этой формации относятся такие гиганты, как Мурунтау (Узбекистан), Карлин (США, Невада), Ашанти (Гана), Наталка (РФ, Колыма), Сухой Лог (РФ, Бодайбо), Кумтор (Кыргызстан), Олимпиада (РФ, Красноярский край), Майское (РФ, Чукотка), Нежданинское (РФ, Якутия) и др (табл. 1.5).

**Содержание Au и МПГ в месторождениях ведущих геотипов
черносланцевой формации стран СНГ
(по литературным данным)**

N/N	Геотип	Страна, месторождение	Содержание, г/т		
			Pt	Pd	Au
1	Онежский	РФ, Карелия, <i>Палма</i> (Царевское, Шульгиновское, Нижне-Унижское)	0,05-30	0,5-400	0,01-250
2	Сухоложский	РФ, Колыма, <i>Наталка</i>	10	9	4-40
		РФ, Чукотка, <i>Майское</i>	0,5	0,6	0,3-2,4
		РФ, Бодайбо, <i>Сухой Лог</i>	0,9-1,2	н.с.	2,7
		Казахстан, <i>Зап. Колба</i>	24	6,8	2,8
		Узбекистан, <i>Мурунтау</i>	0,01-7	0,98	0,3-3-26
		Кыргызстан, <i>Кумтор</i>	1,21	3,01	7,14
3	Тимский	РФ, <i>Тимское</i> (Кшенское, Яковлевское, Михайловское)	0,61	н.с.	1-3-29
4	Таймырский	РФ, Новая Земля, о.Большевик, <i>Жильное</i>	0,48-14,6	1,91-2,6	н.с.

Среди промышленных руд России ведущая роль принадлежит золоторудным месторождениям в черносланцевых комплексах (по запасам – 50-70%), которые дают более 35% добычи золота (Сухой Лог, Олимпиада, Советское, Наталка, Нежданинское, Школьное и др.). Эти месторождения характеризуются крупными или весьма крупными запасами и крупнообъемным штокверковым характером (Сухой Лог), или масштабными минерализованными жильными и прожилковыми зонами (Наталка, Майское, Олимпиада, Нежданинское), благоприятствующими открытому или комбинированному способу их промышленной разработки. В прожилко-

во-вкрапленных рудах тонковкрапленное и субмикроскопическое золото встречаются в пирите и арсенопирите, что делает эти руды упорными и требует больших затрат на разработку специальной технологии обогащения. Это сдерживает промышленное освоение таких крупных объектов, как Майское, Кючусское и др. Как правило, золотое оруденение характеризуется в целом равномерным распределением с коэффициентом вариации 90-120, при содержании золота не выше 5 г/т (Лешков, Бельченко, Гузман, 2000).

Как уже было отмечено, проблема платиноносности (золотоносности) черносланцевых комплексов сравнительно нова, и многие технологические проблемы еще не решены. В большинстве случаев информация о МПГ в крупных золоторудных объектах еще не опубликована. В этом плане выгодно отличается информация по крупнейшим золото-платиноидным месторождениям черносланцевой формации России и Украины. Коллективами авторов опубликованы: фундаментальное многотомное издание «Платина России», где освещены проблемы развития минерально-сырьевой базы, минералогии, генезиса, технологии и аналитики (1994-1999); «Платина СНГ» – ресурсы, перспективы и освоение новых месторождений на основе современной инвестиционной политики (2000); а также ряд ценнейших работ по металлогении платиноидов крупных регионов России и Украины и материалы международных и региональных конференций (симпозиумов). При изложении настоящего раздела мы воспользовались в основном этими источниками и остановились на тех объектах, которые, на наш взгляд, являются геотипами-аналогами армянских золото-платиноидных месторождений черносланцевой формации.

Ведущие типы – геотипы золото-платиноидных месторождений черносланцевых комплексов – приводятся по рудно-формационному блоку легенды к «Карте платиноносности России» (Додин, Чернышов, Чередникова, 2001) (табл. 1.6).

Многолетние фундаментальные исследования Н.П. Ермолаева и его коллег дали основание сделать нижеследующие обобщения по механизму концентрации благородных металлов в черносланцевых комплексах Кумтор и Мурунтау (Ермолаев и др., 1999).

1. На Кумторе и Мурунтау имеет место феномен ступенчатого концентрирования золота: от повышенных региональных фонов в терригенно-углеродистых сланцах бесапанской свиты за пределами месторождения Мурунтау (0,03г/т) к вмещающим оруденение сланцам (0,22г/т), к ранним субпластовым метасоматитам (2,09г/т), к штокверковым рудам (28,29г/т) и, наконец, к рудам стержневых кварцевых жил (1200г/т).

2. Исследование золотоносных метасоматитов на МПП показало повышенные содержания этих элементов во вмещающих породах и золотоносных рудах.

Таблица 1.6

**Выписка из рудно-формационного блока легенды к
«Карте платиноносности России»
(Додин, Чернышов, Чередникова, 2001)**

Рудная формация	Тип ассоциаций МПП в платиноидных рудах	Ведущий тип месторождений	Преобладающая геологическая формация
Платиносодержащая полиметаллическая в черных сланцах и их метасоматитах	Pt-Pd-Au	Тимской	Углеродистые и высокоуглеродистые сланцы осадочно-вулканических зон рифтогенеза докембрийских щитов и массивов.
	Pt-Pd (с V, U, Mo)	Онежский	
	Au-Ag-Pt-Pd	Таймырский	Углеродистая терригенная сероцветная складчатых областей.
	Au-Ag-Pt-Pd	Полярноуральский	Углеродисто-сланцевая офиолитовых поясов.
	Pt-Pd	Наталкинский	Углеродисто-терригенная сероцветная.
Pt-Au	Сухоложский (Мурунтаусский)	Терригенная, карбонатно-терригенная сероцветная.	

3. Рассмотрение динамики концентрирования драгметаллов на Мурунтау позволяет выделить два типа геологических образований с высокими содержаниями ценных компонентов: для Au – кварцевые жилы, завершающие формирование штокверков; для платиновых металлов – графитовые тектониты по рудным метасоматитам.

4. На Кумторе и Мурунтау имеет место преимущественное концентрирование золота и платиноидов в различных носителях (минеральных и органических). При формировании субпластовых сульфидно-вкрапленных руд Кумтора платиноиды локализуются в основном в реликтовом и переотложенном высокоуглеродистом веществе, а золото – в пирите-1. При формировании кварц-сульфидных руд Мурунтау высокие концентрации платиновых металлов локализуются во вторичном углеродистом веществе тектонитов, тогда как золото резко обогащает кварц стержневых жил.

5. Вышеизложенное приводит к выводу о необходимости разработки новой технологии переработки углеродсодержащего сырья с утилизацией не только тяжелого концентрата, но и хвостов гравитации – легкой графит-гидрослюдистой составляющей руд.

1.2.3. Золото-платиноносность армянских комплексов

В Армении опойсковано и разведано более 10 крупных месторождений бурых углей и горючих сланцев, однако в связи с их низким качеством, они отбракованы как неперспективные на топливное сырье. Нашими исследованиями впервые доказана металлоносность терригенно-угленосных комплексов, в особенности на промышленные концентрации благородных металлов - Au, Ag и металлы платиновой группы (МПГ). Этот новый вид рудно-топливного сырья может составить серьезную конкуренцию месторождениям золотополиметаллической промышленной формации, и по прогнозным ресурсам Армения может войти в число золото-платиноносных провинций мира.

Геологи всего мира за последние 25 лет проявляют повышенный интерес к проблеме рудообразования, связанного с металлоносными черными сланцами. Золото, серебро, редкие металлы и

платиноиды в черносланцевых комплексах представляют собой в геологоразведочной практике явление принципиально новое.

Наши исследования по альпийской геодинамике Малого Кавказа и закономерностям пространственного размещения рудных и нерудных месторождений, в зависимости от геодинамического режима развития складчатых областей Армении, дали нам основание теоретически предсказать, а в последующем практически доказать металлоносность терригенно-угленосных комплексов Армении и южного Кавказа.

Терригенно-угленосные комплексы имеют широкое распространение в Армении. Они представлены терригенно-угленосными и терригенно-карбонатно-угленосными отложениями – переслаиванием маломощных пачек бурых углей, горючих сланцев, битуминозных углефицированных аргиллитов, песчаников и известняков, глинистых сланцев, реже андезитов, туффитов, туфоконгломератов и туфобрекчий. Общая мощность комплексов сильно варьирует и составляет в среднем от 60-120 до 200 м. Они прослеживаются по простиранию на сотни метров, а в отдельных случаях – от 2-3 до 5 км.

Золото-серебро-платиносодержащими почти в равной степени являются не только угли, но и сланцы, песчаники и аргиллиты, т.е. металлоносной является вся пачка (весь комплекс) терригенно-угленосных и терригенно-туфогенно-карбонатных пород, занимающая определенное стратиграфическое положение в разрезе и соответствующая различным этапам геодинамического развития региона. Возраст комплексов – от нижнего триаса до плиоцена (триас, юра, эоцен, олигоцен, миоцен, плиоцен), что свидетельствует о многоэтапности золотого оруденения в течение всего фанерозоя. В большинстве случаев эти отложения имеют пологие падения и обнажаются на поверхности или залегают на небольшой глубине и благоприятны для открытой добычи.

За прошедшее столетие терригенно-углесланцевые комплексы Армении рассматривались исключительно как топливное сырье (Нор-Аревик, Джерманис, Шамут, Антарамут, Иджеван, Дилижан и др.). Сегодня это "мертвые" объекты. Они расположены в различных геодинамических условиях и преимущественно тяготе-

ют к региональным (трансмалокавказским) структурам – зонам глубинных разломов (Сомхетской, Дебакли-Айригетской и др.) и рифтовым офиолитовым поясам (Эрзинджан-Севанский, Вединский).

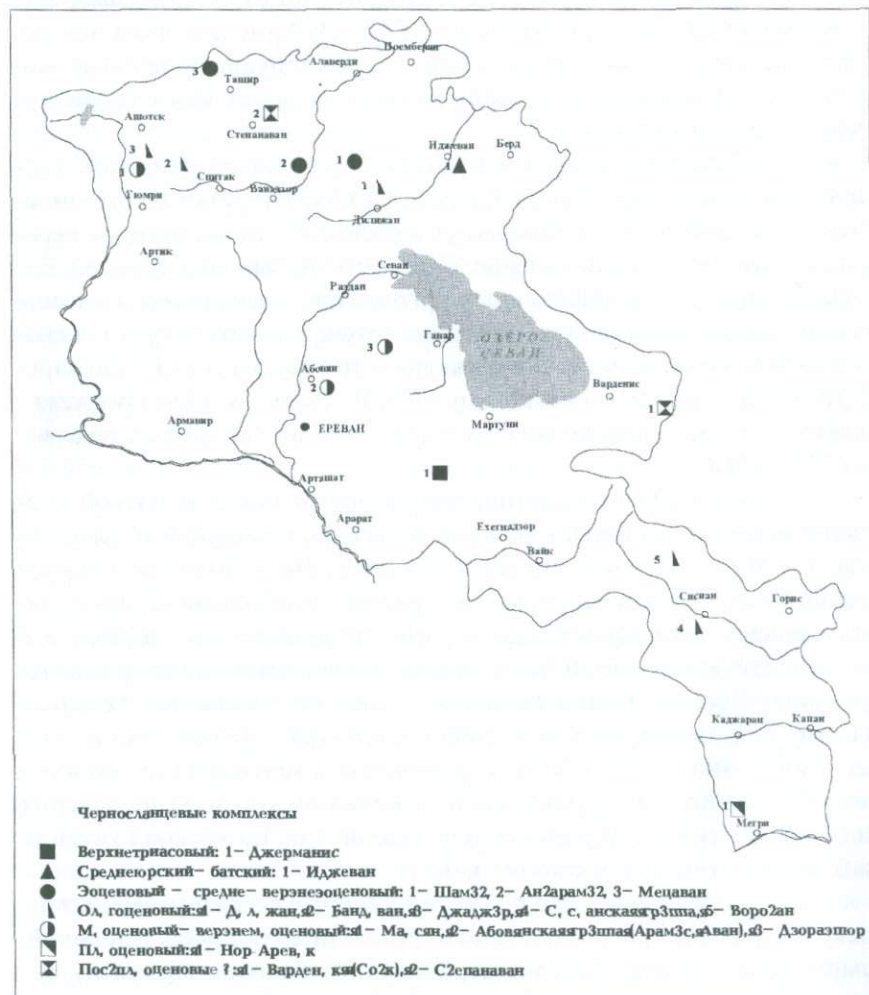


Рис. 1.1. Схема расположения черносланцевых комплексов Армении.

Нашими исследованиями впервые показано, что, по существу, все известные крупные месторождения Армении являются металлоносными в разной степени и, в первую очередь, по содержанию промышленных концентраций благородных металлов – Au, Ag, Pt, Pd (рис. 1.2-1.8). По данным 200 пробирных и пробирно-атомно-абсорбционных анализов, их содержание колеблется в широком диапазоне и составляет в среднем для наиболее крупных объектов: золота – от 1,5-3 до 7-11,2г/т, серебра – от 28-50 до 150-350г/т, металлов платиновой группы – от 0,1-0,05 до 1г/т, а в отдельных технологических пробах весом 30-35т – 8-10г/т. По данным спектральных анализов (50 анализов) (ЦНИГРИ, г.Москва), в бурых углях и горючих сланцах, кроме благородных металлов, установлены Be, Cr, Cu, Ga, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Zr. Повышенные содержания Fe, Ti и Mo установлены химическими анализами в углях и горючих сланцах Дзаджура, Джерманиса и Нор-Аревика. Содержание Mo достигает 0,2%, что превышает значительно промышленные содержания такого гиганта, как Каджаран.

Предварительные анализы на Mo (аналитик Ж.Г. Гукасян) по общепринятой методике кислотного разложения (азотной, соляной и серной кислотами) не дали достоверных результатов, т.к. все пробы после разложения и растворения в дистиллированной воде образовывали окрашенные растворы от бледно-оранжевого до темно-бордового цвета. Эти растворы при обработке гидроокислом натрия, аммиаком и различными окислителями (Na_2O_2 , MnO_2), а также восстановителями (формалин, Na_2S) практически не обесцвечивались, что мешало калориметрическому определению молибдена.

В связи с этим дальнейшие работы по разложению проб велись в направлении спекания исходных навесок с 6-8-кратным избытком соды и добавкой перекиси натрия (Na_2O_2). Спекание проводилось в муфельной печи в интервале температур 600-700°C в течение 2,5-3,0 часов в фарфоровых тиглях. Полученные после спекания пробы далее подвергались выщелачиванию в дистиллированной воде (100-120мл) при температуре 95-97°C (кипение) в течение 1 часа. После фильтрации-промывки осадков растворы пере-

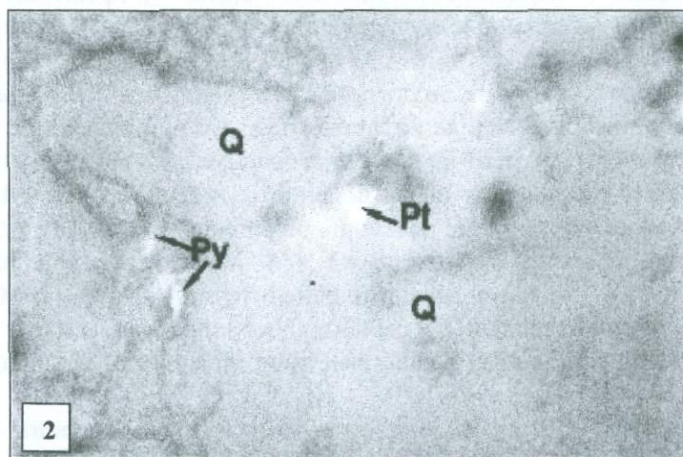


Рис. 1.2 Джерманис. Зерна платины в кварц-полевошпатовых песчаниках.

1 – платина (Pt) в песчанике. Аншлиф Дс-ГПА-17-12(3). Ув. $\times 270$. Пл. 0976, к. 9; 2 – платина (Pt) треугольной формы в раздробленном кварце (Q). В кварце и глинистой цементирующей массе мелкие выделения пирита (Py). Аншлиф Дс-ГПА-17-12(8). Ув. $\times 270$. Пл. 0976, к. 18.

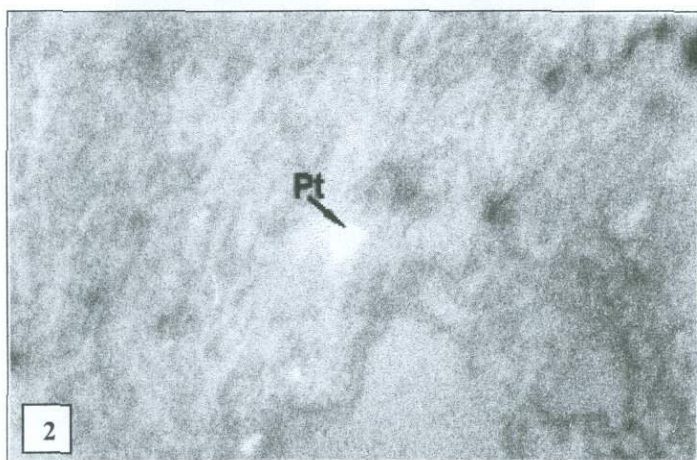
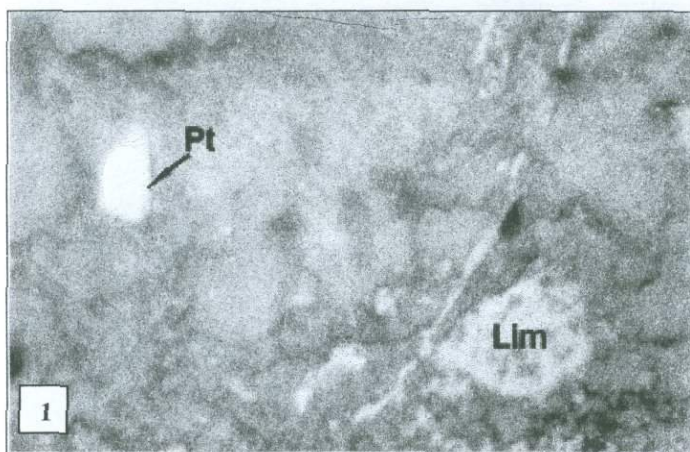


Рис. 1.3 Джерманис. Зерна платины в кварц-полевошпатовых песчаниках.

1 – крупное выделение самородной платины (Pt) с прожилковидными агрегатами и вкрапленностью гидроокислов железа (Lim). Аншлиф Дс-ГПА-17-12(10). Ув. $\times 270$. Пл. 0976, к. 21; 2 – зерно самородной платины (Pt) в слоистой глинистой цементирующей массе. Аншлиф Дс-ГПА-17-12(10). Ув. $\times 270$. Пл. 0976, к. 20.

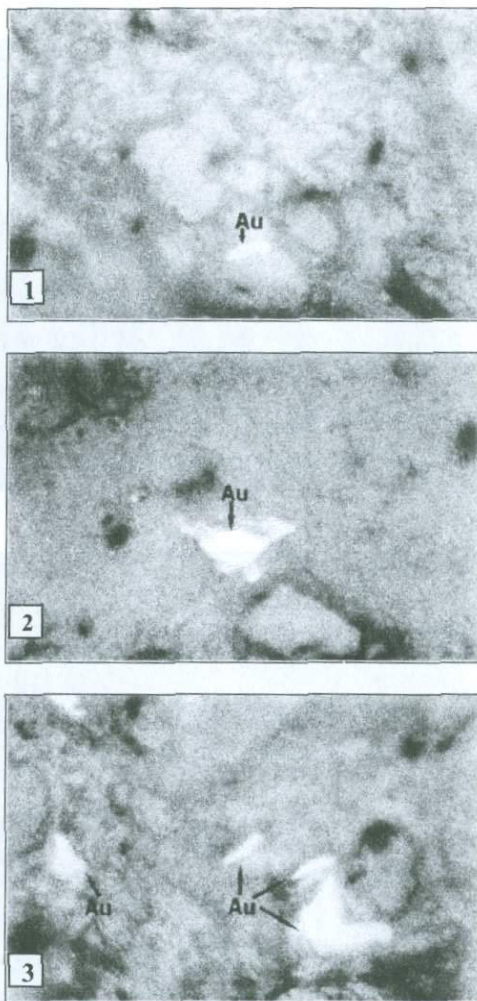


Рис. 1.4 Джерманис. Золото (электрум) в кварцевых песчаниках.

1 – червевидные выделения электрума (Au) в глинисто-хлоритовой цементирующей массе. Аншлиф Дс-ГПА-17-12(1). Ув. $\times 270$. Пл. 0976, к. 3; 2 – электрум (Au) комковатой формы в глинисто-хлоритовой цементирующей массе. Аншлиф Дс-ГПА-17-12(1). Ув. $\times 270$. Пл. 0976, к. 2; 3 – включения электрума (Au) в глинисто-хлоритовой цементирующей массе. Аншлиф Дс-ГПА-17-12(1). Ув. $\times 270$. Пл. 0976, к. 4.



Рис. 1.5 Шамут. Самородное золото в угольных сланцах. Аншлиф Ш-8.
Ув. х210.



Рис. 1.6 Шамут. Самородное серебро в угольных сланцах. Аншлиф Ш-10.
Ув. х210.

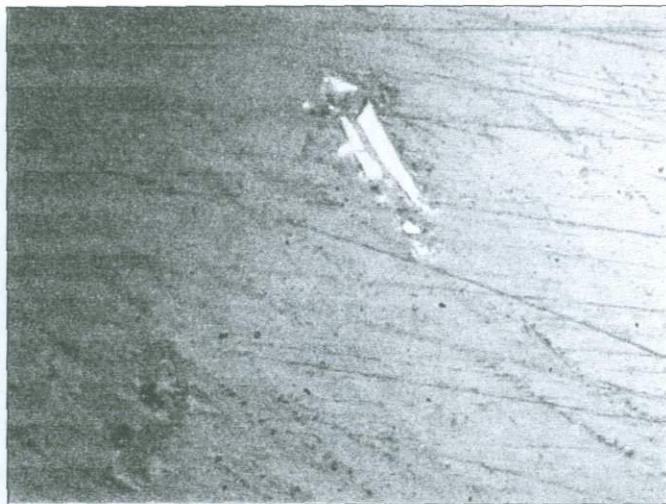


Рис. 1.7 Шамут. Самородное золото и пирит в гравиконцентрате. Сварной шлиф Ш-Гр. Ув $\times 210$.

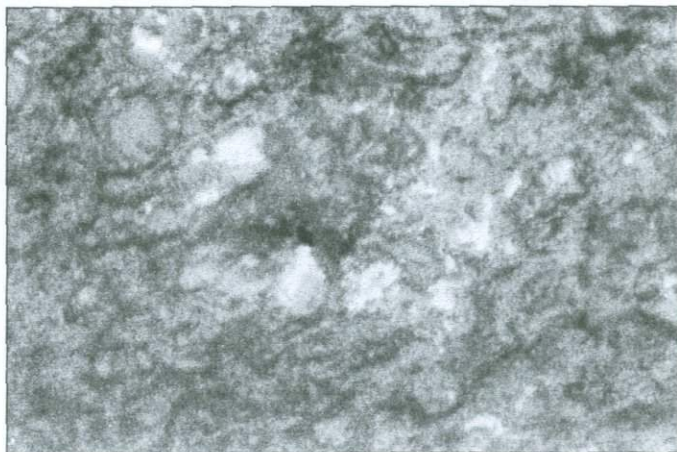


Рис. 1.8 Джаджур. Скопление выделений золота и пирита в углях. Пр. Джад-5, аншлиф. Ув. $\times 300$.

водились в 250-миллилитровые колбы, тщательно перемешивались и анализировались на Мо.

Для анализа отбиралась аликвота по 10мл в 100-миллилитровую колбу, добавлялось 10-15мл H_2SO_4 (1 : 1), и далее добавлялись реактивы ($CuSO_4$ – раствор тиомочевины, аммоний родонистый) и содержимое колбы доводилось до метки дистиллированной водой. После взбалтывания раствора и отстаивания (20мин.) окрашенные растворы брались на калориметрирование (прибор ФЭК – 56 ПМ).

Анализы на редкие и благородные, а также черные металлы проведены в ГМИ (пробирные, химические, и фазовые; аналитики – Р.К.Арустамян, К.В.Минасян), ЦНИГРИ (спектральные и пробирно-атомно-абсорбционные; аналитики – А.В. Мандругин, И.Ю. Хлебникова), а также швейцарской фирмой Deno MGBH и Аналитическим центром фирмы АССАТ.

Следует особо подчеркнуть, что оруденение концентрируется не только избирательно в углистых пластах, но и в переслаивающихся с ними песчано-глинистых, песчано-туфогенных и песчано-обломочных образованиях, что увеличивает мощность "продуктивного" слоя в несколько раз и обеспечивает сплошную выемку пород при открытой добыче.

Формирование металлоносных (золото-серебро-платиносодержащих) терригенно-угленосных комплексов происходило в условиях терригенного сноса и осаждения обломочного материала в зоне литорали с биогенными илами и их дальнейшей литификации и катагенеза в конкретной геодинамической обстановке (Ермолов и др., 1999). В отличие от всемирно известных крупных золото-платиносодержащих черносланцевых комплексов, в пределах армянских комплексов прямого воздействия магматических и постмагматических процессов на формирование оруденения пока не установлено и в материалах геологоразведки об этом ничего не сказано.

Важным результатом наших исследований явилось обнаружение оруденелых кварц-порфировых даек, секущих углесланцевые пласты Антарамутского месторождения. Свежие и слабо измененные кварцевые порфиры обнаружены в керне многих скважин колонкового бурения: скв.А-5в, инт.62,3м; скв А-9, инт.20м;

скв.А-15, инт.8-10м; скв.А-18, инт.122м; скв.А-19, инт.151м; скв.А-27, инт.47м и др. В свежих дайках наблюдаются довольно крупные обломки (ксенолиты) оруденелых углей, туфогенных и глинистых образований (туфопесчаники, мергели, аргиллиты и др.) (скв.А-27, инт.47м, обр.27/9).

Приведем несколько характерных примеров пересечения кварц-порфировых даек с углистыми отложениями (скв.А-20, инт.108м, обр.20/5, аншлифы – А-20/5-Д, А-20/5-У; обр.19/11; скв.А-27, инт.47м, обр.27/9).

Визуально наблюдается, как дайка кварц-порфира сечет угли. Дайка и угли оруденелые. Оруденение представлено вкрапленностью сульфидов – преимущественно пиритом (размерами до 0,1мм), редко халькопиритом, а также самородным золотом (0,007мм) и очень редко самородной медью. В дайке рудная минерализация представлена в основном вкрапленностью пирита. Размеры зерен пирита колеблются от 0,007 до 0,1мм. Наблюдаются участки густого скопления зерен пирита неправильной формы. Между крупными зёрнами наблюдается эмульсионная сыпь пирита. Наблюдаются редкие зёрна самородной меди величиной 0,07х0,01мм.

Структура кварц-порфировой дайки порфировая, а основной массы – фельзитовая. Вкрапленность пирита рассеяна по всей основной массе. В порфировых выделениях кварца вкрапленность пирита практически отсутствует, а в порфировых выделениях (возможно, и ксенолитов) наблюдается равномерная сыпь. Вокруг ксенолитов наблюдается узкая полоска закалки. В углях, согласно контакту с дайкой, наблюдается характерная специфическая структура течения. Вдали от контакта угли переслаиваются с темно-серыми аргиллитами, в которых прослеживаются тонкие (до 0,1мм) прерывистые прослой битума и витрена.

Обломки углей и туфогенно-глинистых и туфогенно-песчаных пород в дайках в основном остроугольные, неокатанные. Характерным примером является образец А-18/14 (скв.А-18, инт.122м). Здесь, как в дайке, так и в углях наблюдаются крупные (в поперечнике до 10-15мм) скопления сульфидов – преимущественно пирита, редко халькопирита, еще реже выделения самород-

ного золота, размерами 0,015-0,20мм. В контактовой полосе, в дайке, оруденение массивное, густовкрапленное. В углях сульфиды с налетами золота, серебра и платины образуют чешуйчатовидные скопления агрегатов, возможно, твердых растворов Fe-Cu-Pt, Fe-Au-Pt. Часто чешуйки перекрывают одна другую с небольшим смещением, располагаясь в ряд, а чаще изометрично. Картина красочная и очень своеобразная с золото-серебристым зернистым отливом на фоне тонкозернистой массивной минерализации (скв.А-18, инт.122м). В дайке массивное сульфидное оруденение производит впечатление растасканности и разорванности. Рудная минерализация в дайке в основном представлена редкой и тонкой вкрапленностью пирита, размерами от 0,05 до 0,02мм. Местами скопления агрегатов пирита, преимущественно шарообразных, вытянуты линейно в виде разорванной цепочки. В таких участках встречаются кристаллические (кубические), оолитовые (правильно-шарообразные) и неправильной формы выделения пирита, а между ними зачастую эмульсионная вкрапленность. Размеры отдельных шарообразных выделений от 0,007 до 0,015мм. Характерно расположение оолитов пирита по периметру кварцевого обломка. В дайке обнаружены мелкие включения золота размерами от 0,007 до 0,01мм, редко 0,2мм. Форма выделений неправильная.

В углях рудная минерализация также представлена неравномерной вкрапленностью пирита. На отдельных участках скопления пирита занимают от 0,1-0,2 до 2-3% поверхности шлифа с размерами отдельных индивидуумов от 0,007-0,01 до 0,1-0,2мм. Часто наблюдаются отдельные крупные зерна размерами 0,3х0,4мм. Местами кристаллические (кубические, размерами 0,007-0,015мм), оолитообразные – шарообразные и неправильной формы – выделения пирита концентрируются вдоль растасканного (будинированного) кварцевого прожилка согласно структуре течения. Внутри этой своеобразной цепочки колломорфные агрегаты пирита в свою очередь образуют небольшие прерывистые цепочки или линейные скопления, располагаясь между большими агрегатами. Размеры отдельных колломорфных индивидуумов пирита составляют 0,008-0,01мм. Обычно, как правило, эти цепочки ориентированы согласно общей структуре течения. Однако в контактовой полосе наблю-

даются цепочки, ориентированные косо или нормально к внутренней структуре угля, длиной 2-2,5мм, а местами и более. Эти уникальные образования названы нами “елочной” структурой, т.к. несмотря на секущий характер цепочки, скопления пирита (сульфидов) локализуются согласно с плоскостями движения (течения), что аналогично субпластовым мелким залежам. Часто наблюдаются две или несколько параллельных “елочных” структур. Угли характеризуются сложным внутренним сложением; встречаются натечные структуры и многочисленные неокатанные мелкие обломки нерудных минералов и обломков туфогенных пород. Часто нерудные включения – преимущественно аргиллиты – окружены колломорфными выделениями пирита.

Уголь участками довольно однородный, а местами содержит многочисленные разноразмерные остроугольные обломки различных пород. Часто они располагаются в виде цепочек в прерывистый ряд или ветвятся, оставляя впечатление коротких разноориентированных прожилков. Минерализация пирита встречается и в виде более крупных выделений (скоплений) в углях, а также глинисто-туфогенных ксенолитах в дайке.

Таким образом, установлено наличие как оруденелых даек кварц-порфиров, так и кварц-сульфидных прожилков с крупными массивными кварцевыми выделениями в зоне разлома. В глинке трения наблюдается тонкая вкрапленность сульфидов.

Другим важным результатом наших исследований является установление сульфидного оруденения по всей мощности углеродистых отложений – терригенных, терригенно-туфогенных, известковисто-терригенных пород, а также прерывающих их субвулканических и даечных образований. Отчетливо устанавливаются два этапа минерализации – додаечный (сингенетический) и синдаечный. Не исключено, что по примеру вышеописанных крупнейших золото-платиносодержащих черносланцевых комплексов мира (Мурунтау, Кумтор, Сухой Лог и др.), здесь также в процессе внедрения даечных образований (андезитов, андезито-дацитов, риодацитов, кварцевых порфиров) происходило перераспределение и концентрация более раннего сульфидного оруденения и наложение второго гидротермального этапа оруденения. Возможно, эти обра-

зования одновозрастны с оруденением Марцигетского месторождения.

Результаты этих исследований имеют огромное значение для расширения прогнозных ресурсов Антарамутского месторождения как по площади, так и по разрезу, что увеличит предварительные оценочные цифры в десятки раз и ожидаемые запасы благородных металлов составят более 80-100 тонн. И это не предел.

На данной стадии изученности комплексов Армении пока нет достаточных данных для однозначного принятия какой-либо концепции рудообразования, но одно несомненно имеет место – цикличность формирования комплексов в течение фанерозоя и связь их с процессами рифтогенеза и активизации глубинных разломов, что хорошо согласуется с периодами усиленного поступления в биосферу эндогенного CO_2 (Юдович, Кетрис, 1988).

Этот новый вид рудного сырья по качеству и количеству металлов, а также простоте технологической схемы обогащения и благоприятным горно-геологическим условиям открытой разработки может составить конкуренцию, **во-первых**, разведанным месторождениям золоторудной (золотополиметаллической) формации, числящимся на госбалансе Армении, а **во-вторых**, платиноносности перспективных комплексных месторождений медно-молибденовой формации: Каджаран, Агарак, Техут и др. Следует учесть, что наиболее крупные по масштабам и качественные по содержанию благородных металлов терригенно-угленосные комплексы расположены в промышленно освоенных горнорудных районах с развитой инфраструктурой и наличием действующих горнообогачительных и золотоизвлекательных фабрик. Например, месторождения Шамут и Антарамут находятся в сфере влияния Алавердского медеплавильного комплекса (АСР), Джерманис – Араратской золотоизвлекательной фабрики (AGRC), Нор-Аревик – Айгедзорской ЗИФ (Сипан-1).

По нашей предварительной оценке, за счет потенциальных ресурсов терригенно-угленосных комплексов разведанные общие запасы золота республики могут быть увеличены в несколько раз, а платиноиды – взяты на баланс в количестве до 500т, в результате чего Армения может занять одно из ведущих мест среди крупней-

ших золоторудных провинций мира. Этот проект может стать альтернативой южнокавказскому нефтяному проекту.

Таким образом, в пределах Армении выявлена новая рудная формация – золото-серебро-платиносодержащая терригенно-углесланцевая, что имеет важное научное и прикладное значение и открывает новые перспективы для всего Кавказского региона и Ближнего Востока, а также создает научно-практические предпосылки для прорыва традиционных устоев по расширению территории поисков на благороднометалльное оруденение.

В целях оказания содействия частному бизнесу и повышения эффективности освоения этого нового для Армении вида сырья необходимо создание соответствующей нормативно-технологической базы, обеспечивающей перевод нерудного топливного сырья в категорию рудно-топливного. Это, **во-первых**, разработка параметров качественной и количественной оценки горно-геологических условий рудовмещающего массива; **во-вторых**, разработка оптимальной технологии разведки, добычи и обогащения сырья; **в третьих**, умелое использование существующей инфраструктуры для нужд нового производства.

1.2.4. Рудные компоненты в терригенно-углесланцевых комплексах

Проблема металлоносности – благороднометалльности и редкометалльности черносланцевых (угленосных, терригенно-углесланцевых) комплексов Армении – выдвинута недавно. В настоящее время доказана перспективность многих, ранее отбракованных месторождений бурых углей и горючих (углистых) сланцев, на содержание благородных, редких, цветных и черных металлов, а также на радиоактивные элементы. Промышленный интерес в первую очередь представляют золото, серебро, платиноиды (МПГ) и радиоактивные элементы, что в корне меняет экономический потенциал сырья и открывает новые перспективы на проведение специальных геолого-геохимических и минералого-технологических исследований с целью выявления особенностей избирательной концентрации металлов, вещественного (преимущественно рудно-

го) состава вмещающих терригенно-углесланцевых комплексов разного возраста и их обогатимости для разработки оптимальной схемы извлечения полезных компонентов. Поэтому возникает необходимость исследований по созданию соответствующей нормативно-технологической базы, обеспечивающей перевод нерудного **топливного сырья в категорию рудно-топливного**. Металлоносные углесланцевые комплексы пород – это новый и перспективный вид минерального сырья для Армении по аналогии с ведущими черносланцевыми геотипами мира и России.

Резкое увеличение извлекаемой ценности углесланцевых комплексов Армении обеспечивает разработку принципиально нового подхода к перспективам рационального использования терригенно-углесланцевых отложений, и возникает возможность их глубокого технологического изучения. Технологические исследования теперь можно направить не только на разработку оптимальной комплексной схемы по полному извлечению и получению чистых металлов (в первую очередь благородных), но также на получение высокооктанового топливного сырья, органических соединений, генераторного и бытового (синтез) газа, различных красителей-пигментов и качественного бытового твердого топлива (обогащенного угля) в брикетах. С целью реализации этой программы, разработан проект “УГАР” (Угли Армении), который будет представлен в правительство РА для его реализации. В условиях длительной блокады и отсутствия естественных источников газа и нефти и ежегодном ввозе огромного количества газа и бензина, результаты исследований по проекту “УГАР” приобретают стратегическое значение и могут резко снизить затраты на топливно-энергетические ресурсы и обеспечить военно-промышленный комплекс и гражданское население дешевым топливом. Межправительственный Совет стран СНГ по разведке, использованию и охране недр, учитывая важность и технологическую новизну проведенных работ, исследования по углям Армении включил в целевую комплексную программу “Новые технологии разведки, добычи, переработки и использования угля”.

В настоящей главе впервые рассматриваются рудные компоненты в терригенно-углесланцевых комплексах Армении и тех-

нологические возможности извлечения благородных металлов (Au, Ag, МПГ), что является одной из составных частей проекта “УГАР” и будет, как нам кажется, способствовать повышению заинтересованности потенциальных инвесторов для реализации результатов научно-исследовательских работ.

По данным минералогических исследований в бурых углях и углистых сланцах установлены рудные минералы: пирит, халькопирит, магнетит, самородные золото, платина и серебро, редко самородная медь, сфалерит и гематит. Нерудные минералы представлены кварцем, карбонатами, полевыми шпатами, серицитом, гипсом и др. Ниже приводим краткое описание рудных минералов, представляющих для нас особый интерес.

Пирит является одним из основных концентраторов золота (рис. 1.7; 1.8; 1.9-1.17). Часто встречается в виде единичных зерен неправильной, округлой, осколочной (0,01мм), местами удлинённой (0,01-0,04мм), даже червеобразной (0,005x0,08мм) формы. Образует очень мелкие вкрапления (средний размер до 0,02мм), а местами мельчайшую сыпь в поле нерудного минерала. Характерная мелкая рассеянная вкрапленность по всей поверхности шлифа до эмульсионной сыпи. Часто пирит образует оолитообразные выделения в виде колоний. Зерна пирита в большинстве случаев трещиноватые. Подробно о морфогенетических особенностях пирита см. ниже.

Магнетит встречается часто и является одним из концентраторов платины. Обычно встречается в виде округлых зерен, часто проявляется в виде сгруппированных оолитов, размерами 0,03мм каждый, иногда размерами 0,005-0,02мм.

Халькопирит встречается часто в виде скоплений. Размеры отдельных зерен от 0,025мм до эмульсионной сыпи. Наиболее крупные зерна раздроблены, трещиноваты. В сростках с халькопиритом наблюдаются зерна пирита, размерами 0,03мм. Форма выделений халькопирита неправильная, местами удлинённая, часто причудливых контуров с включениями золота. Размеры колеблются в пределах 0,05мм, а червевидные зерна имеют размеры 0,02x0,03мм, в отдельных случаях – 0,06мм. Редко в халькопирите встречаются блеклые руды и пирит.

Сфалерит встречается редко, размерами 0,08мм с эмульсионной вкрапленностью халькопирита.

Самородная медь встречается в виде крохотных зерен, размерами 0,008мм. Встречаются единичные зерна до 0,006мм. Обычно представлена субмикроскопическими выделениями, размерами 0,003-0,007мм.

Гематит также встречается редко, представлен зернышками (0,02мм), рассеянными по поверхности шлифа.

Благородные металлы. **Золото** представлено в самородном виде, а также сульфидами в различных формах (рис. 1.4; 1.5; 1.7; 1.8). Часто встречается в виде рассеянной субмикроскопической сыпи (от 0,001 до 0,007мм) золотинок округлой, треугольной, удлинённой, червевидной, дендритовидной формы. Редко встречаются золотинок в пирите и халькопирите. Самородное золото и золотоносные сульфиды встречаются также в окремнёных алевролитах в ассоциации с кварцем в виде субмикроскопической вкрапленности, часто заключённой в непроницаемый матрикс микрокристаллического кварца, кремния или аморфных форм опалового кремнезёма, препятствующих вскрытию золота и требующих более тонкого помола.

Серебро встречается редко. Самородки образуют небольшие зерна в углеродистом веществе (рис. 1.6).

Платина представлена в самородном виде (рис 1.2; 1.3). Часто образует маленькие точечные (0,006-0,007мм), каплевидные (0,006мм) и неправильной формы зерна. Редко встречаются зерна изометричной формы, размерами 0,04мм, а наиболее крупные – неправильной формы до 0,09мм.

По данным минералогических и рентгеноструктурных исследований и химических анализов, золото и серебро представлены в основном в свободном виде (50%) и в сростках с сульфидами. Платиноиды представлены поликсомом, камаситом, купроплатиной, ферроплатиной и редко в самородном виде. Характерна изоморфная связь МПП с железом; наблюдаются твёрдые растворы Pt-Fe-Cu.

В гравитационном концентрате тяжелой (металлической) фракции (углей, углесланцев) рудная минерализация представлена

частыми, мелкими зернами пирита и в меньшей степени халькопирита. Размеры пирита в среднем составляют 0,04-0,03мм. Халькопирит представлен ксеноморфными зернами величиной до 0,09мм. Редко встречаются магнетит и гематит. Наблюдаются чешуйки золота, серебра и платины. Нерудные минералы представлены кварцем, полевым шпатом, серицитом. В хвостах гравитации рудная минерализация почти отсутствует. Наблюдаются единичные субмикроскопические зерна золота размерами 0,015мм и зерна платины размерами 0,009мм.

Во флотационном концентрате рудная минерализация представлена зернами пирита (0,01-0,04мм). Форма выделений гипидиоморфозернистая, местами неправильно осколочная, удлинённая, червеобразная (0,015x0,1мм). Обычно пирит трещиноватый. Встречаются халькопирит, магнетит, золото, платина, серебро, очень редко сфалерит и самородная медь.

1.2.5. О возможных путях эпигенетической концентрации сульфидов в углесланцевых комплексах

Повышенный интерес к терригенно-угленосным отложениям Армении начал проявляться после установления их благородно-металлическости и обоснования перспективности их промышленного освоения. Результаты предварительных научно-исследовательских и технологических исследований были опубликованы и получили большой резонанс (Алоян П., Алоян Г., 2003₁, 2003₂, 2003₃). Впервые угленосные отложения Армении были рассмотрены в качестве **рудно-топливного сырья**, и потому возникла настоятельная необходимость детального изучения минеральных компонентов углей, в особенности рудных компонентов этого перспективного вида комплексного сырья.

В настоящей главе впервые рассматривается фактический материал по морфогенетическим особенностям рудных компонентов в углях Армении, в особенности сульфидов железа, в частности, железного колчедана (дисульфида железа) – пирита. Пирит в угленосных комплексах Армении является одним из основных концентраторов золота, и потому формы его проявления, имеющие генетическую основу, представляют как научный, так и

практический интерес для технологических исследований. В настоящее время этот вопрос изучен относительно слабо, а угленосные отложения Армении на “колчедан” вообще не изучены. По этой тематике имеются единичные работы (Клер, Ненахова, 1981; Юровский 1968; Шнейдерхен, 1958) общего характера, а основная литература рассматривает условия образования пирита в осадочных породах (Рамдор, 1962; Перельман, 1972; Смирнов, 1955; Угленосные формации и их генезис, 1973).

Результаты исследований показывают, что основные минеральные компоненты (примеси) в углях представлены глинистыми минералами, сульфидами железа, кварцем, карбонатами кальция и железа. В меньшем количестве встречаются халькопирит, сфалерит, галенит; редко биотит, мусковит (серицит), хлорит, а также самородное золото, серебро, медь и металлы платиновой группы. В шлихах встречаются полевые шпаты, вулканические стекла, единичные зерна апатита, циркона, сфена, эпидота и граната. В зоне окисления углей часто присутствуют гипс, лимонит, ярозит, гиббсит, образующие как налеты вдоль трещин, редко тонкие прожилки, так и единичные обособленные агрегаты.

Пирит (FeS_2) в углях является постоянным минеральным компонентом угольных разрезов, при содержаниях от 1 до 20%. Пирит в углях образует конкреции различных форм (до 1 см), пластовые маломощные тела, псевдоморфозы по органическим компонентам, тонкие прожилки и налеты по плоскостям напластования и трещиноватости, а также вкрапленность в тонкорассеянном виде.

Пирит в терригенно-угленосных отложениях Армении имеет широкое распространение и характеризуется различными формами выделений, определяемыми генетическими условиями его образования. Обычно пирит представлен неравномерной вкрапленностью. На отдельных участках скопления пирита занимают от 0,1-0,2 до 2-3% поверхности шлифа с размерами некоторых индивидуумов от 0,007-0,01 до 0,1-0,2 мм. Часто наблюдаются отдельные крупные зерна, размерами 0,3x0,4 мм. Пирит часто встречается в виде единичных зерен неправильной, округлой, осколочной (размерами до 0,01 мм), местами удлиненной (0,01-0,04 мм) (рис. 1.10),

даже червеобразной (0,005x0,08мм) формы. Образует очень мелкие вкрапления (до 0,02мм), а местами мельчайшую сыпь в поле нерудного минерала или обломков пород (кварца, аргиллита). Характерна мелкая рассеянная вкрапленность по всей поверхности шлифа вплоть до эмульсионной сыпи. Пирит часто представлен кубическими (0,007-0,015мм) кристалликами, иногда недоразвитыми кристаллическими образованиями с одной или двумя гранями. Кристаллы и относительно крупные выделения пирита в большинстве случаев трещиноватые. Часто густая сыпь пирита концентрируется и образует прожилкообразное шлировое выделение, мощностью от 3-4мм до 1-2см. Размеры отдельных вкрапленников, образующих прожилки, колеблются от субмикроскопических до 0,035мм. Очень редко встречаются зернистые агрегаты пирита.

Пирит часто встречается в ассоциации с марказитом, халькопиритом и магнетитом в виде сростков. Марказит встречается часто, но по количеству уступает пириту. Образует игольчатые и каплевидные кристаллы, разбросанные по массе тонковкрапленного пирита. Размеры марказита в поперечнике составляют 0,004мм, а длина кристаллов доходит до 0,1мм (рис. 1.9). В зоне окисления пирит ассоциирует с лимонитом и гидроокислами железа; редко встречается ярозит.

Фактический материал, полученный в результате полевых работ и оптических минералогических исследований, показывает, что пирит в терригенно-угленосных отложениях Армении отличается многообразием форм выделений и бывает сингенетическим (седиментационным) и эпигенетическим. Четкое разграничение форм выделений пирита по генетическому принципу проводится впервые. В частности, как показали наши исследования, эпигенетический пирит бывает осадочно-инфильтрационным (водородно-хемогенным) и редко гидротермальным. Осадочно-инфильтрационный пирит имеет свои характерные формы выделений и бывает водородно-хемогенным и органогенным (микробактериальным).

По мнению В.Р. Клер и В.Ф. Ненаховой (1981), сульфиды железа присутствуют в углях преимущественно в виде пирита, редко марказита и имеют эпигенетическое происхождение. Приведенный в главе материал свидетельствует о том, что пирит в терри-

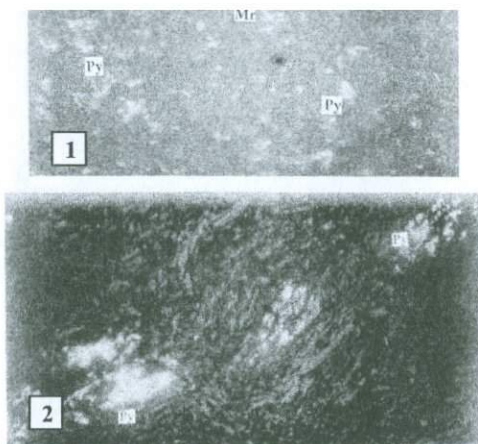


Рис. 1.9 Пирит в терригенно-углесланцевых отложениях Армении

1 - вкрапленность пирита и игольчатые кристаллы марказита в угле. Нор-Аревик. Карьер 03. Аншлиф Ар-Карьер-03. Ув. $\times 200$. Пл.3463, к.5.; 2 – скопления пиритовых выделений ориентированы согласно общей структуре угля. Антарамут. Аншлиф А-20/5-У. Ув. $\times 125$. Пл.3361, к.7.

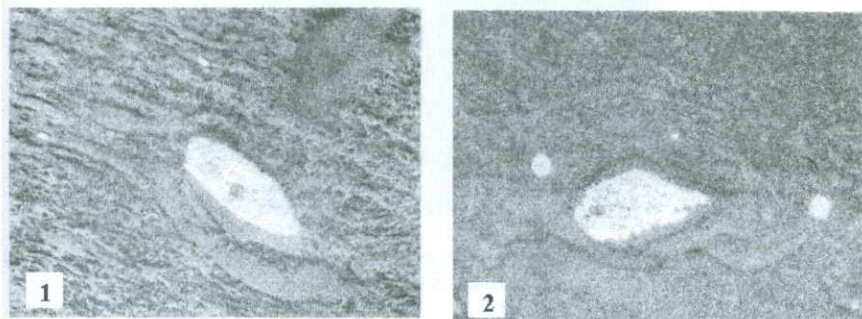


Рис. 1.10 Пирит в терригенно-углесланцевых отложениях Армении

Антарамут. Аншлиф А-20/5-У: 1 – 2 массив оолитов пирита в углях; внутренняя структура углей огибает включения пирита. Ув. $\times 250$. Digital 000065, к.5 и 6.

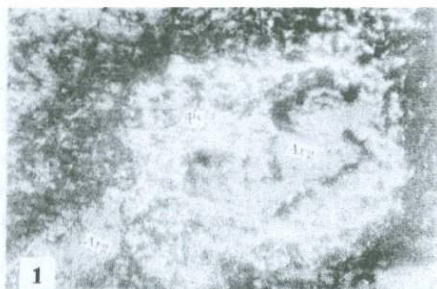


Рис. 1.11 Пирит в терригенно-углесланцевых отложениях Армении

1 – уголь, крупный колломорфный агрегат пирита вокруг обломка аргиллита. Антарамут. Аншлиф А-20/5-У. Ув. $\times 125$. Пл.3361, к.3.

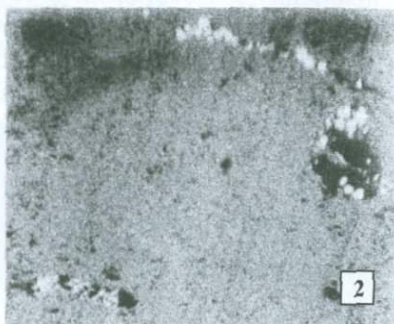
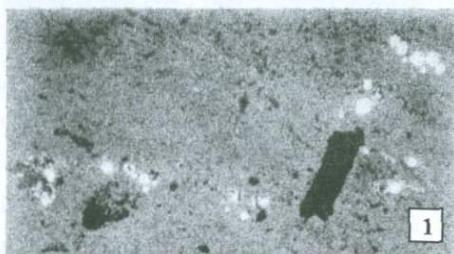


Рис. 1.12 Псевдоморфозы (оолиты) пирита по микросеробактериям в терригенно-углесланцевых комплексах Армении

Антарамут. Аншлиф А-18/14-У: 1 - рассеянная вкрапленность оолитов пирита вдоль микротрещин и нерудных минералов в бурых углях. Ув. $\times 110$. Пл.3361, к.23.; 2 - шарообразные выделения (оолиты) пирита в бурых углях. Концентрация оолитов вдоль трещин и в пределах обломков аргиллитов. Ув $\times 80$. Пл.3361, к.22.

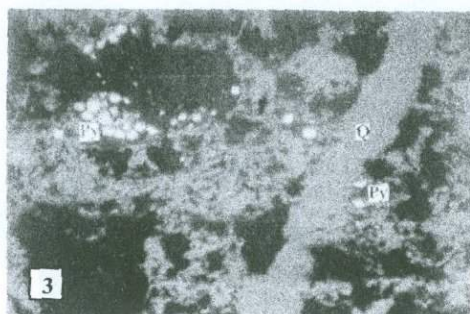
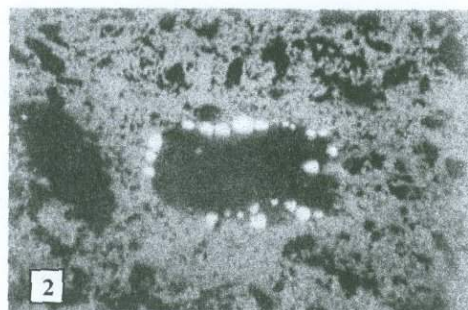
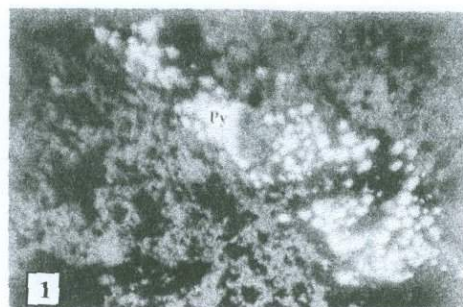


Рис. 1.13 Псевдоморфозы (оолиты) пирита по микросеробактериям в терригенно-углесланцевых комплексах Армении

Антарамут. Аншлиф А-18/14-Д: 1 – густое скопление оолитов пирита вдоль трещин дробления дайки кварцевого порфира. Ув. x80. Пл.3361, к.19; 2 – концентрация оолитов (шарообразных) пирита по периметру нерудного обломка. Ув. x125. Пл.3361, к.16; 3 – распределение оолитов пирита вокруг порфириформного включения нерудного минерала. Ув. x80. Пл.3361, к.17.

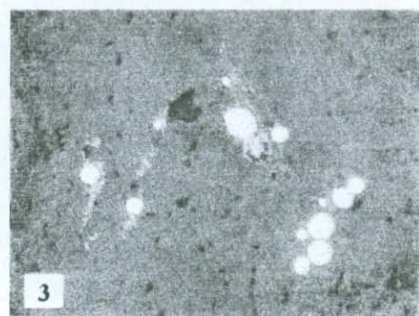
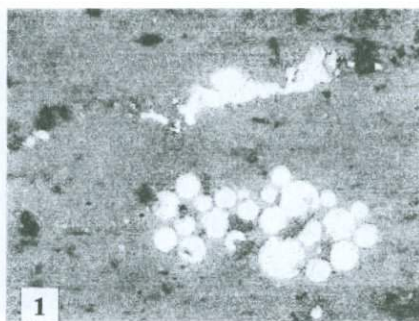


Рис. 1.14. Антарамут. Псевдоморфозы (оолиты) пирита по микросеробактериям в терригенно-углесланцевых комплексах Армении. Аншлиф А-18/14-У, Ув. х250, Digital 000065

- 1 – кучное выделение оолитов пирита по микросеробактериям, к.2;
- 2 – гроздевидное скопление оолитов пирита по микросеробактериям, к.3;
- 3 – рассеянная крапленность оолитов пирита в микротрещинах угля, к.4.

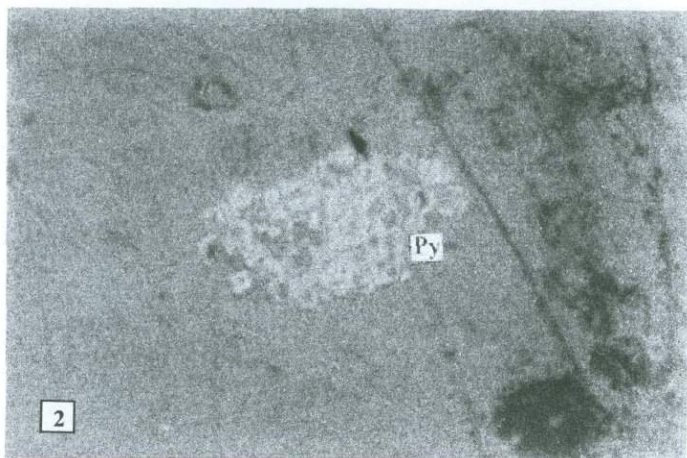
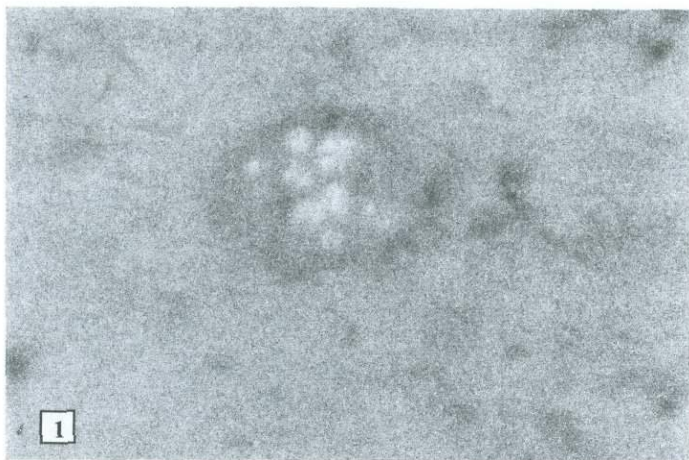


Рис. 1.15 Пирит в терригенно-углесланцевых комплексах Армении

1 – сгусток оолитов пирита в обломке нерудного минерала. Нор-Аревик. Аншлиф Ар-ЛП-1/2, уголь. Ув. $\times 270$. Пл.2529, к.3; 2 – колония оолитов пирита в углистом сланце. Шамут. Сварной аншлиф Ш-16. Ув. $\times 300$. Пл. 8046, к.4.

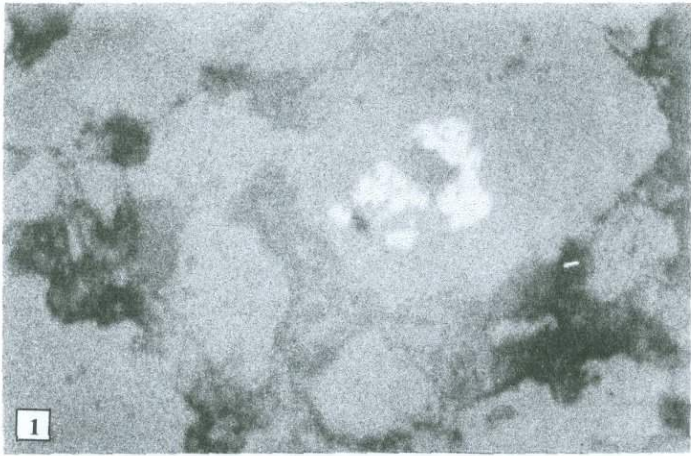


Рис. 1.16 Пирит в терригенно-углесланцевых комплексах Армении

1 – коллоидные агрегаты пирита в кристалле раздробленного кварца. Джерманис. Аншлиф Дс-5/1. Ув. $\times 470$. Пл.8984, к.6; 2 – пирит в будинированной прослойке аргиллитов. Наблюдается также редкая тонкая вкрапленность пирита в угле. Антарамут. Аншлиф А-20/5-У. Ув. $\times 125$. Пл. 3361, к.6.

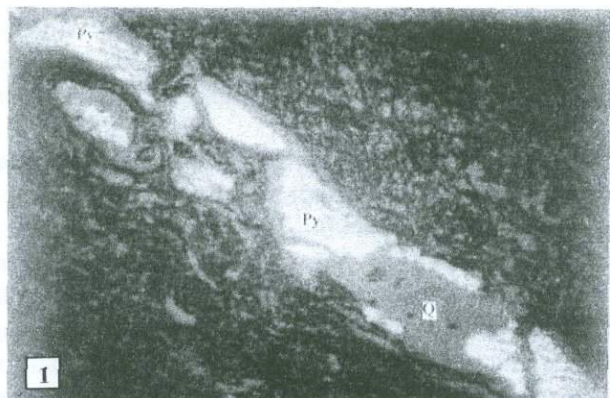


Рис. 1.17 Пирит в терригенно-углесланцевых комплексах Армении

1 – концентрация шарообразных оолитов пирита вдоль будинированного кварц-пиритового прожилка в углях. Антарамут. Аншлиф А-20/5-У. Ув. $\times 300$. Пл.3361, к.2; 2 – структура течения в угле. Два крупных выделения пирита справа расположены вдоль общей структуры. Цепочка тонких выделений ориентирована перпендикулярно структуре, но в ее пределах выделения агрегатов пирита, локализованных согласно со структурой. Уникальный кадр “елочной” структуры. Антарамут. Аншлиф А-20/5-У. Ув. $\times 125$. Пл. 3361, к.10.

генно-угленосных отложениях Армении бывает как сингенетическим, так и эпигенетическим, в зависимости от геологических условий формирования минеральных составляющих. Наиболее часто наблюдается наложение эпигенетического пирита на сингенетический.

Сингенетический пирит имеет характерные формы выделения, которые “согласно” вписываются во внутреннюю структуру терригенно-угленосных отложений. Это преимущественно окатанные, эллипсоидные или округленные агрегаты, редко по краям зазубренные. Часто наблюдается рассеянная мелкая вкрапленность или эмульсионная сыпь пирита по всему прослою угля, или в виде сгущенных шлировых выделений. Интересно отметить, что в некоторых случаях в отдельных “согласно” лежащих агрегатах (линзах до 0,015мм) пирита при больших увеличениях прослеживается характерная внутренняя структура агрегата причудливой формы в виде скопления (нагромождения) колломорфных автономных выделений оолитов пирита на основе микробактериальных колоний (рис. 1.12-1.14). Нет сомнения, что это сингенетические образования.

Характерной особенностью сингенетических выделений пирита является то, что они лежат согласно с общей внутренней структурой углей и терригенно-угленосных образований, т.е. внутренние структурные элементы пород плавно огибают их, а местами даже проникают в “разъеденные” агрегаты пирита (рис. 1.10-1.11).

Эпигенетический пирит по способам концентрации проявляется в различных генетических типах и соответственно им – в различных морфологических формах:

1. Биогенный, образованный в результате жизнедеятельности микроорганизмов (или особых форм микрорастений) и представленный органогенными оолитообразными шаровидными псевдоморфозами пирита по микробактериям.

2. Хемогенно-гидрогенный (гидрогенно-хемогенный), образованный кислород-железосодержащими грунтовыми или пластовыми водами и представленный прожилково-вкрапленными образованиями вдоль полостей трещин, часто в ассоциации с органогенными образованиями.

3. Гидротермальный, образованный в контактовых зонах даек или небольших дайкообразных тел средне-кислого состава и представленный кварц-пиритовыми будинированными тонкими прожилками с наложенными органогенными и гидрогенно-хемогенными образованиями.

В чистом виде эти генетические типы встречаются редко и в основном, как уже отмечено, имеют смешанный характер, что для угленосных формаций является специфической особенностью.

Особый интерес среди эпигенетических пиритов в терригенно-угленосных отложениях представляют “елочные” структуры, имеющие гидрогенно-хемогенное происхождение. Они развиваются вдоль микротрещин, длиной от 2-2,5 до 10 и более мм, ориентированных косо ($\sim 45^{\circ}$) или нормально к внутренней структуре угля. Несмотря на общий секущий характер непрерывно-прерывистой цепочки, скопления пирита (сульфидов) локализуются согласно (вдоль) внутренней структуре угля и плоскостям микросмещений (структур течения), что аналогично субпластовым мелким залежам (рис. 1.17), оставляя впечатление лежащей ели, когда ветки параллельны внутренней структуре угля, а ствол сечет под углом $45-90^{\circ}$. Поэтому эта уникальная эпигенетическая структура нами названа “елочной”. Часто наблюдаются две или несколько параллельных “елочных” структур, о чем было сказано выше.

Наиболее экзотические формы выделений образуют оолиты пирита по микробактериям (рис. 1.9-1.17). Они имеют в основном равномерную величину шариков и типичное концентрическое строение. Следует учесть, что встречаются также “псевдооолиты” с концентрическим строением. Формы выделения органогенного пирита (оолитов, шариков) многообразны. Это одиночные, цепочковидные и кучные выделения оолитов, их гроздевидные скопления, компактная автономная многоячеистая колония, ожерелья шаровидных оолитов вокруг нерудных минералов и будинированных осколков гидротермального кварц-пиритового прожилка и др. Размеры отдельных оолитов-шариков в диаметре достигают 0,012мм. Следует отметить, что эпигенетический характер органогенных оолитов пирита очень четко устанавливается в пределах будинированных кварц-пиритовых прожилков, когда линейная или группо-

вая концентрация оолитов происходит по периметру будин-осколков, или между ними, или вдоль растасканного гидротермального прожилка согласно общей структуре течения и самого угля (рис. 1.16-1.17). Эти оолиты пирита являются биогенными (возможно, и хемогенно-биогенными), т.е. за счет микробактерий в результате циркуляции железосодержащих водных растворов и взаимодействия с сероводородом от сульфатредуцирующих микросеробактерий. Это не гидротермальный, а органогенный-эпигенетический пирит, наложенный на гидротермальный.

Иногда бывает очень трудно различать сингенетический оолит от эпигенетического. В осадочных породах, в отдельных случаях, по П.Рамдору, при росте из расплавов и растворов встречаются небольшие кокарды гидротермальных, а также низкотемпературных образований, “почти точно” соответствующие форме оолита, но они весьма изменчивы в размерах (Рамдор, 1962). Для пирита по микробактериям П.Рамдор применяет термин “оруденелые бактерии” или “оолитовые” и “бактериевидные” структуры и считает, что по смысловому значению они “относятся” к осадочным породам. Он здесь же оговаривается, что в каждом конкретном случае необходимо основательное обсуждение геологических данных и сопровождающих структур для определения условий образования оолитов и определения их осадочного или гидротермального (эпигенетического) происхождения. О роли серных бактерий в процессе образования псевдоморфоз пирита (в осадочных породах) отмечает также Г.Шнейдерхен, который подробно описывает условия образования сульфидных минералов в горных породах морского происхождения жизнедеятельностью “бактерий цикла серы” и родственных микроорганизмов (Шнейдерхен, 1958). Наиболее подробно условия образования оолитовых псевдоморфоз пирита по микросеробактериям в углях описывает А.З.Юровский. По его мнению, основная роль в воспроизводстве сероводорода из сульфатов принадлежит микробиологическим процессам, обусловленным жизнедеятельностью сульфатредуцирующих бактерий. Особо подчеркивается, что для функционирования всех без исключения видов бактерий этой категории наиболее благоприятной обстановкой является восстановительная и щелочная среда. Факторы, обуслов-

ливающие интенсивное формирование серного колчедана в углях, приводятся на схеме (Юровский, 1968).

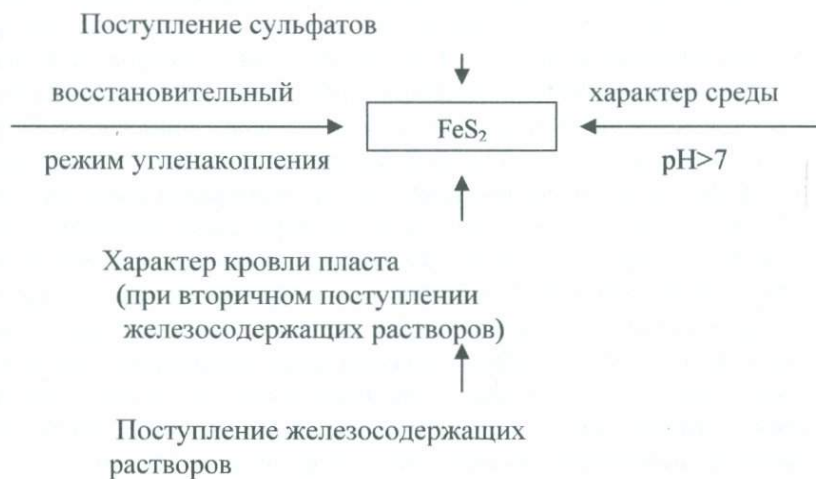


Схема формирования серного колчедана в углях (Юровский, 1968)

Исследования А.З. Юровского убедительно показывают, что оолитовые выделения пирита в углях являются их псевдоморфозами по бактериальным колониям. Кроме того, установлено, что существует определенная зависимость между содержанием серы в углях и характером восстановительного режима в процессе накопления угля. В первом приближении характер восстановительной среды отражает содержание кислорода в углях.

Установлено, что процесс образования сернистого железа – дисилицида железа FeS₂ (а не FeS или соединений типа пирротина FeS_n, где 1<n<2) – происходит по следующей реакции в условиях щелочной или нейтральной среды (Смирнов, 1955):



По мнению А.З. Юровского, сульфат железа FeS₂ образуется в результате взаимодействия сульфатов щелочных и щелочно-земельных металлов с солями и гидроксидом железа в процессе уг-

леобразования, а воспроизводство сероводорода из сульфатов обусловлено жизнедеятельностью сульфатредуцирующих микросеробактерий в условиях восстановительной и щелочной среды. В сульфатредуцирующих бактериальных колониях возникают центры-ячейки (гнезда), насыщенные сероводородом, в которых, в условиях просачивания через перекрывающие породы железосодержащих растворов, происходит интенсивный процесс образования FeS_2 в углях. Процесс образования FeS_2 во многом обуславливается физико-механическими параметрами пород, перекрывающих угольные пласты, т.е. литологическим составом терригенно-угленосного разреза, чем и определяется их дренажная способность для просачивания железосодержащих метеорных вод. Исследованиями показано, что песчаники и песчанистые известняки по своим физико-механическим параметрам являются более водопроницаемыми породами и обеспечивают более высокую проницаемость для железосодержащих растворов, в отличие от глинистых пород, которые, насыщаясь водой, становятся водоупорными и не пропускают растворы. Этим в основном определяется степень сернистости (пиритости) подстилающих угольных слоев.

Уровень сернистости в угленосных отложениях обычно определяется содержанием в них пирита (Юровский, 1968). Однако часто сера бывает связана не только с пиритом, но и с другими сульфидами, а также карбонатами и силикатами, что при таком подходе может исказить реальную картину. Учитывая то обстоятельство, что в угленосных отложениях Армении пирит занимает главенствующую роль по сравнению с другими серосодержащими соединениями, в нашем случае искажения реальной картины не ожидается, и количество пирита в целом будет определять степень сернистости углистых образований. С этой целью в ИГЕМ РАН (г.Москва) были проведены аналитические исследования по определению содержания S и Fe в пробах основных угольных месторождений Армении. По данным анализов нами произведен пересчет количества пирита, а также количества серы и железа, связанных с пиритом. Пересчет произведен с использованием пересчетных коэффициентов для расчета количества минералов по содержанию минералообразующих элементов в пробах. Результаты пе-

решения приводятся в таблице 1.7 Данные таблицы дают основание отметить следующее:

1. По содержанию пирита выделяются три группы углей и углистых сланцев, с резким преобладанием пиритной серы:

а) Содержание пирита $>5\%$, при среднем содержании 6.25% . Максимальные содержания пирита $7,3-7,35\%$. Это угли и глинистые сланцы Шамута (пробы 75,76,77) и углистый сланец Иджевана (71). Это высокосернистые угленосные отложения. Содержание серы в этих пробах варьирует в пределах $3,05-5,2\%$, при среднем $3,8\%$.

б) Содержание пирита $>2,5<5\%$ при среднем $2,6\%$. Максимальные содержания пирита $2.63-2.65\%$. Это угли Нор-Аревика (78) и углистые сланцы Иджевана (72) и Антарамута (74). Это умеренно сернистые отложения. Содержание серы в них $1,34-1,42\%$, при среднем 1.39% .

в) Содержание пирита $<1\%$. Это углистые сланцы Антарамута (73) с содержанием пирита $0,77\%$, при среднем содержании серы $0,41\%$. Это слабосернистые углистые сланцы.

Выделенные группы пород по сернистости отличаются друг от друга морфоструктурными особенностями форм выделений пирита. Для углей первой группы (а) характерны компактные **многоячейчатые** колонии, для второй группы (б) – **многообразное сочетание оолитов-шариков**, и, наконец, для третьей группы (в) – **тонкопрожилковые и вкрапленные выделения пирита**. Повидимому, в первых двух группах роль микроорганизмов высока, чем и обусловлена морфометрия их форм выделения и биогенное (органогенное) происхождение.

2. В углях содержание пирита колеблется в широких пределах и составляет $2,63$ (Нор-Аревик, 78)- $7,31\%$ (Шамут, 76), при среднем содержании $5,1\%$. Содержание серы варьирует в пределах $1,41-5,2\%$, при среднем значении $3,14\%$. Причем только в углях Шамута (76), при содержании общей серы $5,2\%$, с пиритом не связаны только $1,29\%$ серы (т.е. 25%), а железо полностью связано с пиритом. В углях Нор-Аревика и Джаджура, наоборот, сера полностью связана с пиритом, а железо, не связанное с пиритом, составляет 61% (от $3,16\%$) и 40% (от $4,08\%$) соответственно.

Пересчет количества серы и железа, связанных с пиритом в угленосных отложениях Армении *)

N/N п/п	Место- рожде- ние	Номер пробы	Состав породы	Содержание, %		Количество, %				
				S	Fe	пири- та	серы		железа	
							в пирите	не связан с пиритом	в пирите	не связан с пиритом
1	Иджеван	71	Угл. сланец	3,13	2,65	5,7	3,05	0,08	2,65	-
		72	Угл. сланец	1,42	6,11	2,65	1,42	-	1,23	4,87
2	Ангара- мут	73	Угл. сланец	0,41	3,23	0,77	0,41	-	0,36	2,87
		74	Угл. сланец	1,34	3,42	2,51	1,34	-	1,17	2,25
3	Шамут	75	Угл. сланец	3,05	2,85	5,7	3,05	-	2,65	0,20
		76	Уголь	5,2	3,4	7,31	3,91	1,29	3,4	-
		77	Угл. сланец с глиной	3,93	3,91	7,35	3,93	-	3,42	0,49
4	Нор- Аревик	78	Уголь	1,14	3,16	2,63	1,41	-	1,22	1,93
		79	Угл. гравикон- центрат	4,67	10,02	8,73	4,67	-	4,06	5,96
		80	Угл. гравикон- центрат	0,18	26,01	0,34	0,18	-	0,16	25,85
5	Джерма- нис	81	Угл. гравикон- центрат	0,53	9,16	0,99	0,53	-	0,46	8,7
6	Джаджур	82	Уголь	2,81	4,08	5,25	2,81	-	2,44	1,63
		83	Угл. гравикон- центрат	7,18	2,69	5,78	3,09	4,09	2,69	-

*) Пересчет произведен с использованием пересчетных коэффициентов для расчета количества минералов по содержанию минералообразующих элементов в пробах.

3. В угленосных сланцах, за редким исключением (Иджеван, 71), сера полностью связана с пиритом, а железо, не связанное с пиритом, составляет в сланцах Иджевана (72) 80%, Антарамута (73,74) – 77,5%, а Шамута (75,77) – 10%. Это обусловлено тем, что в угольных сланцах Иджевана и Антарамута значительная часть железа связана с магнетитом, гематитом, гидроокислами железа и другими железосодержащими минералами (камасит, поликсен), а также с карбонатами, силикатами и органическими соединениями. Отметим, что высокие содержания железа, не связанного с пиритом, установлены также в угленосных сланцах Нор-Аревика (данные ГМИ) и в меньшей степени Джерманиса, которые нашли свое отражение в гравиконцентрах (79, 80, 81).

4. Почти вся сера в угленосных отложениях Армении связана с пиритом. Исключение составляет Иджеван – 71 (сланец), где с пиритом не связаны 2,6% серы, Шамут – 76 (уголь) – 25% и Джаджур – 83 (гравиконцентрат) – 57 %. Это, по-видимому, обусловлено наличием сульфатов Cu, Fe и Ba, переходящих в концентрат. Химические анализы ИГЕМ РАН подтверждают значительное их количество в угленосных отложениях и концентратах.

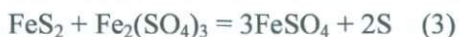
В зоне гипергенеза окисление пирита в терригенно-угленосных отложениях идет по общеизвестной схеме сульфидных месторождений (Угленосные формации и их генезис, 1973). Характерной особенностью этого процесса является то, что продукт окисления пирита – Fe^{3+} – снова вступает в реакцию с пиритом. Окисление пирита трехвалентным железом, известное как прямое действие в бактериальном окислении, протекает по реакции (3).

Обычно в зоне гипергенеза в условиях воздушно-водяного окисления протекает следующая реакция:

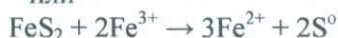


Закаисный сульфат $FeSO_4$ неустойчив в условиях слабой кислотности и наличия кислорода и переходит в окисный железный сульфат $Fe_2(SO_4)_3$. В нейтральных или слабокислых растворах $Fe_2(SO_4)_3$ также неустойчив и гидролизуеться, образуя серную кислоту и гидроксид железа $Fe(OH)_3$. Последняя, дегитратизируясь, в

конечном итоге образует минералы группы лимонита – лимонит dead look. Серная кислота в зоне окисления не оказывает существенного влияния на пирит. Сульфат железа активен по отношению к пириту, и в условиях отсутствия свободного кислорода образуется значительное количество элементарной серы, которая хотя и малоустойчива и быстро окисляется, но может быть вовлечена в процесс воспроизводства сероводорода из сульфатредуцирующих микроорганизмов:



или



Наличие элементарной серы в углях является одним из основных подтверждающих факторов возможности течения реакции (1).

Исследованиями установлено, что скорость реакции окисления пирита (и марказита) во многом определяется участием в этих процессах микроорганизмов *Thiobacillus thiooxidans* и *Thiobacillus ferrooxidans*. Нейтральная и щелочная среда благоприятно действует на их жизнедеятельность (Юровский, 1968). При этом наблюдается определенная специализация микроорганизмов. Бактерия *ferrooxidans* окисляет серноокисное закисное железо до окисного, а выделяющаяся при этом энергия расходуется бактериями на восстановление органических веществ своего тела из двуокиси углерода. При окислении серы до сульфидов выделяющаяся энергия используется бактериями *thiooxidans* для обеспечения своей жизнедеятельности. При совместном действии обеих микроорганизмов на пирит образуется свободная серная кислота, и в растворах резко снижается pH, что сдерживает их жизнедеятельность.

Экспериментальными исследованиями установлено также, что окисление пирита хемолитотрофным штаммом *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* стимулируется концентрацией Fe^{3+} и скорость окисления заметно возрастает, однако при концентрациях более 1,0г/л окисление пирита ингибируется (Варданян, 2007). Следовательно, в природных условиях существует оптимальный режим

соотношения концентрации Fe^{3+} и количества пирита, при котором происходит реакция (3), т.е. в природе происходит процесс саморегулирования.

Таким образом, фактический материал по терригенно-угленосным отложениям Армении свидетельствует о том, что морфоструктурное и текстурное многообразие пирита имеет генетическую основу. По морфогенетическим особенностям выделяется сингенетический и эпигенетический пирит. Эпигенетический пирит представлен различными морфометрическими формами органогенных оолитовых псевдоморфоз пирита по микросеробактериям, гидrogenных (гидrogenно-хемогенных) образований вдоль полостей трещиноватости, часто в ассоциации с органогенными образованиями и, наконец, в редких случаях – гидротермальными кварц-пиритовыми или пиритовыми (сульфидными) тонкими прожилками на участках проявления даек и дайкообразных рвущих тел среднекислого состава с наложенными хемогенно-органогенными образованиями. Хемогенно-органогенный пирит не гидротермальный, а инфильтрационный, т.е. экзогенный. Он образуется в условиях просачивания через перекрывающие слои угольного разреза железосодержащих метеорных вод в сульфатредуцирующие микросеробактериальные колонии-центры.

1.2.6. Технология извлечения благородных металлов

Технологические исследования на обогатимость и металлургический передел металлоносных углесланцевых комплексов Армении проводились по следующим основным направлениям:

1. Лабораторные и промышленные (фабричные) испытания по извлечению благородных металлов по традиционной технологической схеме переработки окисленных и сульфидных руд месторождений золотополиметаллической формации Армении по укороченной (гравитация+флотация) и полной (гравитация+флотация+ цианирование хвостов флотации) схемам.

2. Специальные металлургические опыты по получению корольков чистых благородных металлов или их сплавов (Au-Ag или Au-Ag-Pt) из углей и углистых концентратов.

3. Разработка оптимальной технологической схемы переработки углесланцевых комплексов и продуктов их переработки для извлечения благородных металлов (Au, Ag, МПГ).

1.2.6.1. Лабораторные технологические исследования по традиционной полной технологической схеме переработки (гравитация+флотация+цианирование хвостов флотации).

Исследования на обогатимость углесланцевых образований по традиционной полной технологической схеме проводились на малообъемной композитной пробе (10кг) Шамутского месторождения.

Ниже приводятся краткая характеристика Шамутского месторождения и количественные показатели эоценового углесланцевого комплекса.

Шамут-Антарамутское рудное поле приурочено к зоне Сомхетского глубинного разлома, расположенного на стыке двух разновозрастных геотектонических блоков – Сомхетского (Вирайоцкого) раннеальпийской консолидации с верхнепалеозойским складчатым основанием и Лежданского – позднеальпийской консолидации с байкальским складчатым основанием (Алоян, 2001).

В пределах рудного поля опробовано Антарамутское и предварительно разведано Шамутское месторождения бурых углей и горючих сланцев. Рудное поле вытянуто в широтном направлении, занимая территорию между селениями Антарамут (на западе, левый берег р.Дебед) и Лорут-Шамут-Атан (на востоке, правый берег р.Дебед), располагаясь в среднем течении р.Дебед. С перерывами и частой фациальной изменчивостью терригенно-известково-углесланцевые образования прослеживаются вдоль зоны Сомхетского глубинного разлома на северо-запад через Лалварский перевал (песчано-глинисто-обломочная фация) до Локского кристаллического массива складчатого основания Сомхетского блока (Мецаванский участок). В этом же направлении углеродистость “черносланцевого” комплекса значительно уменьшается.

На Шамутском месторождении пласты углей и углистых сланцев приурочены к терригенно-карбонатным отложениям среднего эоцена, которые по зоне Санаин-Локского разлома контактируют со среднеюрскими вулканогенно-осадочными образованиями андезито-дацитового состава Вирайоцкой складчатой зоны. Шамутская угленосная свита представлена глинами, мергелями, алевrolитами (часто окремненными с редкими прослоями мясокрасного кремния), известняковыми песчани-

ками, известняками с прослоями углей и углистых сланцев. Свита очень богата фауной пелеципод, гастропод и нуммулитов, а также растительных остатков. Породы характеризуются хорошо выраженной горизонтальной слоистостью. Отдельные горизонты по простиранию и падению претерпевают значительные фациальные изменения. Мощность свиты местами достигает 200-220м. По составу пород шамутская свита делится на 3 пачки: нижнюю – глинистую, среднюю – продуктивную (углесланцевую) и верхнюю – мергельную. Мощность продуктивной пачки 50-60м.

Угленосная свита среднего эоцена перекрывается свитой андезитов и андезитодацитов и их пирокластолитов, мощностью 40-130м, и терригенными образованиями, мощностью 120-150м. Выше залегает мощная вулканогенно-осадочная свита андезитов и их пирокластолитов, мощностью 500-600м, вмещающая медно-гематитовое, медное и золотополиметаллическое (полиметаллическое) оруденение.

На Шамутском месторождении в процессе поисково-разведочных работ (завершена предварительная разведка, 1992-1995гг.) пройдены 12 разведочных линий. Расстояния между разведочными линиями разные: сеть сгущена между X и XI, VI-VII, IV-V линиями и составляет 150, 75-125 и 100м соответственно, в остальных случаях 250-400м. На разведочных линиях поверхностные выработки пройдены с целью вскрытия всей видимой мощности угленосного пласта, а скважины пройдены через 250-400м. Разведка месторождения осуществлена магистральными канавами, расчистками, траншеями, шурфами, скважинами (с глубиной до нескольких сотен метров) и короткометражными подземными выработками. Ожидаемые запасы углей и сланцев центрального участка по категории C_1+C_2 оцениваются около 10млн.т, а прогнозные ресурсы по P_1 ~15млн. т (Алоян, Акопян, 1995).

Химический состав и стандартные данные по качеству углей и горючих сланцев Шамутского месторождения приводятся в таблицах 1.8 и 1.9.

В таблице 1.10 приводятся основные технологические показатели результатов обогащения^{*)} углесланцевых образований Шамутского месторождения.

Гравитационное обогащение и флотация хвостов гравитации. Проба руды (весом в 700г) была измельчена до тонины помола 80% класса – 0,1мм и подвергнута гравитационному обогащению с последующей флотацией хвостов гравитации. Измельчение

^{*)} Опыты по обогащению углей Шамутского месторождения проводились в ГМИ к.т.н. Л.А. Галустьяном.

Таблица 1.8

Качественные показатели углесплаицев Шамутского месторождения.

Автор, год	Номер пробы (кол-во)	Влаж- ность, %	Золь- ность, %	Легучее вещество, %	Связанный углерод, %	Углерод, %	Сера, %	Общая тепло- вая способ- ность, ккал/кг	Удельный вес, г/см ³
Бренда С. Пирс, 1994	SH-шурф (1)	22,92	48,9	17,96	10,22	16,49	0,11	2369	-
	SH-кern (3)	4,71	70,20	20,02	5,06	13,29	1,53	4210	-
Качарова В.И., 1953	Среднее по штольням 1,2,3,4,8, (7)	3,04	42,30	22,62	-	-	2,19	3849	1,78
	Среднее по скважинам 1,2, (9)	2,1	46,45	23,73	-	-	2,09	3562	1,73

Таблица 1.9

Химический состав углесланцев Шамутского месторождения

$$K = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO + Fe_2O_3}$$

Авторы, год	Коэффициент рефракции, К	Место отбора и номер пробы	Содержание, %											Сумма
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	S _{общ}	MnO	TiO ₂	п.п.п.+вл.	Кол-во анализов	
Асатиани К.Л., Агаронова Л.Н., (1953г.)	K=4,15	Верхняя пачка	53,74	23,04	8,98	7,76	1,74	2,86	-	-	-	-	5	98,12
	K=4,98	Средняя продуктивная пачка	53,5	22,8	5,23	7,53	2,56	2,55	-	-	-	-	3	94,17
	K=2,8	Нижняя пачка	50,0	18,9	8,8	13,5	2,3	5,44	-	-	-	-	2	98,94
	Среднее K=3,8	Среднее по Шамутской свите	52,41	21,58	7,67	9,60	2,2	3,62	-	-	-	-	10	97,08
Алоян С.Г., Акопян Л.Г., (1995г.)	K=3,35	Нижняя+средняя пачки	49,6	20,32	7,92	10,5	2,45	4,85	-	-	-	-	2	95,64
Алоян П.Г. Алоян Г.П.	K=6,90	Продуктивная пачка Ш-3, уголь Ш-13, глинистый сланец		+P ₂ O ₅										
	K=5,70		45,63	22,45	2,62	4,81	2,44	-	0,67	-	0,44	19,74	1	98,80
	K=3,61	Ш-28, углистый чешуйчатый сл.	40,23	20,22	2,34	5,64	2,63	-	0,65	-	0,33	25,90	1	97,96
	Среднее K=5,42	Среднее по продуктивной пачке	24,26	10,92	0,90	6,12	2,72	-	1,28	-	0,21	51,14	1	97,55
			36,71	17,86	1,95	5,52	2,60	-	0,87	-	0,33	32,26	3	98,10

золота в гравиконцентрат составило 26,8% при выходе концентрата 7,4%. Извлечение золота во флотоконцентрат, рассчитанное от содержания в руде, составило 71,2% при выходе концентрата 65,7%. В целом переработка по комбинированной схеме, включающей гравитационное и флотационное обогащение руды, обеспечивает высокое извлечение золота – 98% и серебра – 95,5% (табл. 1.10).

Схема опыта и условия его проведения приведены на рис. 1.18.

При уточнении времени флотации, а также введении перестичных операций для повышения качества концентратов извлечение драгметаллов может быть на 4-5% ниже полученного.

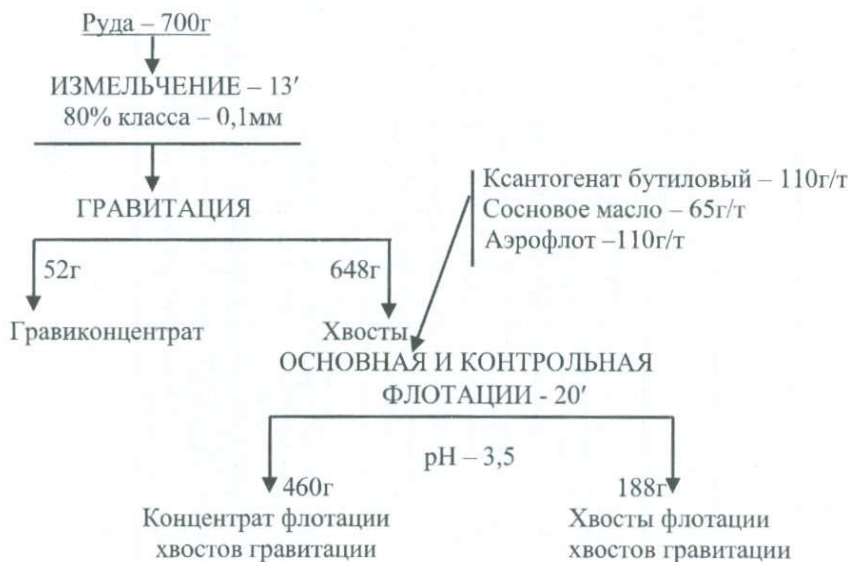


Рис. 1.18. Схема гравитационного обогащения руды с последующей флотацией хвостов гравитации

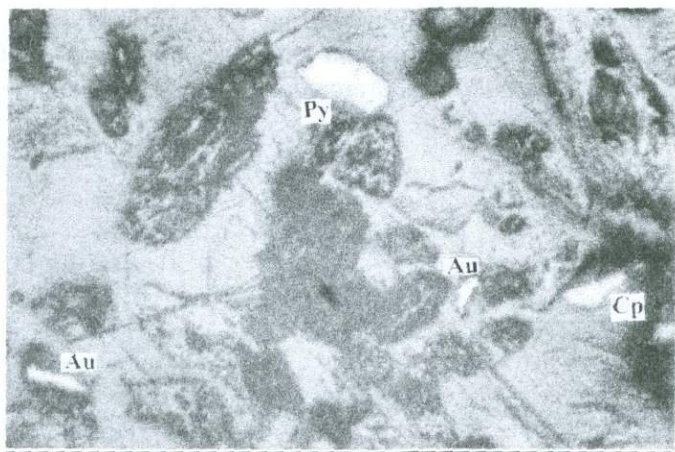


Рис. 1.19. Шамут. Зерна пирита, халькопирита и самородного золота. Концентрат гравитации. Сварной полированный шлиф Ш-Гр-1. Ув. х350. Пл.1216, к.4.

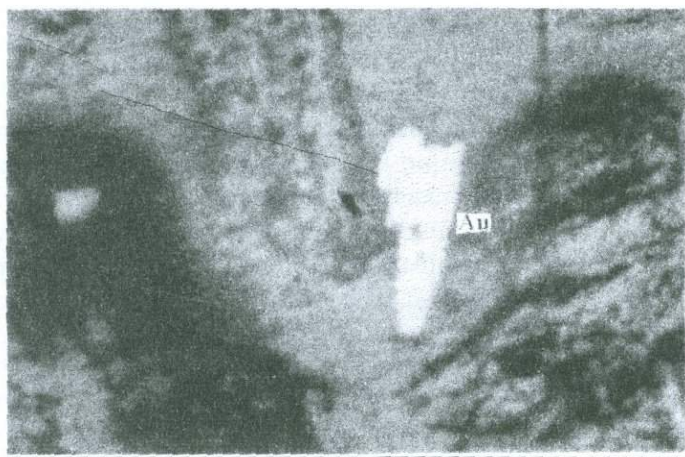


Рис. 1.20. Шамут. Зерно самородного золота. Концентрат гравитации. Сварной полированный шлиф Ш-Гр-1. Ув. х350. Пл.1216, к.5.

Флотационное обогащение руды проведено по схеме (рис. 1.21) при тонине помола руды 80% класса 0,074мм. Результаты флотационного обогащения приведены в таблице 1.9.

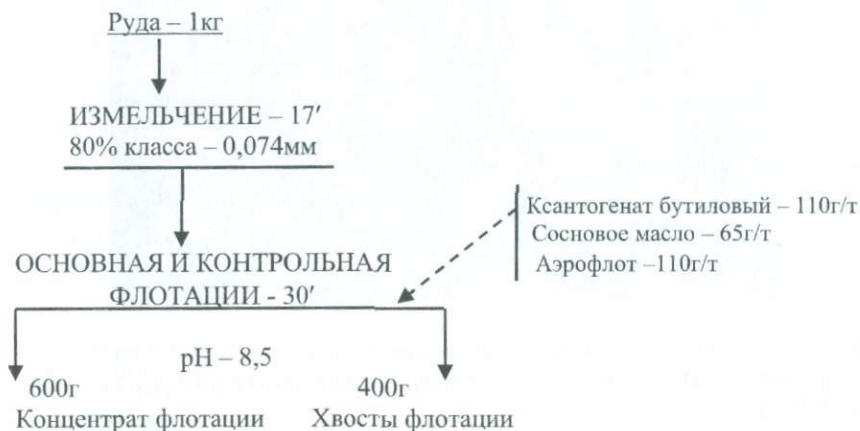


Рис. 1.21. Схема флотационного обогащения углесланцев.

Прямое цианирование руды осуществлялось в бутылочном агитаторе при тонине помола 80% класса 0,074мм как в присутствии керосина для подавления сорбционных свойств угля, так и без добавки керосина. Как показали испытания, результаты цианирования руды в различных условиях для золота практически одинаковые и достаточно высокие (табл. 1.9). При добавке керосина резко снижается извлечение серебра. Наличие угля в руде не влияет на процесс цианирования золота, но приводит к повышенному расходу цианида натрия, по-видимому, за счет его поглощения углем. Расход реагентов при цианировании составил (с керосином и без) (кг/т): 4% NaCN – 2,2; CaO – 6,6.



Рис. 1.22. Схема цианирования углесланцев.

Таблица 1.10

Сводные результаты обогащения малообъемной технологической пробы углесланцев Шамутского месторождения

<i>Результаты гравитационного обогащения с флотацией хвостов гравитации</i>									
Продукты обогащения	Выход		Содержание, г/т		$\gamma \cdot \beta$		Измельчение, %		
	г	%	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	
Руда	700	100,0	2,8	7,2	1937,6	5039,2	100,0	100,0	
Гравиконцентрат	52	7,4	10,0	4,8	520,0	2323,6	26,84	46,23	
Концентрат флотации хвостов гравитации	460	65,7	3,0	5,4	1380,0	2484,0	71,22	49,29	
Хвосты флотации хвостов гравитации	188	26,9	0,2	1,2	37,6	225,6	1,94	4,48	
<i>Результаты флотационного обогащения руды</i>									
Руда	1000	100	2,8	7,2	2800,0	7200,0	100,0	100,0	
Концентрат флотации	600	60	4,6	10,5	2760,0	6320,0	98,57	87,78	
Хвосты флотации	400	40	0,1	2,2	40,0	8800	1,43	12,22	
<i>Результаты цианирования руды</i>									
Без керосина	Руда	300	100	2,8	7,2	840,0	2160,0	100,0	100,0
	Раствор	450	100	1,6	2,7	720,0	1200,0	85,71	55,56
	Кек	300	100	0,4	3,2	120,0	960,0	14,29	44,44
С керосином	Руда	300	100	2,8	7,2	840,0	2160,0	100,0	100,0
	Раствор	450	100	1,5	0,1	660,0	60,0	78,57	2,78
	Кек	300	100	0,6	7	180,0	2100,0	21,43	97,22

1.2.6.2. Промышленные (фабричные) технологические исследования по сокращенной схеме (гравитация+флотация)

Промышленные испытания проводились на технологических пробах весом от 30 до 750т на золотоизвлекательной фабрике компании “СИПАН-1” на углесланцах Нор-Аревикского месторождения по укороченной схеме гравитация (в основном) + флотация.

Нор-Аревикское месторождение бурого угля и углистых (горючих) сланцев изучено слабо. Проведенные на месторождении работы можно классифицировать как поисково-оценочные с авторским подсчетом запасов.

Нор-Аревикское месторождение представлено терригенно-углеродисто-карбонатными отложениями (мощностью 30-65м), перекрытыми конгломератами и брекчиями мощностью до 400м. В разрезе углесланцев встречены остатки гастропод и богатые плохо сохранившиеся остатки флоры (Габриелян, 1964; Тахтаджян, 1956). На основании этих находок возраст свиты датируется как нижний плиоцен (меотис-понт). Выявлены 6 пластов углистых (горючих) сланцев, мощностью до 6,5м, при мощности отдельных прослоев от 0,15 до 3,25м. Пласты II, IV и V по простираанию выдержаны, интенсивно рассланцованы и изменены. На участке Хавот подсчитано около 600 тыс. т углистых сланцев. Ожидаемые (прогнозные) ресурсы для месторождения – 3 млн.т. На этом участке выявлены 2 пласта бурых углей, мощностью 0,45-0,8м. Запасы углей не подсчитаны.

При разведке месторождения пройдены 4 разведочных профиля (3 поперечных и 1 продольный). Разведка проводилась шурфами, канавами и подземными горными выработками. Значительная часть выработок пройдена между поперечными линиями, что, по-существу, сгустило сеть разведки вдвое. Расстояние между разведочными линиями первоначально составило 400м.

По нашей редакции мощность продуктивного слоя значительно больше, чем установленные 25м, так как металлоносными должны быть и конгломераты и красные брекчии. Поэтому прогнозные ресурсы месторождения могут резко возрасти.

Качественные показатели углесланцевого комплекса приводятся в табл 1.11 .

Технологическая схема переработки на Айгедзорской ЗИФ приводится на рисунке 1.23. Результаты технологических исследований приводятся в табл. 1.12 (рис. 1.24).

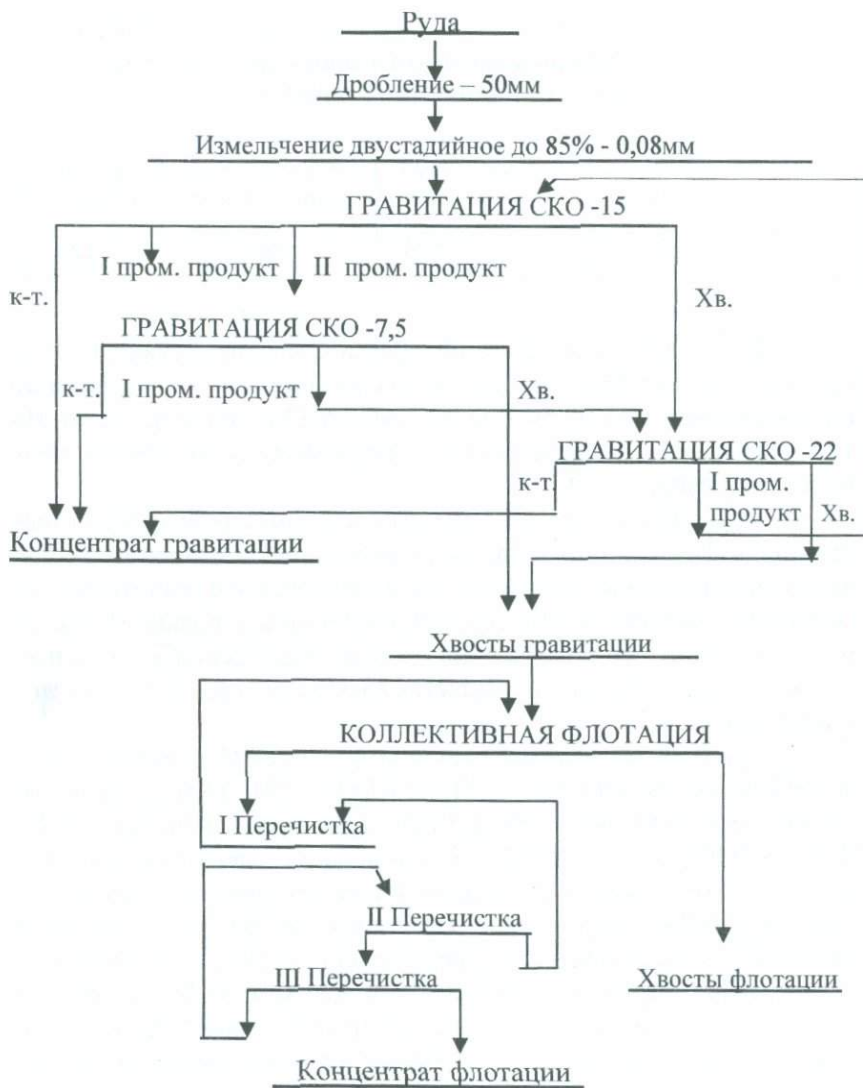
**Качественные показатели углеспанцевого комплекса
Нор-Аревикского месторождения**

Влажность, %	Зольность, %	Летучие, %	Сера, %	Теплотворная спо- собность, ккал/кг	Уд. плот- ность, г/см ³
4	67,44	10	3,78	5750	2,06

По гравитационной схеме перерабатывались также угленосные образования Джаджурского и Джерманисского месторождений на экспериментальной базе ООО “АССАД” (г.Масис), весом 10-15т. Результаты технологических исследований в общем виде приведены выше.

Технологические исследования по обогащению угленосных отложений Армении показали принципиальную возможность получения кондиционных золотоносных концентратов с достаточно высоким извлечением золота, серебра, платиноидов, редких и черных металлов. Наиболее оптимальной схемой обогащения металлоносных угленосных отложений является гравитация+флотация хвостов гравитации.

Средний химический состав углеспанцев Нор-Аревика имеет следующий вид (%): SiO₂ – 31,51; Al₂O₃ – 7,81; TiO₂ – 0,19; Fe₂O₃ – 8,46; MnO – 0,08; MgO – 0,75; CaO – 5,74; P₂O₅ – 0,46; K₂O – 0,22; Na₂O – 0,07; п.п.п. – 44,71. По условиям осадконакопления в палеоводоеме существовал сероводородный режим: модуль молибдена (Mo/Mn) равен 0,035. Вещественный состав углеспанцев сложный. Рудные минералы представлены пиритом, марказитом, магнетитом, гематитом и самородными Au, Ag и МПГ. По данным рентгеноструктурного анализа, присутствуют циркон, брукит, бурнонит. С ловушки гравистола собраны чешуйки камасита, поликсена, серебра и золота. Наличие поликсена и камасита подтверждено рентгеноструктурными анализами (Р. Мхитарян, В. Израелян). Нерудные минералы представлены кварцем, каолином, ярозитом, гипсом, мирабилитом, полевым шпатом и карбонатом.



1.23. Схема переработки руд Личкваз-Тейского месторождения на Айгдорской ЗИФ.

Таблица 1.12

**Результаты промышленного испытания золотодержащих углей Нор-
Аревикского месторождения по укороченной
гравитационно-флотационной схеме**

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, г/т		Извлечение, %	
		Au	Ag	Au	Ag
<i>Проба N:3, 750т</i>					
Концентрат гравитации	7	17,2	82,8	75,2	59,1
Концентрат флотации	0,1	4,8	64,2	0,3	0,6
Итого извлечено	7,1	-	-	75,5	59,7
Хвосты флотации	92,9	0,4	4,6	24,5	40,3
Руда (голова)	100	1,6	9,8	100	100
<i>Проба ПП-2, 30т</i>					
Концентрат гравитации	4	21,5	99,1	18,7	9,1
Концентрат флотации	17,5	11,2	36,2	42,6	14,6
Итого извлечено	21,2	-	-	61,3	23,7
Хвосты флотации	78,8	2,2	35,8	38,7	65
Руда (голова)	100	4,6	43,4	100	88,7
<i>Проба ТП-3, 35т</i>					
Концентрат гравитации	5	15,6	58,8	14,4	17,7
Концентрат флотации I (серый)	5	24,4	214,6	22,6	64,6
Концентрат флотации II (черный)	4,9	48,4	22,4	43,9	6,6
Итого извлечено	14,9	-	-	80,9	88,9
Хвосты флотации	85,1	1,2	2,4	19,1	11,1
Руда (голова)	100	5,4	16,6	100	100

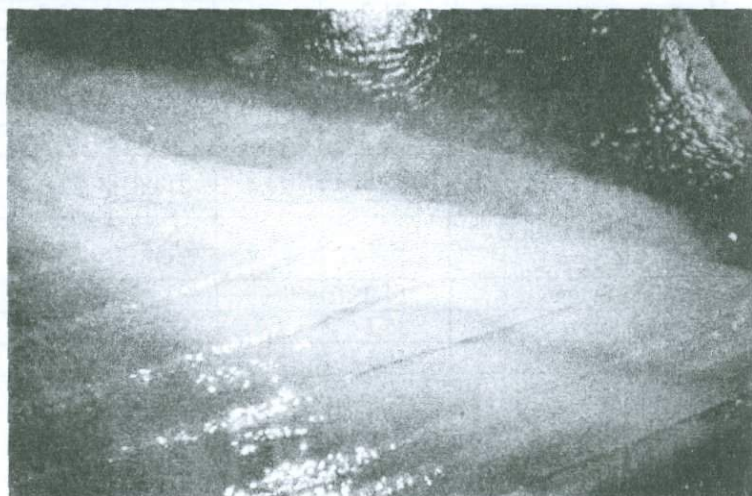
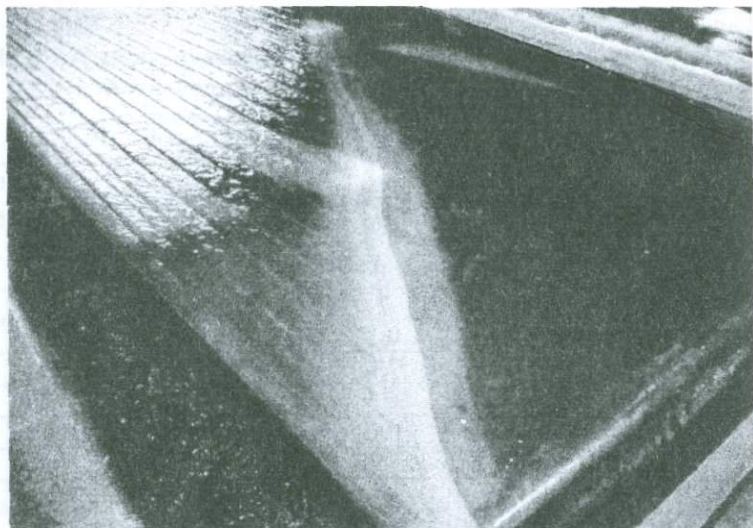


Рис. 1.24. Переработка пород терригенно-углесланцевого комплекса нор-аревикской свиты на гравитационной установке Айгедзорской золотоиз-влекательной фабрики (Сипан-1). Светлая полоса – металлсодержащий (золото-платино-серебросодержащий) тяжелый концентрат. На переднем плане (черное) – терригенно-углесланцевая масса (хвосты гравитации).

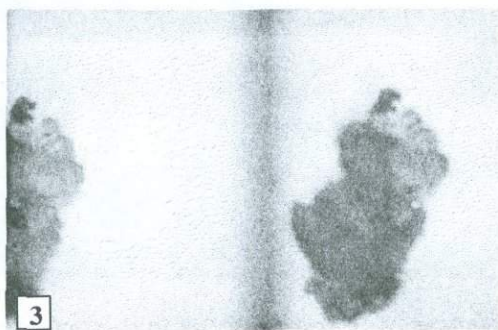
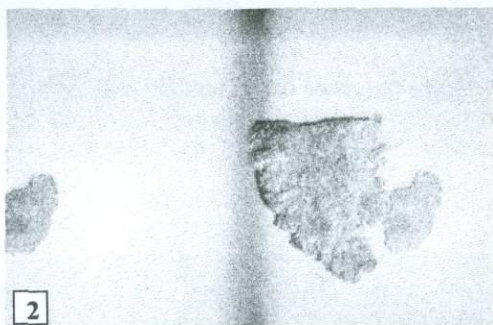


Рис. 1.25. Чешуйки металлов с гравитационного стола. Нор-Аревик (Айгедзорская ЗИФ). Бинокляр. Проба ПП-2. Пл.1050, к.15-17.

1 – поликсен, ув. х4; 2 – серебро, ув. х8; 3 – камасит, ув. х4.



Рис. 1.26. Сrostок пирита (серое вкрапленное) и арсенипирита (светлое) в гравиконцентрате углесланца. Нор-Аревик, магнитная фракция. Сварной полированный шлиф А-758-М. Ув. x125, пл. 9771, к.5.

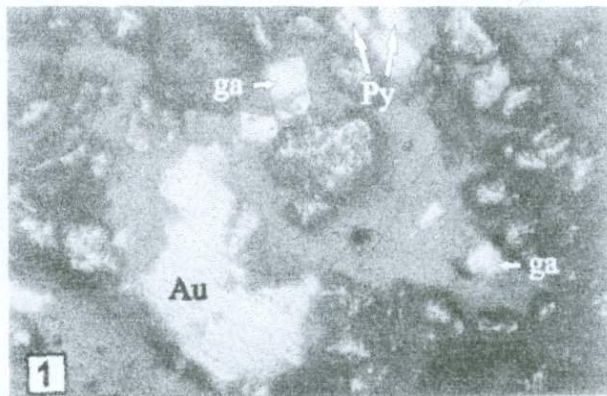


Рис. 1.27. Зерна золота (Au), пирита (Py) и галенита (ga) в гравиконцентрате угля. Джерманис. Сварной полированный шлиф Дс-ТП-4/1-Гр. Ув. x80, пл. 8984, к.00.

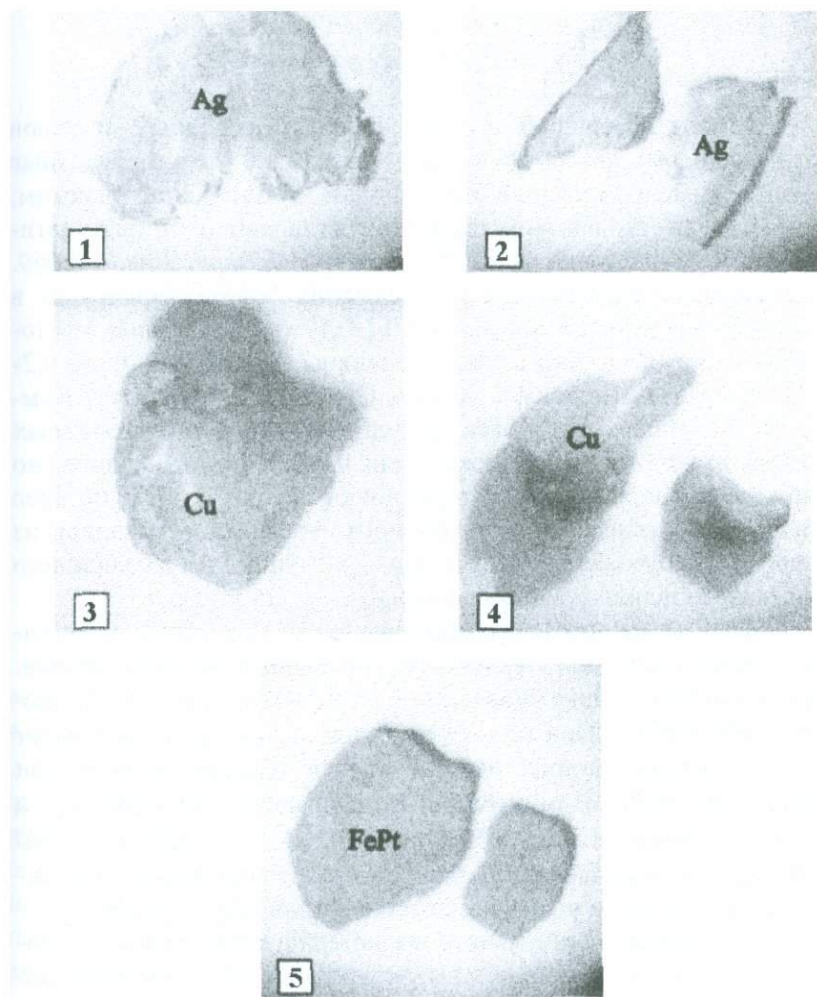


Рис. 1.28. Джерманис. Чешуйки металлов из ловушки гравитационного стола. Проба Дс-ТП-4-Гр. Бинокляр. Пл. 1050, к.25-30. Ув. х3.

1-2 – чешуйки серебра (Ag); 3-4 – чешуйки самородной меди (Cu); 5 – чешуйки железистой платины (FePt).

1.2.6.3. Специальные металлургические опыты по получению королек чистых металлов и сплавов благородных металлов из углесланцевых комплексов

Анализ материалов по извлечению благородных металлов из углесланцевых комплексов мира показывает, что минимальные промышленные содержания платиноидов в онежском, тимском, таймырском и сухоложском геотипах составляют (г/т): для платины – 0,05-0,5; палладия – 0,5-0,6; родия – 0,7; рутения – 0,069. Минимальные промышленные содержания золота варьируют в широких пределах и составляют от 0,1-0,17г/т (Мансфельд, месторождения Канады и Казахстана и основные геотипы РФ) до 0,2-2,1г/т (Тюрингия, Чаттануга, Комба, Сухой Лог, Мурунтау, Кумтор). В большинстве случаев форма нахождения благородных металлов тонкодисперсная, показатели извлечения небольшие, но экономически оправданны. С этой точки зрения особый интерес представляют исследования по прямому извлечению металлов из угленосных отложений Армении с учетом дальнейшего комплексного использования сырья.

Извлечение золота, серебра, платины и палладия проводилось с использованием технологии кислотного выщелачивания. Первоначально из сырья удалялась углеродистая часть (при температуре 300-1000°C). При обжиге из углей выход газов составляет 25%. Полученный огарок выщелачивался царской водкой при температуре ~90°C. При этом Au, Pt и Pd переходят в раствор, а Ag – в нерастворимую силикатную часть. В дальнейшем восстанавливались золото, платиноиды и серебро. В последующем осаждение металлов проводилось цементацией цинком (рис. 1.29).

По данным спектрального и пробирного анализов содержания Au, Pt и Pt, полученных химическим способом, значительно ниже в осадках 1 и 2 (рис. 1.28) и часто проявляются в виде следов. Поэтому полученные осадки с содержанием благородных металлов обжигались при температуре 800°C с последующим выщелачиванием разбавленной азотной кислотой (кроме осадка 4), и дальней-

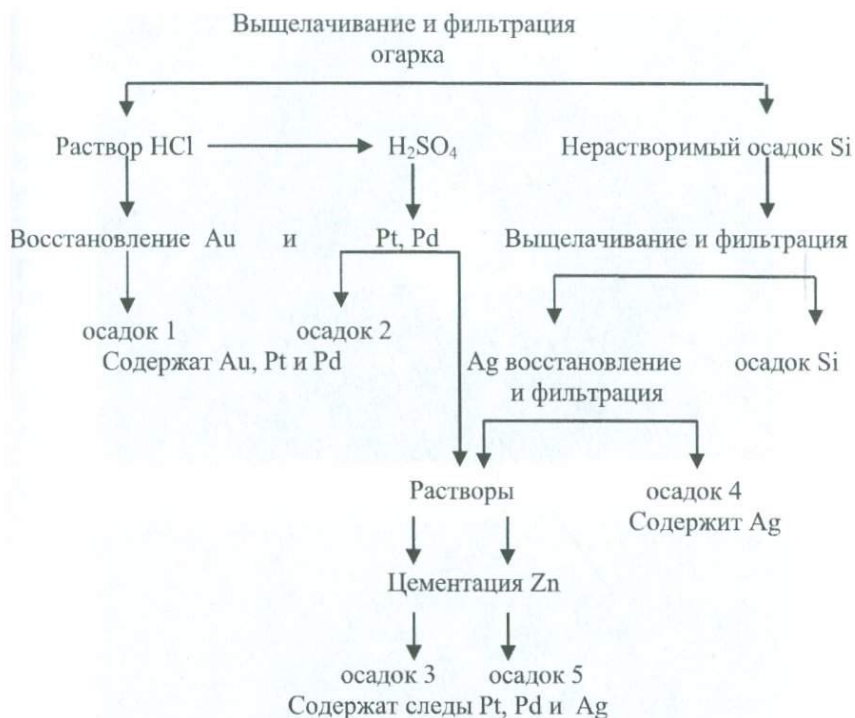


Рис. 1.29. Принципиальная схема получения благородных металлов (по С. Айрапетяну).

шем проводилась купеляция свинцом (920-960°C). Полученные данные подтверждают, что в осадках 1 и 5 осаждается золото, в осадке 4 – золото-серебряный сплав, а в осадках 2 и 3 – платина и палладий. Есть предположение, что часть золота, платины и палладия теряется в нерастворимом царской водкой осадке, что является предметом дальнейших исследований.

Таким образом, проведенные металлургические опыты дали возможность разработать предварительную технологическую схему извлечения металлов путем химического выщелачивания с извлечением Au, Ag, Pt и Pd с высокими показателями.

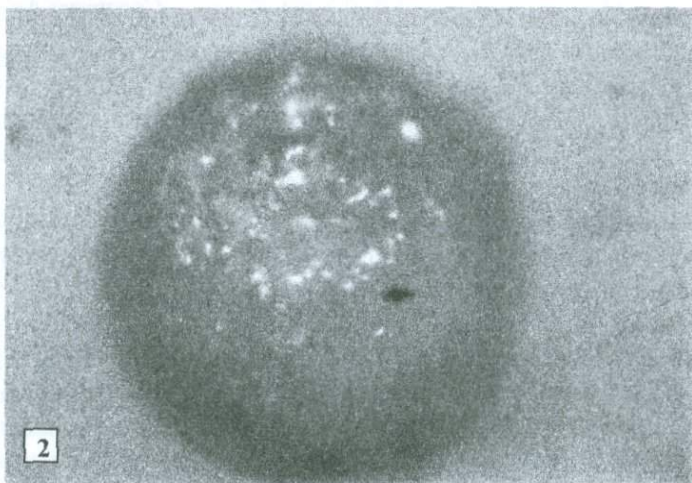
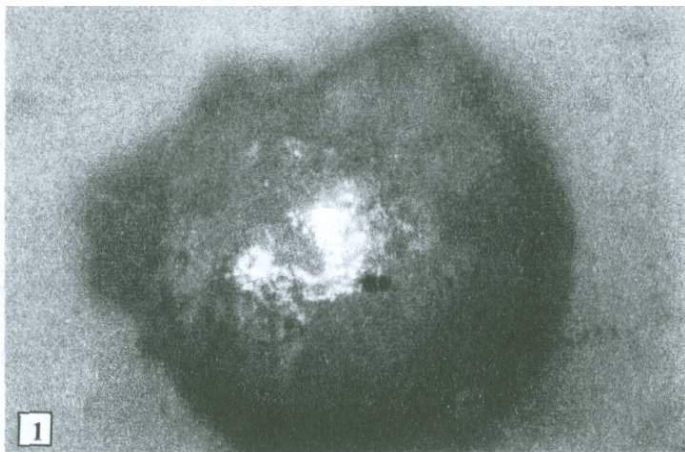


Рис. 1.30. Корольки металлов от металлургического передела угля. Шамут, пл. 0834, к.4А, 5А. Свет отраженный.

1 – королек серебра. Проба Ш-22, ув. $\times 170$; 2 – королек золота. Групповая проба “АСР” Ш-1-К, ув. $\times 250$.

Технологические исследования показали, что из угленосных комплексов месторождений Нор-Аревик, Джерманис и Шамут можно извлекать золото, серебро и МПГ в раствор выщелачиванием огарка царской водкой. При последующей цементации раствора цинком и выщелачиванием цементата азотной кислотой оставшиеся в осадке золото и платина переводятся в сплав купелированием. Палладий восстанавливается из раствора и после прокаливания образовавшейся соли переводится в губчатый палладий. Из оставшегося в кеках хлористого серебра металлическое серебро получается сплавлением хлорида с содой.

Изучена также возможность извлечения драгметаллов из угленосных комплексов методом хлорирующего обжига, а также сплавлением с окисью свинца в присутствии флюсов.

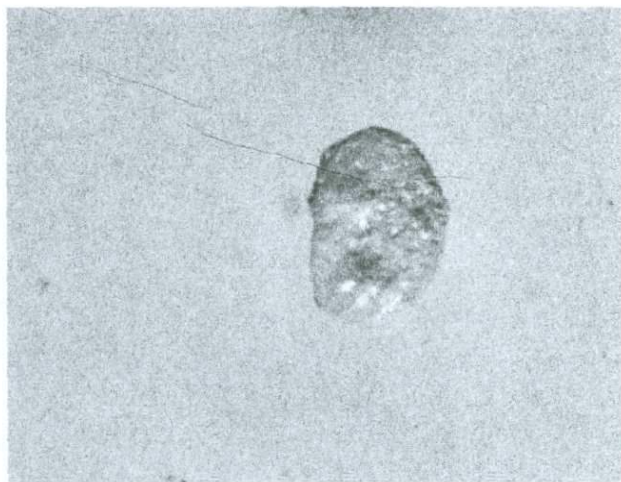


Рис.1.31. Дилижан. Корольек золота от металлургической переработки монтмориллонитового известкового аргиллита из пачки горючих сланцев (Быркина балка). Проба Дилиж-4. Навеска 100гр. Содержание в пробе Au – 1,2г/т; Ag – 3,4г/т, по корольку – Au - 2,3г/т, Ag – 2,4г/т. Ув. x90.

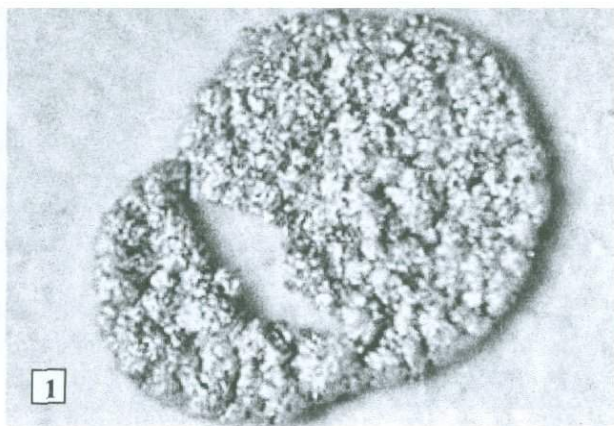


Рис. 1.32. Нор-Аревик. Корольки золота и серебра от металлургической переработки гравиконцентрата угля. Проба ПП-1-758-Гр.

1 – золото-серебряный сплав. Вес навески 140г, вес сплава – 68,5мг. Содержание с пересчете на концентрат: Au – 20г/т, Ag – 469,2г/т. Ув. х50;
2 – королек золота. Навеска 50г. Опыт №2. Содержание с пересчете на концентрат: Au – 10г/т, Ag – 78г/т. Ув. х90.

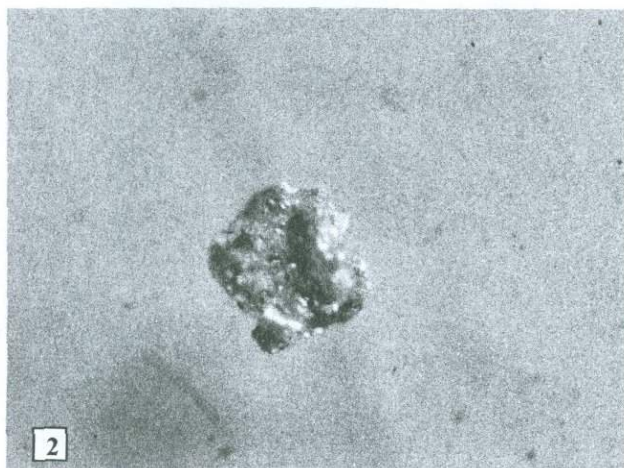
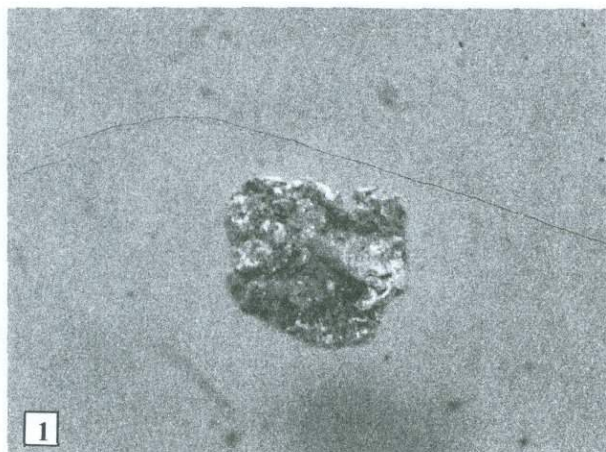


Рис. 1.33. Нор-Аревик. Корольки золота от металлургической переработки гравиконцентрата угля. Проба ПП-1-758-Гр. Ув. x50.

1 – навеска 50г. Опыт №6. Содержание в пересчете на концентрат: Au – 9,4г/т, Ag – 52,0г/т. 2 – навеска 50г. Опыт №7. Содержание в пересчете на концентрат: Au – 7,5г/т, Ag – 40г/т.

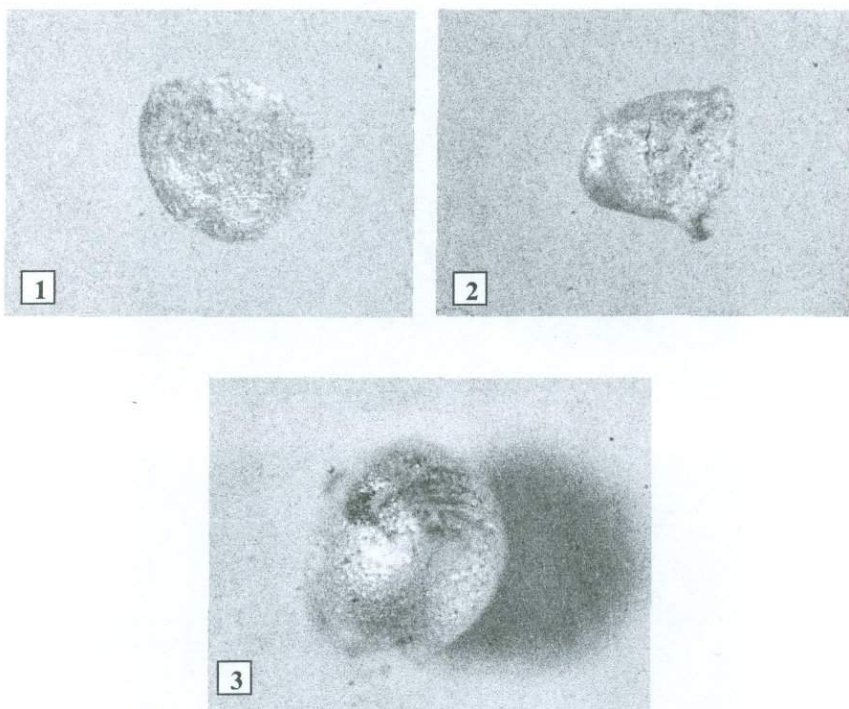


Рис. 1.34. Нор-Аревик. Корольки золото-серебряного сплава от металлургической переработки гравиконцентрата угля. Проба ПП-1-758-Гр. Ув. х50.

1 – опыт №8. Вес навески 100г, после обжига (500°C) – 72г. Вес сплава – 5,7мг. Содержание в пересчете на концентрат: Au – 9,1г/т, Ag – 47,9г/т;
 2 – опыт №9. Вес навески 100г после обжига (500°C) – 72г. Вес сплава – 6,3мг. Содержание в пересчете на концентрат: Au – 8,7г/т, Ag – 54,3г/т;
 3 – опыт №10. Вес навески 140г после обжига (500°C) – 100г. Вес сплава – 8,2мг. Содержание в пересчете на концентрат: Au – 11,3г/т, Ag – 45,6г/т.



Рис. 1.35. Нор-Аревик. Золото в продукте обжига углесланцев. Проба Ар-ЛП-2. Сварной полированный шлиф.

1 – легкая фракция. Ув. $\times 300$, пл. 8984, к.00; 2 – тяжелая фракция. Ув. $\times 375$, пл. 8984, к.2.

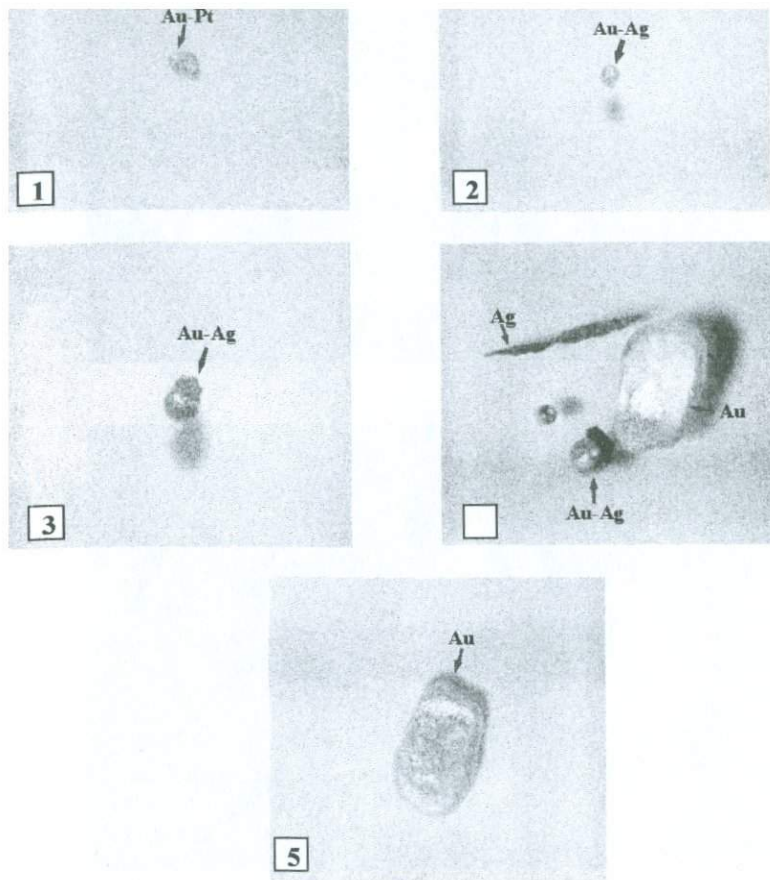


Рис. 1.36. Джерманис. Корольки благородных металлов от переработки терригенно-углесланцевых (углистых) пород. Бинокуляр. Пл. 1050, к.4,6-8,11. Ув. x8.

Проба Дс-ГПА-17-12: 1 – золото-платиновый сплав. Ув. x16; 2 – золото-серебряный сплав. Проба Дс-ТП-4-Гр: 3 – золото-серебряный сплав; 4 – золото-серебряный сплав и копьевидное зерно серебра; 5 – королек золота.

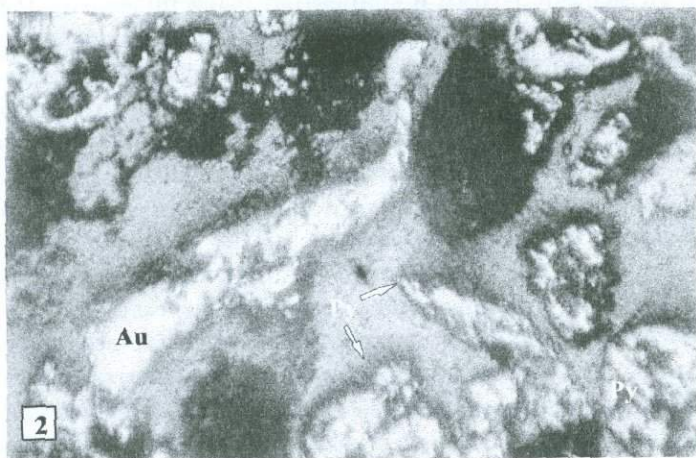
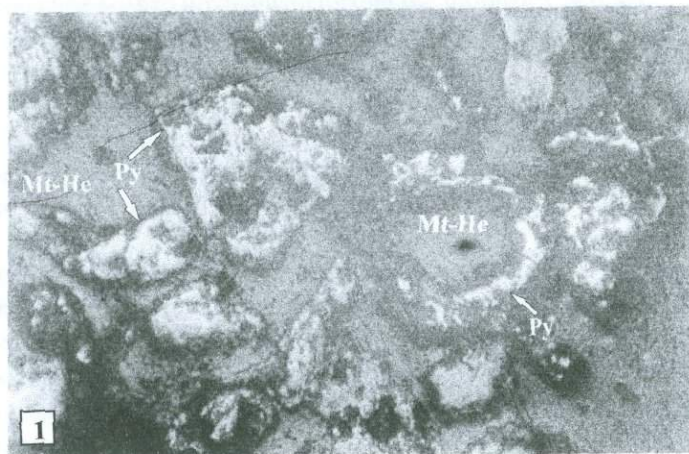


Рис. 1.37. Джермнис. Рудные минералы в обожженном концентрате угля. Проба Дс-ТП-4-Гр-об. Сварной полированный шлиф.

1 – зерна магнетита и гематита (Mt-He) и обожженного пирита (Py) с образованием каемочных структур. Ув. $\times 180$, пл. 0834, к.1; 2 – удлиненные червевидные выделения золота (Au) и обожженные зерна пирита (Py). Ув. $\times 90$, пл. 8984, к.10.

1.2.6.4. Разработка технологической схемы извлечения благородных металлов из терригенно-углесланцевых комплексов Армении^{*)}

В начале исследований обжигом удаляется угольная масса, оставшиеся в огарке другие компоненты переводятся в раствор соляно-кислотным выщелачиванием, при этом SiO_2 и TiO_2 не растворяются.

Обжиг сырья производился в муфельной печи в прямоугольных глиняных камерах размерами 125x80x20мм. В начале процесса в камере наблюдаются бурные выбросы газов, а через 1-1,5 часа при 500°C горение продолжается голубоватым пламенем почти без выделения газов.

По результатам исследований наиболее эффективным является режим двухэтапного обжига. Вначале обломки углистых образований размерами 5-10мм и концентрат были подвергнуты постепенному высушиванию (30-60 мин. при 300°C), после чего сжигались при 300-600°C в течение 2-2,5 часов. Недообоженные обломки, после измельчения до 0,3-0,5мм, на втором этапе обжигались в том же режиме с постоянным перемешиванием и при слабом допуске воздуха в камеру. Разработанный режим позволяет практически избавиться от угольных составляющих, удаляя их в виде углекислых газов.

Последующие опыты по соляно-кислотному выщелачиванию показывают, что количество металлов, переходящих из огарков в раствор, зависит от температуры процесса, его продолжительности, количественного соотношения раствора и огарка и т.д.

Выщелачивание при 70-80°C в течение 3-4 часов в условиях Т:Ж=1:(4-6) является наиболее эффективным. В этих условиях объем массы, переходящей из концентратов и углистого сырья в соляно-кислотный раствор, равен соотношению 28-35 и 14-20%. Анализы показывают также, что одновременно в раствор переходят 10-15% содержащихся в сырье драгметаллов. Избежать это нега-

^{*)} Опыты по металлургической переработке терригенно-углесланцевых пород и концентратов проводил С. Айрапетян.

тивное явление становится возможным при применении в технологии выщелачивания восстанавливающих и нейтрализующих заменителей.

Фактически в процессе обжига углистого сырья и выщелачивания его вес сокращается в 3-4 раза, а концентрата – в 2 раза, в результате чего остатки адекватно обогащаются драгметаллами (табл. 1.13).

Таблица 1.13

Показатели режима обжига и соляно-кислотного выщелачивания углистого сырья и концентрата

п/п	Наименование сырья	Вес сырья, г	Режим обжига, °С	Вес огарка, г	
				после обжига	после выщелачивания
1	Углесланец	300	300-1000/3	160	110
2	Углесланец	200	500-650/2	92	58
3	Углесланец	2000	300-1000/4	730	510
4	Углесланец	120	600-800/2	62	46
5	Концентрат	100	500-600/2	50	33
6	Концентрат	50	600-1000/3	40	26
7	Концентрат	61	300-1000/4	52	32
8	Концентрат	260	800-900/6	185	116
9	Концентрат	80	500-600/2	65	42

Дальнейшие опыты проводились на выщелоченном огарке концентрата. Для выбора оптимальной технологии извлечения золота, серебра платины и палладия испытаны методы выщелачивания царской водкой, хлорированием пищевой и другими солями, а также тигельной плавкой с окисью свинца и флюсами. Из мелкозернистого осадка, а также из полученных путем тигельной плавки сплавов благородных металлов золото, серебро, платина и палладий извлекались известными химическими методами.

Результаты проведенных опытов приводятся в табл. 1.14.

Расчетные содержания драгметаллов при разных способах лабораторной переработки выщелоченного огарка концентратов

Опыт п/п	Технологическая схема и режим	Вес выщелочен- ного огарка концентрата, г	Вес полученных металлов, г Расчетные содержания в концентрате, г/т			
			Au	Ag	Pt	Pd
1	Выщелачивание царской водкой (70-80°C, 4-6 часов)	40	<u>0,5</u> 6,25	<u>1,4</u> 17,5	следы	следы
2		60	<u>0,9</u> 7,5	<u>1,6</u> 13,3	<u>0,02</u> 0,17	<u>0,01</u> 0,08
3		50	<u>0,6</u> 6,0	<u>1,7</u> 17,0	<u>0,01</u> 0,1	следы
4	Плавка с окисью свинца и флюсами (~1100°C, 2 часа)	40	<u>0,8</u> 10,0	<u>1,6</u> 20,0	-	-
5		50	<u>0,9</u> 9,0	<u>1,8</u> 18,0	-	-
6		60	<u>1,0</u> 8,3	<u>2,0</u> 16,7	следы	следы
7	Плавка с солями на основе NaCl (~600°C, 3-4 часа)	50	-	-	<u>0,05</u> 0,5	<u>0,04</u> 0,4
8		60	-	-	<u>0,07</u> 0,58	<u>0,06</u> 0,5
9		40	-	-	<u>0,04</u> 0,5	<u>0,03</u> 0,37

Из данных, приведенных в таблице, следует, что плавкой с окисью свинца становится возможным полностью извлекать золото и серебро, в отличие от платины и палладия, отмеченных в виде следов. А при выщелачивании царской водкой, кроме золота и серебра, становится возможным извлечение из раствора также платины и палладия.

При опытах с солевым хлорированием получается обратная картина по сравнению с технологическими результатами свинцовой плавки: эффективна извлекаемость Pt и Pd, а золото и серебро полностью появляются в составе нерастворимых силикатов.

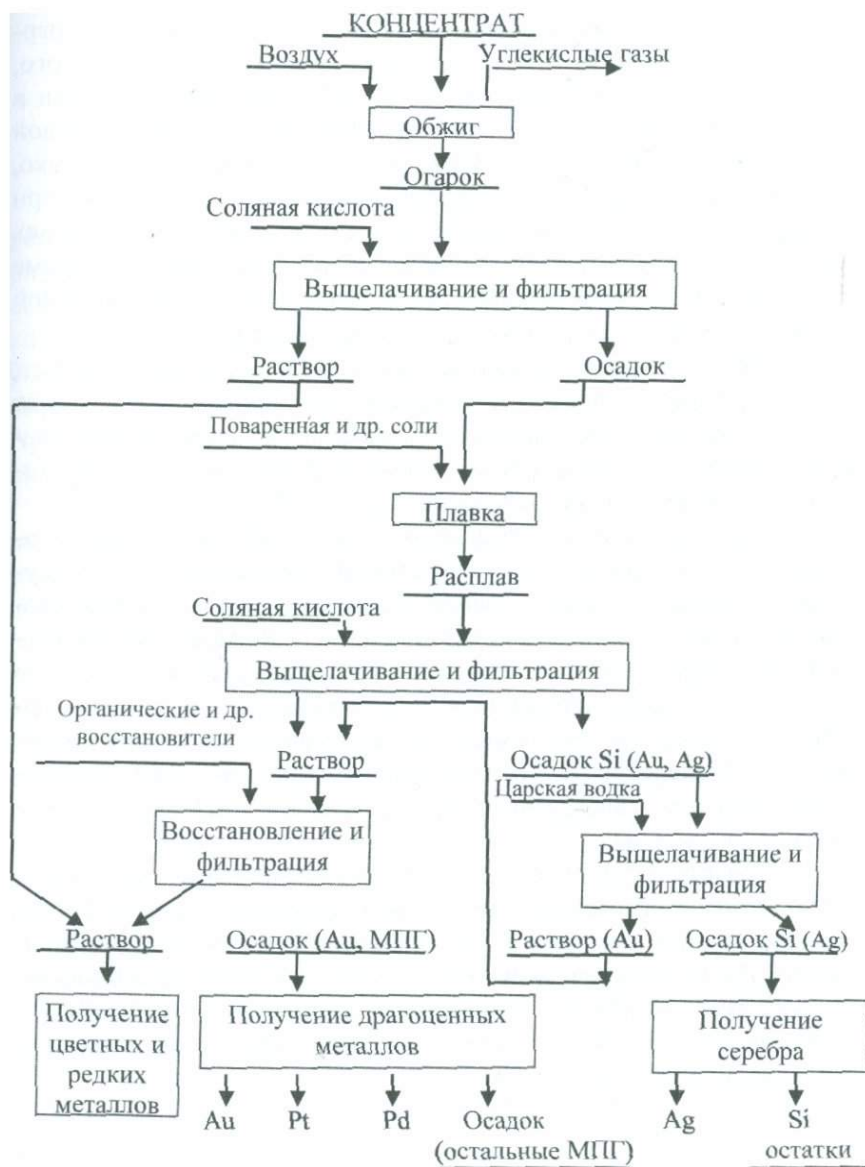


Рис. 1.38. Принципиальная схема получения драгоценных металлов из концентратов (по С. Айрапетяну).

Следует также отметить, что способ выщелачивания царской водкой продолжителен и достаточно трудоемок; кроме того, не все металлы платиновой группы (МПГ) возможно перевести в раствор и восстановить. По данным наших опытов при тигельной плавке также практически невозможно извлечение МПГ. Однако, согласно имеющимся данным, эту задачу можно решить при усовершенствовании отмеченной технологии, но во всех случаях нарушается подход к комплексной переработке сырья, и, кроме того, становится необходимым применение высокотемпературной (1250°C и выше) плавки, что в данном случае нежелательно.

Из анализа результатов проведенных исследований следует, что приемлемым вариантом решения намеченных задач может стать совмещение технологических способов солевого хлорирования и выщелачивания в царской водке, принципиальная схема которого в общем виде представлена на рис. 1.38.

Лабораторные испытания разработанной технологии показывают, что она может обеспечить 97-98% извлечения от суммарного содержания золота, серебра, платины и палладия, содержащихся в сырье. Количественный анализ тех же металлов показывает, что параметры, полученные по предложенной технологии, в основном совпадают с их содержаниями в сырье. Необходимо подчеркнуть также, что эта технология, помимо установления содержания вышеперечисленных благородных металлов, дает возможность получить качественное представление о других металлах платиновой группы.

Практика показывает, что исследование по разработанной технологии переработки сырья, бедного драгметаллами (до $0,5\text{г/т}$), на деле достаточно трудно осуществимо (по техническим причинам). Во избежание отмеченных и иных осложнений необходимо дальнейшую разработку оптимальной технологической схемы извлечение драгметаллов из углистого сырья проводить в крупнолабораторных условиях.

1.2.6.5. Комплексная программа рационального использования терригенно-углесланцевых отложений Армении как рудно-топливного сырья (Проект “УГАР” – Угли Армении)

Бурые угли и горючие сланцы имеют широкое распространение в Армении, их запасы огромны. Геологоразведочными работами опосковано и разведано более 10 месторождений. В связи с низким качеством углесланцевых комплексов – высокозольностью и низкой теплотворностью – эти месторождения были оценены как неперспективные на топливно-энергетическое сырье и были отбракованы геологическими службами США и Армении. Все геологоразведочные работы на уголь в 1996г. были прекращены.

Отношение к углесланцевым комплексам Армении кардинально изменилось после установления нами их металлоносности – золотоносности, редкометалльности и ураноносности. В результате проведенных исследований удалось углесланцевые комплексы из “мертвого” топливного сырья перевести в категорию перспективного рудно-топливного сырья многоцелевого назначения. На этой основе Центр охраны недр (ЦОН) при участии ИХФ НАН РА, Ереванского ГУ, Инженерной академии Армении, ООО “Геоид” и ИПФХ РАН (г.Москва) разработали комплексную программу по исследованию вещественного состава и технологических особенностей углесланцевых комплексов Армении. Основная цель проекта состоит в разработке технологии комплексного использования углесланцевых отложений Армении как рудно-топливного сырья с извлечением благородных и редких металлов, получением высококачественного топлива через их газификацию и органических красителей-пигментов, а также брикетированного бытового топлива (обогащенного угля).

Это принципиально новый подход к перспективам рационального и комплексного использования терригенно-углесланцевых комплексов, что требует их глубокого технологического изучения и промышленной оценки.

В условиях длительной блокады и отсутствия естественных источников нефти и газа, а также ежегодном ввозе огромного количества газа, бензина и нефтепродуктов, результаты исследований по проекту “УГАР” приобретают стратегическое значение и могут резко снизить затраты на топливно-энергетические ресурсы и обеспечить потребности военно-промышленного комплекса и гражданского населения в дешевом топливе. Результаты исследований заинтересовали Россию, Украину, Грузию и Иран, имеющих огромные ресурсы низкокачественных бурых углей и горючих сланцев.

Проект “УГАР” состоит из 4 разделов-направлений:

Раздел 1. Исследование вещественного состава и металлоносности черносланцевых комплексов Армении с разработкой оптимальной технологической схемы их переработки для извлечения благородных металлов и других попутных компонентов с учетом комплексного использования рудно-топливного сырья. *Исполнитель: Центр охраны недр, ООО “Геоид”.*

Проблема металлоносности – благороднометалльности и редкометалльности – углесланцевых комплексов Армении выдвигается впервые. В настоящее время доказана перспективность многих отбракованных месторождений углесланцев на содержание благородных, редких, цветных и черных металлов, а в отдельных случаях – на радиоактивные элементы. Промышленный интерес в первую очередь представляют золото, серебро и платиноиды, что в корне меняет экономический потенциал сырья и открывает новые перспективы на проведение детальных геолого-геохимических и менералого-технологических исследований с целью выявления особенностей их вещественного состава, обогатимости и комплексной переработки как сырья многоцелевого назначения. При этом предусматривается разработка экологически чистой комплексной технологии по извлечению металлов и получение качественных технологических продуктов для утилизации в виде топливного сырья различного назначения. Поэтому возникает необходимость специальных исследований по созданию соответствующей нормативно-технологической базы, обеспечивающей перевод нерудного (топливного) сырья в категорию рудно-топливного. Золото-платиносодержащие углесланцевые комплексы – это новый и перспективный

вид минерального сырья для Армении по аналогии с ведущими геотипами мира.

Раздел 2. Разработка технологии переработки (газификации) некачественных бурых углей и горючих сланцев с целью получения электрической и тепловой энергии. *Исполнители: Институт проблем химической физики РАН РФ, Институт химической физики НАН РА.*

В связи с неуклонным ростом потребности в энергии и одновременным ростом цен на энергоносители возникает острая необходимость в новых, эффективных и экологически безопасных технологиях, позволяющих перерабатывать природные минеральные твердые топлива в химическое сырье или энергию. В частности, одним из наиболее эффективных направлений является переработка углей и горючих сланцев в генераторный газ.

Существующие газогенераторы, как правило, работают на достаточно калорийном твердом топливе, например, малозольном угле или древесине. В ИХФЧ РАН разработан новый способ газификации твердого топлива в волне сверхadiaбатического горения,^{*)} имеющий ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами:

1. Возможность использования топлива с малым количеством горючих (что позволяет использовать эту технологию для переработки бедных и высокозольных углей, а также отходов угледобычи и углеобогащения).
2. Низкая энергозатратность (проведение процесса осуществляется за счет энергии сгорания части материала).
3. Возможность достижения высоких температур, обеспечивающих большую производительность газогенератора даже для систем с низким тепловым эффектом.
4. Высокий КПД процесса газификации (даже для относительно низкокалорийного топлива отношение теплоты сгорания генераторного газа к теплоте сгорания исходного топлива может достигнуть 95%).

^{*)} Программа работ составлена чл.-корр. РАН, доктором химических наук, профессором Г.Б. Манелисом.

5. Высокая эффективность и полнота сгорания (в зольном остатке отсутствуют углерод и органика).

6. Малые размеры высокотемпературной зоны переработки (газификация материала производится в относительно узкой зоне, что значительно снижает себестоимость газификации).

7. Отсутствие необходимости проведения процесса при повышенном давлении (процесс можно проводить при небольшом разрежении в газификаторе, что делает установку практически безопасной с точки зрения пожаро-взрывобезопасности и экологически безвредной).

8. Невысокие требования к подготовке материала (газификацию осуществляют в реакторе-газификаторе шахтного типа в "плотном" слое, используя кусковой материал, что исключает необходимость размола).

9. Низкие температуры твердых и газообразных продуктов газификации (продукты выходят из реактора при относительно низких температурах – 70-150°C).

Настоящий раздел представляет комплекс научных и технологических исследований, направленных на разработку технологии и аппаратуры получения генераторного газа для энергосиловых установок, предназначенных для энергообеспечения на основе использования местных нетрадиционных энергоносителей.

Основной задачей данного раздела является оптимизация режимов газификации углей и горючих сланцев Армении по составу получаемого генераторного газа и энергетическому КПД. В задачу проекта входит также определение возможности получения необходимого состава генераторного газа при газификации конкретных видов углей и сланцев. Кроме того, будет рассмотрена возможность выделения некоторых ценных компонентов, установленных геологами.

Основными направлениями работ по предлагаемому разделу будут:

1. Анализ характеристик конкретных марок углей и сланцев для их использования в качестве исходного топлива для газогенераторов. Будет проведен анализ пригодности и экономической целесообразности использования конкретных марок углей и сланцев

в качестве исходного топлива для получения генераторного газа, используемого как моторное топливо. В результате анализа будут выбраны конкретные марки топлива для отработки оптимальных режимов газификации.

2. Оптимизация режимов газификации выбранных марок углей по энергетическому КПД и соответствию состава генераторного газа требованиям пригодности его в качестве топлива для энергоустановок. На этом этапе работ будет проведена экспериментальная отработка на пилотных установках ИПХФ РАН режимов газификации выбранных марок топлива с определением состава получаемого генераторного газа, в результате которой будут определены условия получения генераторного газа, пригодного для его использования в качестве топлива с высоким энергетическим КПД. Будут выданы исходные данные для технического проекта газогенератора в комбинации с энергоустановками, включая рекомендации по составу и характеристикам исходного твердого топлива, составу и расходам газифицирующего агента, температурным режимам работы газогенератора и другим необходимым данным.

3. Изучение переходных процессов, в том числе изменения состава генераторного газа при изменении режимов работы газогенератора. Будет исследовано влияние изменения режимов работы газогенератора, в частности, расходов и состава газифицирующего агента на калорийность получаемого генераторного газа, определена стабильность состава этого газа. На основе этих исследований будут разработаны методы согласования режимов работы и управления газогенератором с режимом работы энергосиловой установки.

4. Выбор и адаптация двигателя внутреннего сгорания для работы на генераторном газе, получаемом из угля. Будет проведен анализ возможностей использования существующих двигателей внутреннего сгорания, в частности дизелей, для работы на генераторном газе, получаемом при газификации угля, в том числе необходимости их адаптации для такого применения. В результате такого анализа будет выбран двигатель для демонстрационной установки и, при необходимости, выданы рекомендации по его адаптации.

В ходе выполнения настоящего раздела будут получены следующие результаты:

1. Определены оптимальные режимы газификации выбранных марок углей и горючих сланцев для получения с высоким энергетическим КПД генераторного газа, удовлетворяющего требованиям его пригодности в качестве моторного топлива.

2. Разработаны методы согласования режимов работы и управления газогенератором с режимом работы энергосиловой установки.

3. Выданы исходные данные для технического проекта демонстрационной электросиловой установки.

Раздел 3. Разработка технологии получения синтетического высокооктанового топлива (сырья) на основе газификации бурых углей, горючих сланцев и технологических продуктов с использованием цеолитовых катализаторов типа ZSM. *Исполнители: Инженерная академия Армении, Ереванский государственный университет.*

Одним из основных звеньев в технологической схеме переработки углей и горючих сланцев с целью их рационального использования является получение синтетического топливного сырья и других очень ценных ароматических углеводородов, основанное на каталитическом превращении продуктов газификации в газовой фазе в метанол и трансформации его в целевые продукты на катализаторах типа ZSM*.

В начале 80-х годов одним из первых в Советском Союзе в НИИ химической технологии Арм.ССР был синтезирован принципиально новый аналог высококремнеземистого катализатора нового поколения типа ZSM (авторское свидетельство СССР N 1047099 "Способ получения цеолитов типа ZSM", Бабаян С.Г., Саргсян А.О., Леонов В.Б., 1983) для трансформации метанола в синтетический бензин. Катализатор позволяет на простейшей укрупненной лабораторной установке, в зависимости от его состава и условий синтеза, одностадийно трансформировать метанол, этанол, изопро-

* Программа работ составлена д.х.н., профессором С.Г. Бабаяном и к.т.н. А.О. Саргсяном.

панол, изобутанол и другие спирты в высокооктановый бензин (не стабилизированный), идентичный Аи-76 и Аи-90, а также другие ценные ароматические углеводороды (гексаметилбензол, пантаметилбензол и др.). Сравнительные ароматические хроматографические анализы по идентификации продуктов синтеза были проведены в научных центрах России (“Госнииметанолпроект”, “ВНИИОС”, МГУ и др.). Организация производства катализатора в автоклавах объемом от 2 до 5 литров и создание пилотной установки производительностью до 2-3л/ч для отработки технологии конверсии продуктов газификации бурых углей и горючих сланцев в искусственный бензин и другие ценные углеводороды не представляется сложной технической задачей.

Создание пилотной установки позволит решить ряд принципиальных задач:

- отработать в условиях, максимально приближенных к производственным, технологические параметры синтеза катализатора и основных стадий процесса конверсии;
- выполнить контрольные исследования по конверсии продуктов газификации бурых углей и горючих сланцев месторождений Армении и других стран СНГ в синтетическое горючее и другие ценные углеводороды;
- создать мобильную и унифицированную пилотную установку для производства синтетического бензина, производительностью до 10т/сутки, и ароматических углеводородов заданной мощности;
- выдать исходные данные для проектирования стационарного промышленного производства выбранного продукта.

При отсутствии естественных источников жидкого и газообразного минерального сырья и наличии регионального постоянно действующего усложненного фактора транспортных перевозок Армения остро нуждается в создании собственной автономной и устойчивой ресурсно-топливной сырьевой базы, которую, несомненно, следует рассматривать как составную часть программы экономической безопасности страны.

Наличие сравнительно больших запасов бурых углей и горючих сланцев, возможность переработки золотосодержащих угле-

сланцевых пород, доступность месторождений и возможность их открытой эксплуатации в совокупности являются реальной альтернативой нефтегазовому комплексу региона.

Практическое приложение реализованной проблемы несомненно будет иметь значительно больший масштабный характер, ибо в содружестве с региональными научными центрами стран СНГ возможен трансфер технологий с корректировкой на особенности местного сырья.

Раздел 4. Разработка технологии получения органических красителей-пигментов различного назначения из бурых углей, горючих сланцев и техпродуктов. *Исполнитель: ГЗАО "НПП Материаловедения" (РФ).*

В Армении налажено промышленное производство природных пигментов из цветного минерального сырья. Натуральные пигменты производства "НПП Материаловедения" (г.Ереван, предприятие РФ) тестированы в 2000-2001гг. на Санкт-Петербургском заводе художественных красок, а также в ГУ Центр "Энлаком" при правительстве Москвы. Все пигменты не токсичны, не радиоактивны, не канцерогенны, пожаро-взрывобезопасны.

Породы углесланцевых комплексов Армении до сих пор в производстве красителей-пигментов не использованы, хотя и имеется богатый российский и мировой опыт.*

Предварительные исследования на бурых углях и горючих сланцах показали принципиальную возможность получения кислотостойких красителей ярких цветов: от ярко-желтого, оранжевого до малинового, вишневого и темно-бордового. В отличие от имеющихся и известных красителей-пигментов, красители, полученные из пород углесланцевых комплексов, более яркие и могут быть широко использованы в текстильной, химической, строительной и др. отраслях промышленности.

Таким образом, по проекту "УГАР" предусматривается проведение научно-исследовательских, технологических и проектно-конструкторских работ на базе месторождений бурых углей и горючих сланцев Армении. На данной стадии разработки проекта

* Программа работ составлена к.т.н. А.Г. Мушегяном.

очевидно, что основные разделы планируемых работ обеспечат социально-экономическую и технико-экономическую эффективность от внедрения их результатов с созданием экологически чистых производств. Выполнение проекта “УГАР” в полном объеме обеспечит резкое увеличение ресурсов рудного сырья республики и создаст дешевые топливно-энергетические ресурсы из низкокачественного отбракованного топливного сырья. Социально-экономический эффект от реализации проекта также очевиден. Терригенно-углесланцевые комплексы (месторождения) расположены по всей территории Армении, в горной местности, где имеются дешевая рабочая сила, источники энерго- и водоснабжения, действующие горнорудные и обогатительные фабрики, инфраструктура. С освоением проекта будут созданы новые рабочие места и повысятся социально-экономические условия районов и регионов. Открытая разработка терригенно-углесланцевых комплексов не может нанести вред окружающей среде, т.к. угленосные пласты, **во-первых**, очень мало-мощны, а **во-вторых**, их доля не превышает 25-30% общего объема золотосодержащих пород, к тому же могут быть осуществлены традиционные мероприятия по охране окружающей среды, не требующие больших затрат, и строительство специальных сооружений.

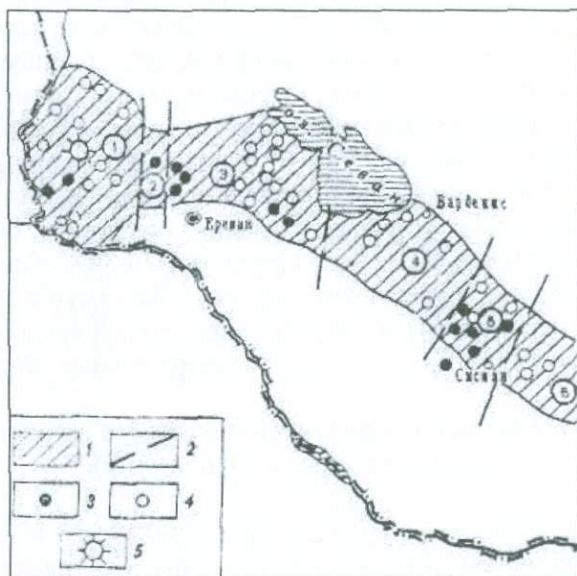
1.3. Золотоносность продуктов новейшего вулканизма Армении (пески, туфы, шлаки).

На территории Армении в конце третичного и начале четвертичного периодов формируется вулканическая гряда новейшего вулканизма. Северная граница вулканической гряды проходит почти по зоне Эрзинджан-Севанского глубинного разлома, трассирующей выходы офиолитов, а южная граница расплывчатая, структурно отчетливо не выражена, однако в первом приближении она совпадает с линией Ереван-Сисиан. Структурное толкование этой границы может быть различным.

Протяженность вулканической гряды по простиранию более 300км, при ширине в среднем 40км, однако на отдельных участках ширина гряды достигает 100км (северо-западный блок, массив г. Арагац). На западе вулканическая гряда имеет широтное

простираение (отрезок г.Гюмри – оз.Севан), а далее прослеживается на юго-восток почти параллельно зоне Севанского разлома, обретая в плане форму полудуги.

Отчетливо вырисовывается блоковое строение вулканической гряды, которая рассечена зонами поперечных разломов на три крупных тектоно-магматических блока (с запада на восток): Арагацкий (1), Севанский (Гегамо-Варденисский – 3-4) и Сюникский (Зангезурский – 5) (рис. 1.39).



1.39. Схема блокового строения зоны третичного-раннечетвертичного вулканизма на территории Армянского нагорья (Наседкин, 1981).

1 – зона третичного-раннечетвертичного вулканизма, 2 – разломы, 3 – проявления кислого вулканизма, 4 – вулканические центры, 5 – вулкан Арагац.

Каждый из этих блоков характеризуется спецификой вулканических проявлений. Центры вулканических извержений равномерно рассеяны по всей площади гряды, однако центры интенсив-

ного кислого вулканизма концентрируются вдоль границ Севанского (центрального) блока с Арагацским (зона Разданского меридионального разлома – 2) и Зангезурским (Воротанская система ступенчатых разломов северо-восточного простирания – 4) блоками, располагаясь ближе к южной границе вулканический гряды.

Выделяются несколько этапов извержений, где происходит закономерная смена вулканических продуктов от основных к кислым дифференциатам. Для вулканической гряды характерен четко выраженный дифференциальный ряд: базальт-андезит-дацит-риолит (Заварицкий, 1953; Паффенгольц, Тер-Месропян, 1964; Ширинян, 1975; К. Карапетян, Адамян, 1973; Гукасян, 1985; Наседкин, 1981; Чернышев, Лебедев, Джрбашян и др., 2002).

Особый интерес представляет Арагацкий тектоно-магматический блок, занимающий более 17% территории республики. Вулканизм массива горы Арагац изучен детально. Наиболее фундаментальным исследованием является монография К.Н. Паффенгольца и Г.Т. Тер-Месропяна “Арагац” (1964). Считаю уместным здесь привести отрывок из шуточной хронологии Арагаца, которую К.Н. Паффенгольц вложил в монографию и оставил в назидание потомкам. История изучения Арагаца начинается с 1839г (Дюбуаде-Монпере) и продолжается по настоящее время. Более 15 ученых посвятили свои исследования Арагацу и стали кандидатами и докторами наук.

“Что будет с Арагацем дальше?! Чья очередь? Как видно терпение Арагаца безгранично. Пожелаем же геологам также долгого терпения, но и такого же многолетия, как срок изучения библейского Арагаца” (Паффенгольц, 1963, декабрь). Прошло более 45 лет, когда были написаны эти завещательные слова. Сейчас начинается новый этап изучения Арагаца. Арагац штурмует рудничная геология. Сырьевые ресурсы Арагаца металлоносны и являются рудным сырьем XXI века. Внедрение новейших экологически чистых технологий обеспечит эффективное использование комплексных **рудно-строительных** ресурсов Арагаца.

Одним из последних обобщений по обоснованию возраста четвертичного вулканизма Арагаца является коллективная статья, опубликованная в докладах РАН (Чернышев, Лебедев, Аракелянц,

Джрбашян, Гукасян, 2002). Новейшими исследованиями установлено, что вулканические титаномagnetитовые пески и кислые туфы, образующие приповерхностный единый стратиграфический горизонт с маломощным покровом андезито-базальтов в пределах массива горы Арагац имеют возраст 0,5-0,7Ма. Продукты последней стадии вулканических извержений преимущественно представлены туфами, перлитами, обсидианами, песками, пемзами, андезито-базальтами и другими обломочными и пирокластическими образованиями. Активность четвертичного (последнего) этапа, по мнению И.В. Чернышева и соавторов, ограничивалась эруптивной деятельностью ряда “моногенных центров” и извержениями из локальных трещин на южных склонах г.Арагац (вулканические центры-конусы Тирин-Катар и Аштарак), андезито-базальтов (двупироксеновые и оливин-пироксеновые) и реже андезитов. Эти исследователи считают, что первые три вулканических этапа Арагаца закономерно сменяют серии вулканитов от основных пород к кислым дифференциатам, а “последний этап представлен отдельными лавовыми потоками преимущественно основного состава” (Чернышев и др., 2002).

Запасы вулканических песков и в особенности туфов огромны, они широко используются в строительстве. Значительны также отходы механической туфодобычи – туфовые пески, вернее, **пески туфодобычи** от механической распилки туфовых плит (блоков правильной формы). Эти отходы горнорудного производства образуют большеобъемные внутрикарьерные и внешние отвалы рыхлого песка и пыли (рис. 1.40-1.41). Они наносят огромный вред окружающей среде в связи с содержанием тяжелых металлов, а с другой стороны занимают большие территории плодородных земель.

Программы по утилизации отходов камнедобычи отсутствуют. В этом плане, т.е. как с экономической, так и с экологической точки зрения, важное значение приобретает программа исследований по установлению как металлоносности продуктов новейшего вулканизма, так и отходов камнедобычи (механической туфодобычи), выдвинутая впервые нами в 2002г. Эта программа дает возможность переоценить и переклассифицировать строительное



Рис. 1.40. Карьер механической распиловки туфа на южном склоне массива г.Арагац. Кош. Внутрикатьерные отвалы.



Рис. 1.41.Отвалы камнедобычи на автотрассе Ереван-Гюмри. Кош.

сырье в **рудно-строительное** и решить проблемы как утилизации, так и экологической безопасности окружающей среды и вместе с тем вопросы отчуждения плодородных земель.

В специальной литературе проблема металлоносности продуктов новейшего вулканизма вообще не обсуждалась, хотя имеются отдельные исследования, в которых в той или иной редакции приводятся аналитические и минералогические данные по драгоценным и редким металлам, сульфидам и окислам (Keyas, Scott, 1976; Меликсетян, Карапетян, 1981).

Весь комплекс вулкано-пирокластических образований новейшего вулканизма г.Арагац на предмет их металлоносности специально не изучен и как комплексное рудно-строительное сырье многоцелевого назначения до наших исследований не рассматривался. Металлоносность продуктов новейшего вулканизма (песков, туфов, шлаков) и отходов механической туфодобычи – **“песков туфодобычи”** от распилки стройматериала правильной формы нами изучалась на южных склонах г.Арагац, на участке Талин-Агарак-Арич-Кош, вдоль автомагистрали Ереван-Гюмри. Продукты новейшего вулканизма – пески, туфы и пески туфодобычи – были подвержены аналитическим и минералого-петрографическим исследованиям, а в отдельных случаях проводились специальные металлургические опыты по получению чистых металлов (Au, Ag, МПГ) или сплава Доре. Очередь за новейшими базальтами.

Вулканический песок или нецементированный пирокластический материал псаммитовой размерности состоит из осколков вулканических пород среднего состава со стекловатой основной массой, пористых стекол темно-бурого цвета, осколков кристаллов плагиоклаза, пироксена и многочисленных рудных минералов (магнетита, титаномагнетита) (рис. 1.42).

Осколки вулканических пород представлены пироксеновыми трахиандезитами в буроватой стекловатой массе, в которую погружены мелкие вкрапленники плагиоклаза, пироксенов, рудных минералов, а также редкие микролиты плагиоклаза, рассеянные в бурой гиалитовой массе. Структура осколков трахиандезитов микропорфировая с гиалитовой или гиалопилитовой основной массой.



Рис. 1.42. Разрез новейших вулканических пемзовых титаномагнетитовых песков массива горы Агарац, Талин-Агарац, Арич.

Рудные минералы представлены преимущественно мелкими и крупными зернами с неправильными очертаниями, а также идиоморфными квадратной, прямоугольной или ромбовидной формы кристаллами размерами до 1,5-2,0мм. Отмечается развитие крупных рудных кристаллов по пироксенам, а также пойкилитовые включения плагиоклазов и пироксенов в рудном веществе.

Пироксены представлены светло-зеленоватыми неплеохроирующими клинопироксенами, а также гиперстеном, ромбическим пироксеном, плеохроирующим в розоватых тонах. Осколки трахиандезитов являются двупироксеновыми.

Трахиандезитовые осколки содержат многочисленные фенокристаллы плагиоклаза состава андезин-лабрадор (43-60% андезин).

В стекловатых обломках (осколках) темно-бурого цвета отмечаются многочисленные пустоты с неправильными и круглыми очертаниями, которые создают пузыристую текстуру. Это, по существу, мелкие осколки пемзы андезитового состава.

Содержание щелочных элементов в вулканических песках повышенное. Содержание натрия колеблется от 4,8 до 6,0, калия – от 3,2 до 3,9%. Общее содержание щелочных элементов варьирует от 8,6 до 9,2%. Эти данные позволяют вулканические пески андезитового состава отнести к породам субщелочного ряда – натриевым трахиандезитам. Содержание SiO_2 варьирует от 57,03 до 57,06%, что характерно исключительно для вулканитов андезитового состава.

Следует отметить, что пирокластические образования более характерны для андезитов, чем для базальтов, что связано с высоким содержанием летучих компонентов в андезитовой магме. К тому же, вулканические пески железистые (титаномагнетитовые) с содержанием окислов железа от 7,8 до 8,5% в составе магнетита, титаномагнетита и ильменита.

Разрез вулканических песков на этом участке однотипный. Наиболее характерен разрез с.Агарак (Галин) (рис. 1.42). Слой вулканических песков, видимой мощностью более 15м, отчетливо распадается на три прослоя. Под маломощным (до 1м) покровом андезито-базальта залегают черного цвета крупнозернистые и сред-

не-крупнозернистые пески с включениями неокатанных обломков “базальтов”, ингимбритов (до 1м в поперечнике), глин, пемзы, обсидиана и других продуктов. Ниже залегает прослой мелкозернистых темно-серых (черноватых) песков с редкими маломощными (1,5-2м x 0,3-0,5м) пемзовыми блочно-кусковатыми линзами. В основании вулканических песков залегает прослой тонкозернистых, песков темно-серого цвета. Магнитная фракция песков составляет 46,3%.

Между выходами вулканических песков вся поверхность покрыта покровом черно-бурых и частично “пламенных” туфов Коша, детально описанных в литературе и ныне добываемых механической распиловкой. По данным Э.Х. Харазяна, этот переход фациальный. Характерная особенность туфов заключается в том, что они содержат крупные включения ошлакованного стекловатого вещества и смоляно-черных линз и полосок блестящего вулканического стекла, что резко ухудшает их декоративное качество и придает им вид туфобрекчий.

Полуколичественным спектральным анализом (ЦНИГРИ, г.Москва) на 30 элементов в вулканических песках с.Агарак установлены Ag, Ba, Be, Cr, Cu, Ga, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sr, Ti (много, >1%), V, Zr, Y. Спектральным анализом не обнаружены As, Bi, Cd, Co, Ge, Hf, Sb, Se, Sn, Ta, Tl, W, Zn, Yb. В магнитной фракции этих песков дополнительно установлены Co, Sc, а Be – отсутствует (табл. 1.15).

Полный силикатный анализ вулканических песков Агарака, песков туфодобычи и рядового черного туфа, а также туфа, обогащенного стеклом, с.Кош и песков с.Арича (НИГМИ, г. Ереван) показали, что все разновидности продуктов новейшего вулканизма в принципе имеют однотипный **натриевый трахиандезитовый состав** и характеризуются повышенным содержанием SiO_2 – 57-60%; Al_2O_3 – 12,9-15,4%; TiO_2 – около 1%; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ – 6,5-9,3% и высокой щелочностью – $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 8,6-9,4%, причем $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,53$ (табл. 1.16). Эти данные свидетельствуют также о том, что все продукты вулканизма являются образованиями единого магматического очага, при устойчивом химизме.

Результаты полуколичественного спектрального анализа (в %).

ЦНИГРИ

Спектральная лаборатория

Зав. лабораторией – Мандругин А.В.

Аналитик – Григорьева И.В.

Талин-Агаракское месторождение.

Вулканические пески.

N/N п/п	Код пробы	Место отбора	Номер пробы	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Ga
1.	49	Карьер, пемзовые пески, магнитная фр.	ТА-1-М (ТП-1)	0,0001	-	0,04	-	-	-	0,001	0,01	0,003	0,001
2.	50	Карьер, пемзовые пески	ТА-1 (ТП-1)	<0,0001	-	0,06	<0,0001	-	-	-	0,001	0,003	0,0008
N/N п/п	Код пробы	Место отбора	Номер пробы	Ge	Hf	Mn	Mo	Nb	Ni	Pb	Sb	Sc	Sn
1.	49	Карьер, пемзовые пески, магнитная фр.	ТА-1-М (ТП-1)	-	-	0,08	0,002	0,001	0,002	0,03	-	0,001	-
2.	50	Карьер, пемзовые пески	ТА-1 (ТП-1)	-	-	0,02	0,002	0,002	0,002	0,003	-	-	-
N/N п/п	Код пробы	Место отбора	Номер пробы	Sr	Ta	Ti	Tl	V	W	Zn	Zr	Y	Yb
1.	49	Карьер, пемзовые пески, магнитная фр.	ТА-1-М (ТП-1)	0,001	-	>1%	-	0,006	-	-	0,008	0,002	-
2.	50	Карьер, пемзовые пески	ТА-1 (ТП-1)	0,002	-	0,6	-	0,004	-	-	0,01	0,002	-

Таблица 1.16

Результаты полного силикатного анализа вулканических пемзовых песков и туфов г.Арагац^{*)}.

N/N n/n	Шифр пробы	Наименова- ние продукта	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п. + вл.	Сумма
1.	ТА-1-М	пемзовые пески Агарака	57,03	15,39	4,06	3,01	1,1	0,55	0,05	3,21	5,32	6	3,2	1,1	98,92
2.	К-16-М	туфовый пе- сок (отходы камнедобы- чи)	59,07	12,87	3,49	2,31	1	0,54	0,05	5,05	4,28	5,5	3,9	2,02	100,03
3.	К-13-М	черный туф (рядовой)	60,02	15,19	3,28	1,98	1,09	0,5	0,055	3,64	2,85	5,65	3,3	2,31	99,865
4.	К-14-М	туф, обогащен- ный стеклом	58,5	14,21	3,65	2,07	0,96	0,52	0,05	3,59	4,52	5,6	3,8	2,82	100,29
5.	А-10- ТП-4-М	пески Арича	57,6	15,32	4,04	2,9	1,08	0,54	0,05	4,06	3,73	4,8	3,8	2,16	100,08

^{*)}Анализы выполнены в центральной аналитической лаборатории.
ЗАО "Горно-металлургический институт". Аналитик – К.В. Минасян.

Таблица 1.17

**Гранулометрический состав магнитной и амагнитной фракций проб
пемзовых песков и туфов горы Арагац**

N/N n/n	Классы, мм	Грануло- метрический состав		Амагнитная фракция		Магнитная фракция		
		Вес, г	%	Вес, г	%, от общего веса фракции	Вес, г	%, от общего веса фракции	%, от общего веса данного класса
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вулканические пески, Талин-Агаракское месторождение								
1	+2,0	65,5	27,02	41,8	32,14	23,7	21,16	36,18
2	-2+1,25	22,7	9,38	12,2	9,37	10,5	9,38	46,26
3	-1,25+1,0	33,9	14,01	16,8	12,90	17,1	15,27	50,44
4	-1,0-0,2	106,9	44,18	52,7	40,52	54,2	48,39	50,70
5	-0,2	13,1	5,41	6,6	5,07	6,5	5,80	49,6
	Всего	242,1	100	130,1	100	112,0	100	46,3
Кош, отходы переработки туфов								
1	+2,5	98,7	27,8	63,6	46,9	35,1	15,9	35,6
2	-2,5+0,5	144,5	40,6	30,5	22,5	114,0	51,8	78,8
3	-0,5	112,5	31,6	41,5	30,6	71,0	32,3	63,1
	Всего	355,7	100	135,6	100	220,1	100	61,9
Кош, туф рядовой								
1	+2,5	250,5	47,5	162,2	76,9	88,3	27,9	35,2
2	-2,5+0,5	174,0	33,0	22,5	10,7	150,5	47,7	87,1
3	-0,5	103,2	19,5	26,2	12,4	77,0	24,4	74,6
	Всего	527,7	100	210,9	100	315,8	100	59,8

Гранулометрический состав магнитной и амагнитной фракций песков Агарака, песков туфодобычи Коша и рядового туфа Коша показал следующую картину (табл. 1.17). В **вулканических песках** магнитная фракция класса - 1,0 + 0,2мм составляет 48,4%, т.е. 50,7% от общего веса данного класса; в **песках туфодобычи** Коша магнитная фракция класса - 2,5 + 0,5мм составляет 51,8%, т.е. 78,8% от общего веса данного класса; в **рядовом туфе** Коша магнитная фракция класса - 2,5 + 0,5мм составляет 47,7%, т.е. 87,1% от общего веса данного класса. В таблице

1.18 приводятся результаты определения общего количества магнитной фракции в массе малообъемных проб, весом 7,5-10кг для различных типов пород.

Таким образом, гранулометрический анализ продуктов новейшего вулканизма южных отрогов горы Арагац показал, что **во-первых**, магнитная фракция во всех типах пород очень высокая и составляет в среднем примерно 56%, **во-вторых**, продукты новейшего вулканизма можно классифицировать как титаномагнетитовые.

Таблица 1.18

Общее количество магнитной фракции в массе малообъемных проб

N/N n/n	Место отбора пробы, номер пробы	Материал пробы	% магнитной фракции
1.	Новый карьер с.Агарак, проба 1/1	Титаномагнетитовые пемзовые пески	33,0
2.	Там же, проба 1/2	-	54,3/54,1 ^{*)}
3.	Там же, старый карьер, проба ТП - 3	-	49,1/50,0
4.	Карьер с.Арич, проба ТП - 4	-	51,1/52,8
5.	Карьер туфодобычи, Кош, проба N 16	Песок туфодобычи	60,1/61,9
6.	Карьер туфодобычи, Кош, проба N 13	Рядовой туф	63,6/59,8
7.	Карьер туфодобычи, Кош, проба N 14/1	Туф с черными выделе- нениями (обогащен- ный стеклом)	69,5/76,8

^{*)} в числителе – с учетом водного осадка
в знаменателе – без учета водного осадка

Анализы по драгоценным металлам (Au, Ag) проводились в пробирной лаборатории ГМИ (г.Ереван) и в аналитической лаборатории ИГН НАН РА (атомно-абсорбционный анализ). Обобщенные результаты анализов приводятся в таблице 1.19. В ЦНИГРИ вы-

полнен один анализ атомно-абсорбционным методом на платиноиды – Pt и Pd. Содержание в титаномагнетитовых песках нового карьера с.Агарак составили (мг/т): платина – 20, палладий – 56.

Имеющийся аналитический материал убедительно показал, что в продуктах новейшего вулканизма горы Арагац установлены постоянные содержания благородных металлов, с чем следует считаться и рассматривать их как потенциальное благороднометалльное сырье.

С целью уточнения наличия Au, Ag и МПГ были проведены специальные металлургические опыты по получению чистых металлов или сплава Доре (рис. 1.44-1.47). Для проведения лабораторных опытов из магнитной фракции вулканических песков нового карьера с.Агарак (проба ТП-1, пробирный анализ: Au – 6,8г/т, Ag – 28,4г/т) были отобраны две навески по 50г каждая (рис. 1.43).

Первая навеска, весом 50г была подвергнута пробирной плавке. В результате был получен корольек пробирной плавки золото-серебряного сплава (веркблей) или так называемый



Рис. 1.43. Золото-серебряный корольек от металлургической переработки вулканических титаномагнетитовых песков с.Агарак (Талин).

Проба ТА-1-М (ТП-1), магнитная фракция, ув. х25. Навеска 1, вес 50г. Вес королька 0,35мг. В пересчете на пески содержание Au+Ag равно 7,1г/т.

**Результаты пробирного и атомно-абсорбционного анализов образцов
из новейших вулканических песков и туфов горы
Арагац (Талин-Агарац)**

Аналитик: ГМИ – Арустамян Р.,
ИГН НАН – Аперян А.

N/N n/n	Номер пробы	материал	фракция	Пробирный анализ, г/т		Атомно-абсорбционный анализ (ИГН НАН), г/т	
				Au	Ag	Au	Ag
1	ТА-1-М Агарац	черные магнетитовые пески	магнитная	6,8	28,4	0,6	1,3
				(3.10.2002)		(4.07.2003)	
2	ТА-1-Н	"-"	немагнитная	1,0	3,8	0,6	1,25
				(5.10.2002)		(4.07.2003)	
3	ТА-1/1 Агарац	"-"	магнитная (повторный анализ)	0,7	2,4	0,6	1,3
				(6.11.2002)		(4.07.2003)	
4	К-1 Кош	отходы туфов от распилки	магнитная	1,0	3,6	-	
				(6.11.2002)			
5	К-14-М Кош	туф, обогащенный стеклом	магнитная	0,4	1,8	0,32	1,3
				(21.11.2002)		(4.07.2003)	
6	К-13-М Кош	рядовой туф		0,4	1,8	0,14	1,2
				(21.11.2002)		(4.07.2003)	
7	А-10-ТП-4-М, Арич	магнетитовые пески	магнитная	0,2	1,2	-	
				(21.11.2002)			
8	ТА-ТП-3-М Агарац, старый карьер	магнетитовые пески		0,4	1,8	-	
				(21.11.2002)			
9	К-13 Кош	рядовой туф	немагнитная	-		0,14	1,2
						(4.07.2003)	

сплав Доре, весом 0,35мгр, что соответствует весу благородных металлов 7,1г/т в исходных магнетитовых песках. Под микроскопом хорошо отличаются Au и Ag, а диагностика Pt (МПГ) вызывает определенные трудности.

Вторая навеска, весом 50гр, также подвергнута свинцовой плавке с получением веркблея весом 0,5мг. Последний подвергнут окислительной свинцовой плавке с целью химического разделения Au, Ag и Pt или Pd. Полученные металлы представлены зернистыми образованиями с характерным металлическим блеском и цветом, что хорошо видно под микроскопом. Установлено, что 1/3 полученного зернистого материала представлена золотом, а 2/3 – серебром и МПГ (Pt или Pd). Суммарный вес полученного материала соответствует содержанию благородных металлов в исходном титаномагнетитовом вулканическом песке – около 10г/т. По результатам двух опытов среднее содержание Au – 2,8г/т, Ag – 5,6г/т. Результаты металлургических опытов, *во-первых*, убедительно подтвердили результаты пробирного и атомно-абсорбционного анализов о наличии содержаний драгоценных металлов в вулканических песках, и, *во-вторых*, свидетельствуют об их резко неравномерном распределении в общем объеме, что следует учесть при разведочных работах и классификации объекта по сложности геологического строения.

Минералого-петрографические исследования полностью подтвердили результаты пробирных и атомно-абсорбционных анализов. Исследованию подверглись как магнитная, так и амагнитная фракции титаномагнетитовых песков с.Агарак и отходы камнедобычи с.Кош. Все продукты новейшего вулканизма были детально исследованы рентгенофазовым анализом в дополнение к минералогическим исследованиям. Исследования проводились на сварных прозрачных и полированных шлифах, в проходящем и отраженном свете, при больших увеличениях (до $\times 750$).

Минералогическими исследованиями в продуктах новейших вулканических образований установлены следующие рудные минералы: магнетит, титаномагнетит, гематит, мартит, пирит, самородная медь, золото, платина, браунит (оксид марганца). Из нерудных минералов наиболее широко развиты кварц и кальцит в различных генерациях.

Магнетит в туфах Коша (магнитная фракция) представлен крупными кристаллами весьма разнообразной формы: довольно часто встречается идиоморфный габитус, меньше – ксеноморф-

ные, округлые, осколочные. Наиболее крупные кристаллы магнетита трещиноваты. Магнетит довольно интенсивно мартитизирован. Гематит-мартит развивается по трещинкам дробления, по периферии кристаллов магнетита. В итоге образуются каемчатые, пятнистые, сетчатые, решетчатые структуры. Размеры выделений магнетита колеблются от 0,8мм до субмикроскопических, превалируют 0,2-0,4мм. Помимо этого отчетливы участки густой эмульсионной сыпи магнетита в пределах отдельных зерен нерудного минерала.

В вулканических песках Агарака (магнитная фракция) выделения магнетита представлены двумя разновидностями: *во-первых*, это изометричная форма кристаллов, но встречаются удлиненные и сильно раздробленные осколочные кристаллы, размерами 0,05-0,1, редко 0,02мм, *во-вторых*, магнетит представлен в виде густой вкрапленности с субмикроскопическими или эмульсионными выделениями, часто в нерудном минерале. Процесс мартитизации практически отсутствует (рис. 1.44).

В песках (отходах) туфодобычи (магнитная фракция) выделения магнетита доходят до 0,05мм в сростках с довольно крупными (до 0,1мм) зернами нерудного минерала. В основном они ксеноморфные. Также наблюдается довольно густая эмульсионная сыпь в нерудном минерале (кварце).

Золото и платина встречаются во всех продуктах новейшего вулканизма – в песках, туфах и песках (отходах) туфодобычи (рис. 1.46-1.47).

В туфах Коша золото отмечено в кристаллах магнетита – мелкие выделения размерами 0,006мм. По периферии шлифа отмечаются идиоморфные зерна золотинок, размерами 0,009мм. Платина представлена нитевидной формой, размерами 0,001х0,03мм (рис. 1.46).

В песках Агарака золото встречается чаще в виде точечных выделений (капель), размерами 0,004х0,006мм в нерудном минерале (кварце). Идиоморфные золотинокки размерами 0,01; 0,022 и 0,005мм наблюдаются по краям шлифа. С золотом ассоциирует платина. Она изометричной формы, размерами 0,02мм, а также в виде удлиненных и нитевидных выделений, размерами 0,005х0,04мм (1.44).

В песках (отходах) туфодобычи наблюдаются мелкие золотинки и платина, размерами 0,015-0,02мм (рис. 1.47). В отдельных случаях выделяются участки (размером 0,07мм) с эмульсионной сыпью золота в контурах нерудного минерала (кварца).

Самородная медь встречается в виде отдельных зерен, размерами от 0,007-0,008 до 0,023мм в туфах и песках камнедобычи.

Пирит встречается в виде субмикроскопических зерен, рассеянных в нерудном минерале в песках туфодобычи. В песках Агарак встречаются отдельные агрегаты пирита, размерами 0,15х 0,07мм (рис. 1.44).

Следует отметить, что рудные минералы (магнетит и гематит) в гольгатских лавах, шлаках, лапиллях описаны А.Н. Заварицким. Размеры магнетита колеблются от нескольких до 10-30 и даже до 50 микронов. Часто встречаются хорошие кристаллы первичного, рано выделившегося магнетита. Наблюдаются вкрапления магнетита в фенокристаллах оливина, что свидетельствует о его образовании одним из первых минералов. Скелетные формы магнетита в шлифах разнообразны. Кроме первичного магнетита, описаны также вторичный гематит и магнетит, как продукты разложения железистых силикатов (особенно оливина), образующие непрозрачные рудные оболочки, а также пыль оксидов железа, “выпадающая при окислении породы в стекле и делающая его непрозрачным” (Заварицкий, 1953).

В заключение отметим, что все вышеизложенное дало нам основание опробовать шлаковые курганы на правой стороне автотрассы Ереван-Горис на отрезке с.Ангехакот – развилка дороги на Сисиан (рис. 1.48). Пробирные анализы показали содержание золота от 0,2-0,4г/т до 1-1,2г/т, а серебра 5-10г/т. Эти данные, во-первых, следует повторно проверить, во-вторых эти результаты обнадеживающие, т.к. шлаковые курганы занимают огромные территории и используются исключительно в строительстве. Комплексный подход к этому сырью обеспечит его использование в перспективе как рудно-строительного сырья многоцелевого назначения.

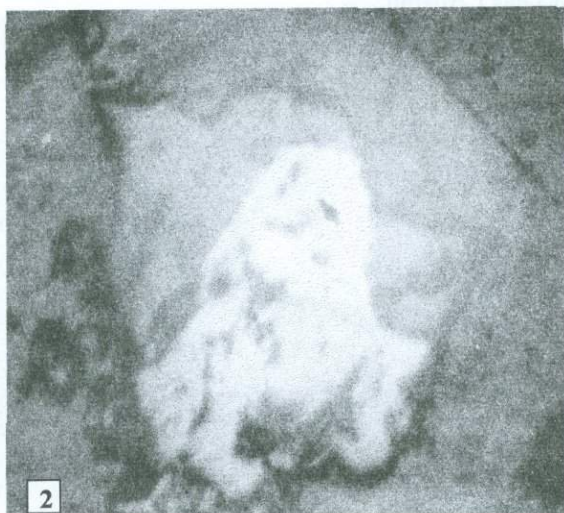
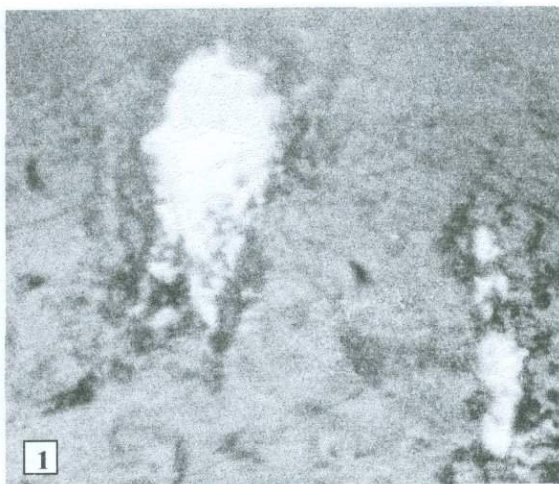


Рис.1.44 Талин-Агарак. Микрофотографии рудных минералов в вулканических титаномагнетитовых песках массива г.Арагац.

Проба ТА-1/1-М, магнитная фракция. Полированный сварной шлиф, ув. x750. 1-агрегат пирита (светлое) в нерудном минерале, 2-зерно магнетита с включением гематита.



Рис. 1.45. Талин-Агарак. Зерно золота в вулканических титаномagnetитовых песках массива г.Арагац.

Проба ТА-1/1-М, магнитная фракция, Полированный сварной шлиф, ув. x750.



Рис. 1.46. Кош. Изометричное зерно золота в агрегате нерудного минерала в отходах камнедобычи (вулканических туфов) массива г.Арагац.

Проба К-ТП-16-Н, немагнитная фракция, полированный сварной шлиф, ув. x750.

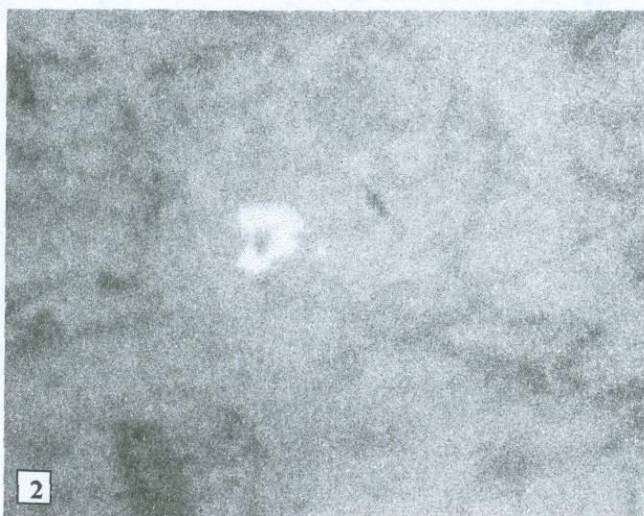
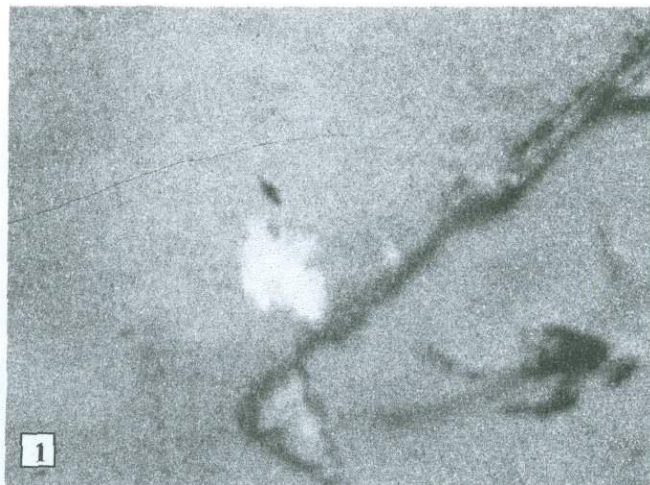


Рис. 1.47. Кош. Корродированное золото с платиной (?) в агрегате нерудного минерала.

Проба К-ТП-16-Н, пески камнедобычи, немагнитная фракция, полированный сварной шлиф, ув. х750.



Рис. 1.48. Золотосодержащие шлаковые курганы по дороге в г.Горис.

1.4. Золотоносность покрова вторичных кварцитов

Во всех существующих моделях медно-порфировых систем вообще и, в частности, медно-порфировых месторождений гранитоидного типа (“диоритовой модели” по В. Ф. Холлистеру) в качестве составных элементов выделяются “зоны гидротермально-метасоматических изменений”, представленные серицитовыми, алунитовыми, серицит-кварцевыми, биотит-калишпатовыми, аргиллизитовыми, пропилитовыми и другими фациями вторичных кварцитов. Вмещающие их материнские (первичные) породы представлены вулканогенно-осадочными, интрузивными или метаморфизованными породами. Эти метасоматиты (вторичные кварциты) в виде “шапки-ушанки” окаймляют апикальное приповерхностное экзо-эндоконтактное обрамление гранитоидной интрузии и характеризуются интенсивным развитием процессов окисления, выщелачивания и вторичного сульфидного обогащения. Оруденение представлено золото-медно-колчеданным, уран-золото-медным, уран-золотым или уран-золото-медно-молибденовым (полиметаллическим) типами, а также некоторыми переходными разновидностями при обилии пиритового вкрапления (минерализации). Метасоматиты образуют не зоны (как в зонах разломов), а, скорее, надинтрузивные (надкровельные) покровы-шапки. Формирование оруденения покрова метасоматитов обусловлено не только формационной принадлежностью месторождения, но и климатическими, морфологическими, гидрогеологическими, структурными, литологическими и другими факторами, в особенности уровнями эрозионного среза, грунтовых вод и др. Фактически промышленная концентрация оруденения в покровах вторичных кварцитов большей частью обусловлена наложением более поздних экзогенных и гидрогенных факторов, в результате которых процессы гипергенеза и супергенеза получают широкое развитие, вызывая растворение, миграцию и переотложение рудных металлов и радиоактивных элементов, и формируют месторождения более молодого возраста.

Минералогические особенности покрова вторичных кварцитов обусловлены наличием зоны окисления и зоны вторичного сульфидного обогащения, поэтому рудная минералогия покрова

вторичных кварцитов резко отличается от относительно простой минералогии сульфидных руд. В покровах вторичных кварцитов зоны минералообразования характеризуются латеральной горизонтальной зональностью, обусловленные уровнем грунтовых вод, интенсивностью эрозии и количеством (доступом) свободного кислорода. Мощность покрова вторичных кварцитов варьирует в пределах нескольких десятков метров, редко 100, а еще реже свыше 100 м и выклинивается с глубиной (в виде опальцевания), в то время как размах массивного сульфидного оруденения исчисляется сотнями метров, а иногда и более.

Следовательно, меднопорфировое ядро гидротермальной системы мы отделяем от железо-гидроокисного золото-медного (молибденового, золото-медно-уран-молибденового) покрова вторичных кварцитов эндогенно-экзогенного (эндогенно-инфильтрационного, эндогенно-гидрогенного) происхождения как по морфогенетическим особенностям, так и по вещественному составу и обогатимости. Исходя из вышеизложенного, считаем целесообразным надинтрузивный (надкровельный) покров вторичных кварцитов выделить в самостоятельную формацию руд – металлоносные покровы вторичных кварцитов меднопорфировых систем.

В зарубежной литературе о золотоносности алунитовых пород первые сведения приводятся в работах начала XX века (Lindgren, Ronsome, Лебедев, Обручев и др.). Идея о рудоносности вторичных кварцитов получила дальнейшее развитие при изучении медно-порфировых месторождений (систем) ведущими советскими (А.Н. Соловкин, Н.И. Наковник, И.Г. Павлова, В.А. Перваго, М.Б. Бородаевская, А.И. Кривцов и др.) и зарубежными (Hollister, Sillitoe, Титли, Бин и др.) геологами. В современной геологической литературе среди эпитермальных месторождений выделяются главным образом высокосульфидные месторождения золото-алунитового подтипа (Sillitoe, 1991). Месторождения этого типа широко развиты в Южно-Американском сегменте Тихоокеанского пояса. Крупнейшими эпитермальными золоторудными месторождениями являются: Лэдолэм (1200т, о-в Лихир), Янакоча (870т, Перу), Поргера (550т, Новая Гвинея), месторождения пояса Колорадо: Крипл-Крик (800т), Раунд Маунтин (310т), Комсток (280т), Голдфилд

(160т), а также Паскуа (340т), Пьерина (310т), Эль Индио (300т) и др.

Месторождения типа ЮСГ (железо-гидроокисного-медно-золотого), т.е. в принципе те же медно-золотоносные вторичные кварциты, имеют широкое распространение в мире. К ним относятся уникальные месторождения с огромными запасами при низких содержаниях полезных компонентов (Au – 0,25-0,8 г/т; Cu – 0,6-1,6 %) – Канделярия и Эль Индио (Чили), Олимпик Дам (Австралия), Кайрагач (Узбекистан), Саммитвилл и Лейк Сити-2 (США), Лепанто и месторождения “мобильного пояса” (Филиппины), Джулкани (Перу), Пуэбло-Вьесо (Доминиканская Республика), Нанасацу (Япония), Чауча (Эквадор), Челопеч (Болгария), Чжинкуаши (о. Тайвань), Покровское, Белая Гора, Озерновское (Россия).

Интересные данные по вторичным кварцитам и, в частности, по алунит-кварцевым породам Армении впервые приводятся в статьях П.И. Лебедева, В.Н. Котляра, а в дальнейшем в работах И.Я. Центр и Е.А. Розина (1972), Г.А. Саркисяна, С.В. Мартиросяна, Э.Х. Харазяна (1982), а также в рукописных отчетах по геологической съемке территории Вайоцзорского и Южносеванского районов (Мартиросян и др., 1981) и в некоторых фондовых материалах (Григорян, 1946, Асатрян, 1960, Саркисян и Меликсетян, 1974). В результате проведенных исследований оконтурены огромные площади развития вторичных (алунитовых) кварцитов, установлена зональность в пространственном распределении и на глубину различных фаций кварцитов и выявлено место алунит-кварцевых пород (алунитовой фации) в этой схеме зональности. Отмечено, что установленная зональность (снизу вверх) – пропилиты, аргиллизиты – алунитовые и каолиновые кварциты – монокварциты и опалиты – очень хорошо вписывается в общую схему для молодых вторичных кварцитов и, в частности, для кальдеры вулкана на месторождении Серное Кольцо (о. Парамушир), а также для третичных гидротермально измененных пород Срединного Камчатского хребта (вулкан Алней).

Металлоносность и ураноносность покровов вторичных кварцитов Армении не изучены, хотя, как уже было отмечено вы-

ше, по золотоносности (металлоносности) алунит-кварцевых пород имеется огромная литература.

До наших исследований вторичные кварциты (и их фации) Армении в основном рассматривались и разведывались как алюмосиликатное сырье для производства стекла и стеклотары, стройматериалов и глинозема (в особенности алуниты), абразивных, огнеупорных и кислотостойких материалов, динасовых изделий, ферросилиция и как флюсовый материал в медеплавильном производстве (Багдасарян, Саруханян, 1967; Саркисян и др., 1982).

Проблема металлоносности вторичных кварцитов как нового формационного вида рудно-силикатного сырья выдвинута нами в новой интерпретации по материалам Армении. Эта проблема находится на стадии разработки, однако новый фактический материал по Техутскому, Тандзутскому, Анкадзорскому, Зангезурскому и Вайкскому рудным полям и районам Армении и Вардадзорскому рудному полю Нагорно-Карабахской республики свидетельствует об их перспективности на золото, медь, молибден, уран, торий, радий и другие полезные компоненты.

Отметим, что за последние годы (2006-2008) в Армении армянской фирмой "Geoteam" в сотрудничестве с фирмой "Lydian International" и при финансовой и организационной поддержке фирмы "NewMont Mining" впервые открыто крупное высокосульфидное эпитермальное месторождение Амулсар с характерным порфировым ядром и четко выраженным полигенным вулканическим куполом, состоящим из серии дискретных центров окварцевания, вытянутых в северо-западном направлении. Вулканический купол сложен эоценовыми андезитовыми и андезито-дацитовыми порфирами, которые прорываются многочисленными экструзиями андезитовых куполов и грибообразных вулканических и гидротермальных брекчий. Штокверковое (прожилково-вкрапленное) оруденение преимущественно локализовано в окварцованных (фации монокварцитов и кварц-алунитов) брекчиевых породах. Часто алунит цементирует окварцованные обломки гидротермальных брекчий. Высокие содержания золота (1-10г/т и редко до 30г/т) сопровождаются парагенетически зонами лимонитизации и баритовыми жилами поздних стадий. Такими геотипами являются Сам-

митвиль (шт. Колорадо) и Чжинкуаши (Тайвань). Зона окисления (и вторичного обогащения) на месторождении сильно выражена до глубины 150-200м. Глубокий уровень окисления является следствием размещения минерализованной системы под горным хребтом с глубоким уровнем грунтовых вод, который контролируется отметками примыкающих долин.

Центральный участок месторождения разведан, запасы утверждены и взяты на государственный баланс. Уникальность месторождения заключается в том, что впервые в мировой практике контуры промышленного оруденения проведены по борту 0,15г/т золота и разработана технологическая схема кучного выщелачивания с извлечением золота 95-97% при средних содержаниях золота 0,8-1г/т. Получена лицензия на промышленное освоение руд центрального участка (уч. Тигранес) и специальная лицензия на проведение геологоразведочных работ в пределах Амулсарского рудного поля с участками Сараван, Эрато, Артаваздес и Горайк.

Амулсарское месторождение в 2008г. посетил Р.Г. Силлитое с целью составления обзора геологической ситуации оценки перспектив площади. По его мнению, месторождение Амулсар имеет “значительный потенциал”, а само месторождение “Амулсар является типичной эпитермальной системой высокой сульфидизации”.

Интересные данные нами получены также по Вардадзорской медно-порфировой системе с участками Еркатадзор, Цахкашен и Чанкатах, где так же интенсивно развиты зоны окисления и вторичного обогащения до глубины 100-120м. По прогнозным ресурсам золотоносность покрова вторичных кварцитов меднопорфировой системы оценивается как крупное месторождение при среднем содержании золота 0,4-1г/т, серебра – 2-6г/т и меди – 0,6-1,36%. Результаты этих исследований подтверждены металлургическими опытами (рис. 1.49-1.50).

Аналогичные данные нами получены по Тандзутской и Техутской медно-порфировым системам.

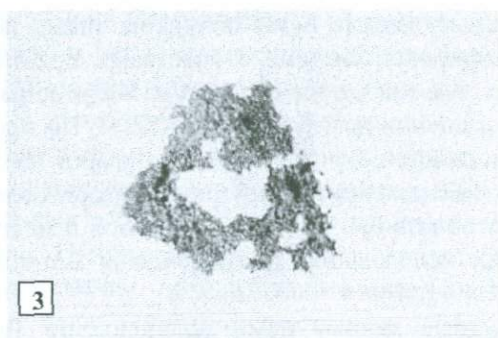
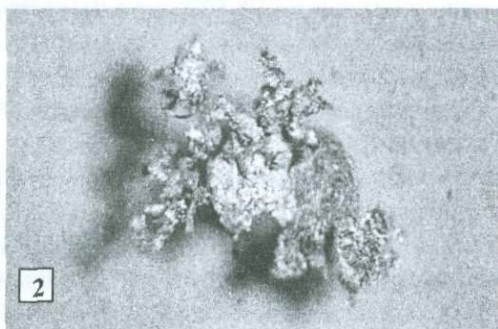
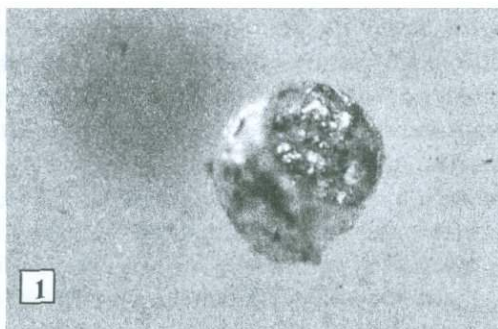


Рис. 1.49. Еркатадзор. Корольки золота и золотосеребряного сплава. Плавка руды. Ув. х50.

Проба Ерк-ТП-1: 1 - корольек золотосеребряного сплава, 2 - дендритообразное золото. Композитная проба: 3 - дендритообразное золото.

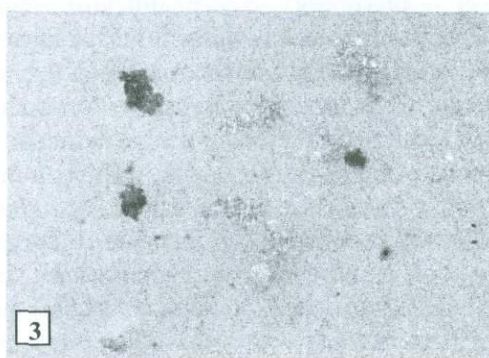
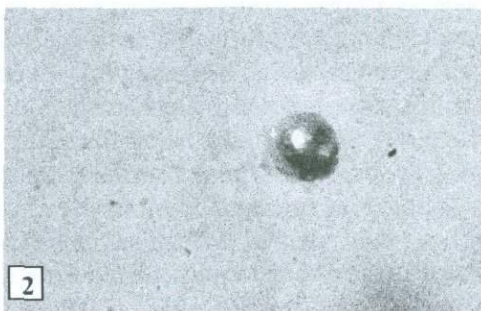


Рис. 1.50. Цахкашен. Корольки золота и золотосеребряного сплава. Плавка руды.

Проба сульфидной руды (скв.2; 42,4-42,7м) : 1 - королек золота. Ув. х50.
Проба окисленной руды (скв.2; 11-12м): 2 - королек золотосеребряного сплава, 3 - дендритообразное золото Ув. х25.

1.5. Золотоносные конгломераты и конглобрекции

Важнейшим источником золота являются конгломераты нижнего протерозоя, откуда добывается также значительное количество урана. Крупные запасы этих металлов содержатся в кварцевых конгломератах. Важными попутными компонентами являются пирит, металлы платиновой группы, торий и серебро. Известны четыре самых крупных региона, где длительное время ведется добыча золота из конгломератов: Витватерсранд в ЮАР, Блайнд-Ривер – Эллиот-Лейк в Канаде, Тарква в Гане и Жакобина в Бразилии (Преториус, 1984).

Золотоносные конгломераты Витватерсранда являются одним из основных источников добычи золота. Эксплуатационные работы ведутся в западных золоторудных полях, включая крайнее юго-западное (Велком), в основном на глубинах 2-3,5км. Запасы золота оценены в 70 тыс.т до глубины 4км, а прогнозные ресурсы – вплоть до 6км. Среднее содержание золота составляет 10г/т, при постоянном содержании урана (Сафонов, 2003). Золотоносные конгломераты известны на Северо-Американском (Хурвиц, Саками, Гурон – Канада, Вайоминг – США), Южно-Американском (Якобина, Моседа – Бразилия), Австралийском (Нулагейне), Индийском (Бабабудан) континентах и Балтийском щите. Содержание золота и урана на этих месторождениях значительно ниже, но масштабы огромны. В основном конгломераты имеют кварцевый, пирит-кварцевый, пирит-гематитовый и гематитовый состав.

Золотоносные конгломераты и конглобрекции в Армении нами описываются и выделяются впервые в бассейне р.Мегри – в составе нораревикской терригенно-углесланцевой свиты. Выше (гл. 1.2) при описании золотоносности углесланцевых комплексов мы рассматривали в основном только нораревикский углесланцевый комплекс этой свиты. В данном случае нам придется рассмотреть полный разрез терригенно-углесланцевых и континентальных отложений бассейна р.Мегри, т.к. **горизонт золотоносных базальных конгломератов**, мощностью около 50м, подстилает нораревикский терригенно-углесланцевый комплекс и перекрывает интрузивный комплекс Мегринского плутона. **Конглобрекции**,

мощностью свыше 400м, венчают разрез “мегринской угленосной свиты”.

Учитывая то обстоятельство, что полный разрез терригенно-туфогенно-углесланцевых и континентально-озерных отложений бассейна р.Мегри обнажается в пределах Нор-Аревикского месторождения, эта свита нами названа не мегринской (Габриелян, 1964), а нораревикской.

Полный разрез отложений нораревикской терригенно-углесланцевой свиты приводится по материалам наших исследований с использованием данных Е.Р. Багратуни, В.Г. Грушевого и М.П. Русякова (1932), С.А. Тараяна (1941), С.С. Мкртчяна (1958), А.А. Габриеляна и А.Л. Тахтаджяна (1964), А.А. Габриеляна (1964), К.А. Агамиряна, С.Г. Погосяна и А.Г. Дроботовой (1996).

Разрез терригенно-углесланцевых отложений бассейна р.Мегри приводится снизу вверх:

1. Базальные конгломераты, мощностью 50-70м, в ранее опубликованных работах не упоминаются, в особенности при описании “мегринской угленосной свиты” (Габриелян, 1964). Первое упоминание о наличии горизонта конгломератов под терригенно-углесланцевыми слоями Нор-Аревикского месторождения приводится А.С. Тараяном (1941), однако в последующем при описании геологического разреза месторождения базальные конгломераты не упоминаются. Этими материалами пользовался А.А. Габриелян, и горизонт базальных конгломератов не вошел в состав “мегринской угленосной свиты”. Наиболее полное описание горизонта базальных конгломератов (по керну многочисленных скважин) приводится в отчете Мегринской партии (1993-1996гг.)

Горизонт конгломератов залегает на неровной поверхности гранитоидного массива Мегринского плутона и обнажается на правом берегу р.Мегри, вдоль дороги, ведущей на Нор-Аревикское месторождение (рис. 1.51). На левом берегу горизонт конгломератов не прослеживается. Мощность базальных конгломератов переменная. Размер обломков от 0,2-0,5 до 5-10см. Обломки окатанные, округлые, валунообразные, редко встречаются слабо окатанные, даже остроугольные (рис. 1.52-1.54). Обломки представлены интрузивными и эффузивными породами различного состава. Об-

ломки конгломератов пестроцветные: обелены, зеленые, голубоватые, вишневые, темно-серые. В основании горизонта обломки карбонатизированы, выше хлоритизированы и каолинизированы. Цемент конгломератов преимущественно терригенно-хлоритовый. Он в основном пепловый с примесью глинисто-железисто-марганцевого состава, с характерным вишневым цветом за счет гематита и марганца. В верхней части горизонта базальных конгломератов появляются невыдержанные прослои голубовато-серых туфоконгломератов, туфопесчаников, и туффитов почти черного цвета. Редко встречаются прослои песчано-глинистых пород и черных аргил-



Рис. 1.51. Нор-Аревик. Гидротермально измененные, оруденелые гранитоиды, подстилающие горизонт базальных конгломератов. Пл. 2175, к.28-29.



Рис. 1.52. Нор-Аревик. Золотоносные базальные конгломераты нораревикской свиты. Пл. 2175, к.24-25, 15-16.



Рис. 1.53. Нор Аревик. Грубослоистые золотоносные базальные конгломераты нораревикской свиты. Пл. 2175, к.20-21,23-24.



Рис. 1.54. Нор Аревик. Грубослойные золотоносные базальные конгломераты нораревикской свиты. Пл. 2175, к.24-26.

литов, богатых остатками неопределенной фауны. Общее падение горизонта базальных конгломератов западное, северо-западное, под углами от 10-15° до 30-35°. Небольшой выход горизонта наблюдается в районе отметки 1541,2м (на участке Хавот) Нор-Аревикского месторождения.

2. Терригенно-углесланцевый комплекс. Эти отложения по своей относительно малой мощности и ограниченной распространенности в принципе соответствуют подсите или пачке, однако по сложности геологического разреза и пестроте петрографического состава слагающих терригенных, угленосных, сланцевых, туфогенных, туфообломочных и карбонатных пород, а также по их генетическим и энергетическим особенностям они отнесены к “комплексу”. Поэтому все терригенно-углесланцевые отложения Армении и, в частности, отложения Нор-Аревикского месторождения нами выделяются как комплексы.

Отложения этого комплекса, общей мощностью 50-60м, обнажаются в бассейне р.Мегри и прослеживаются к северу от города Мегри, через с.с.Агарак, Тей, Нор-Аревик и Личк (рис. 1.55-1.56). Комплекс согласно перекрывает верхние слои базальных конгломератов, с общим падением на запад, северо-запад под углами 20-25°. В основном комплекс сложен чередованием маломощных прослоев (0,2-2м) песчаников, мергелей, алевролитов, аргиллитов, туффитов, туфобрекчий и известняков. Обломочный материал превалирует. Комплекс деформирован в мелкие волнистые складки с сетью мелких разрывов.

Разрез терригенно-углесланцевого комплекса нораревикской свиты представлен в следующем виде (снизу вверх):

1. Нижняя часть комплекса представлена грубозернистыми зеленоватыми песчаниками (часто с шаровой отдельностью) и глинами, общей мощностью 18-20м. В песчаниках изредка встречаются мелкие гальки гранитоидов и других пород.

2. Средняя часть комплекса представлена глинами и горючими сланцами, которые к югу фациально замещаются мелко- и среднезернистыми светлыми глинистыми известняками, а к северу они сменяются глинами шоколадного цвета с многочисленными

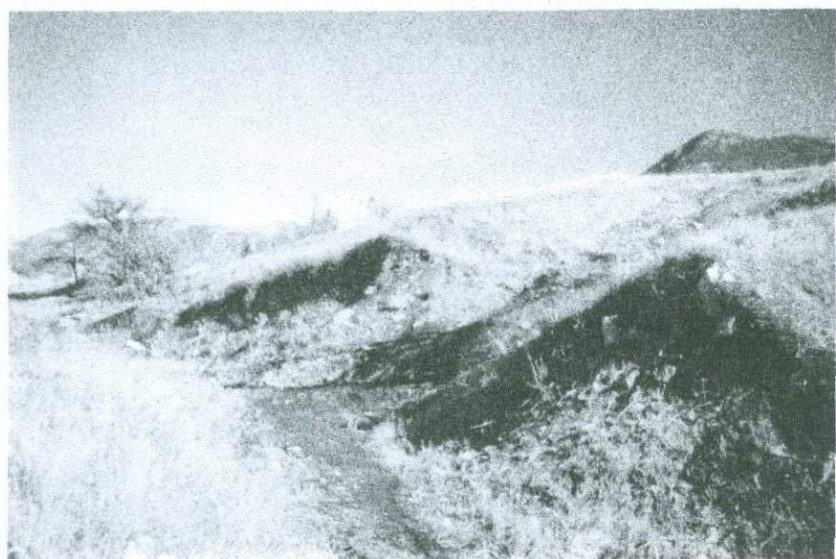
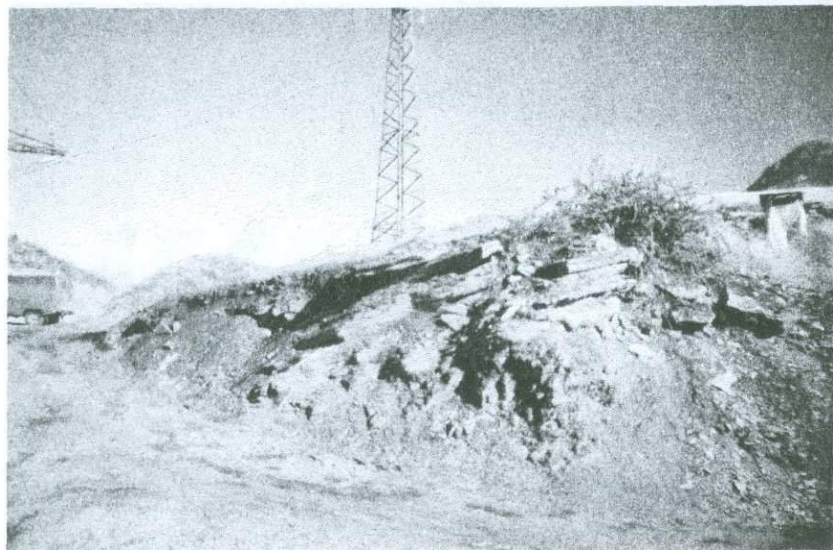


Рис. 1.55. Нор-Аревик. Обнажение терригенно-углесланцевого комплекса в районе отметки 1541,2м участка Хавот.

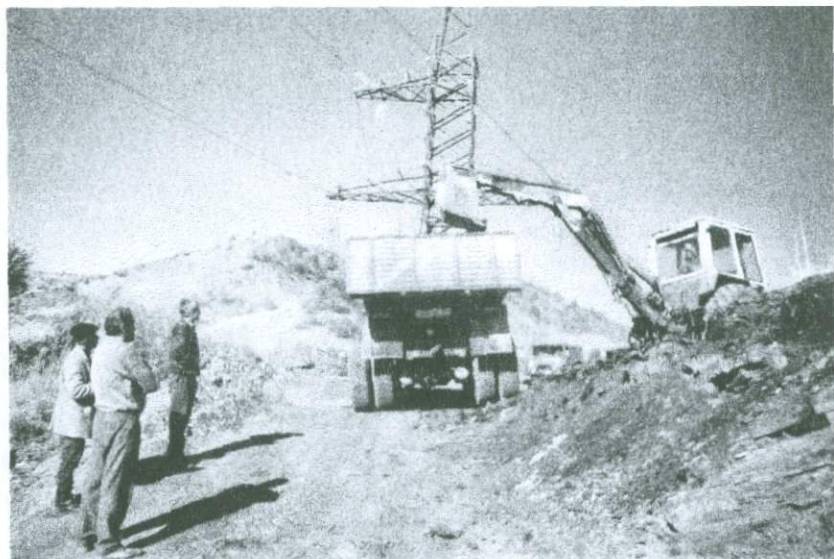


Рис. 1.56. Нор-Аревик. Обнажение терригенно-углесланцевого комплекса. Отбор технологической пробы.

отпечатками листьев и сетью прожилков ярозита. В них часто встречаются прожилки гипса (0,3-1см), а в верхах – прослойки гажеподобной массы и чистого белого гипса. Общая мощность пачки 10-15м.

3. Над сланцами и глинами залегает известково-песчано-глинистая пачка с двумя пластами бурого угля, общей мощностью 25-30м. Первый пласт угля залегает над верхним пластом горючего сланца, сопровождаясь тонкозернистым глинистым **известняком с фауной**. Второй пласт угля отделяется от первого грубозернистыми песчаниками (в южной части), мощностью ~4,5м. В нижней части пласта также залегает горючий сланец, переслаивающийся прослойками голубой глины. **Тонкозернистые глинистые известняки**, сопровождающие первый пласт угля, выдерживаются по всей площади месторождения и служат опорным горизонтом.

Известняки переполнены створками гастропод и их осколками. Г.Г. Цулукидзе в известковистом аргиллите определены: *Planorbis coquandianus*, *Helix* sp., *Valvata helicoides* Forb. и *Chara* Dub. В.В. Богачевым (1934) здесь отмечены многочисленные раковины *Valvata*, реже *Planorbis* и осколки *Anodonta*. А.Л. Тахтаджяном (1956) среди растительных остатков определены *Acer pseudoplatanus* L., *Periploca graeca* L., *Cinnamomum lanceolatum* (Ung.) Herr., *Quercus ilex* L., *Laurocerasus* aff. *Cinalis* Roem., *Celtis* cf. *Geabrata* St. А.А. Габриеляном определены: *Melanopsis* cf., *Valvata* sp., *Melania* sp., *Trochus* sp., *Phasianella* sp. и *Planorbis* sp., близкие к гастроподам из верхнетретичных (плиоценовых) отложений бассейна р.Кура. Из рода *Melanopsis* определены два вида: *M. cf. Nobilis* Sen. и *M. cf. aciminata* Sen., характерные для дуабских слоев киммерийского яруса среднего плиоцена Абхазии. На основании определенной фауны и флоры, А.А. Габриелян эти отложения датирует как нижний плиоцен (мэотис-понт) и сопоставляет с лигнитовой свитой Северного Ирана (район Хой и Маку), залегающей над соленосной толщей и содержащей фауну позвоночных. Г.Г. Цулукидзе и В.В. Богачев относят их к плиоцену.

Основная масса породы глинисто-известковая, в южной части переходящая в известково-глинисто-песчанистую. Они очень тверды и вязки. Цвет известняков светло-серый с голубоватым от-

тенком, чаще коричневатый, шоколадный с примесью гуминового вещества. Часть известняков массивная, а часть тонкослоистая. В них часты (особенно в северной части) мельчайшие линзочки, редко прослойки блестящего черного угля и углистые черные растительные отпечатки. Среди них Г.Г. Цулукидзе определил *Chaga Dub* (Цулукидзе, Архипов, Халатов, 1870).

Обломки туфогенных образований хлоритизированы, каолинизированы, окварцованы, эпидотизированы, карбонатизированы. Цемент пепловый, терригенный и хлоритовый. Часто встречаются прослойки и желваки фосфоритов, часто битуминизированные. В приповерхностной части комплекса прослеживаются прослойки и скопления гипса и мирабилита.

3. Рифтогенные красные конглобрекчии обнажаются вдоль Аревикского грабена и достигают максимальной мощности (400м) в районе Нор-Аревикского месторождения, где образуют скалистые стеноподобные обрывы (рис. 1.57-1.60). В районе Агаракского месторождения мощность красных конглобрекчий составляет 50-70м, а в районе Личквас-Тейского месторождения – 30м. В целом к югу и северу от Нор-Аревикского месторождения конглобрекчии выклиниваются. Следует отметить, что в этих же направлениях выклинивается и терригенно-углесланцевый комплекс, в результате чего в районе Агаракского месторождения конглобрекчии непосредственно залегают на гранитоиды Мегринского плутона (Тараян, 1941; Мкртчян, 1958; Габриелян, 1964).

Рифтогенные красные конглобрекчии состоят из валунов и гальки преимущественно интрузивных пород и в меньшей степени эффузивных и осадочных образований. Большая часть валунов представлена плохоокатанными угловатыми, остроугольными обломками, значительно реже встречаются хорошо окатанные валуны и гальки, гравелиты. Вся эта обломочная масса сцементирована грубым песчано-глинистым и песчано-известковым цементом. Среди конглобрекчий встречаются отдельные невыдержанные прослойки и линзы полимиктового грубозернистого песчаника и гравелита, по которым хорошо наблюдается грубая слоистость (рис. 1.60). В целом конглобрекчии представляют собой субгоризонтально или пологозалегающие отложения, сложенные валун-



Рис. 1.57. Панорама Нор-Аревикского месторождения. Процесс отбора технологической пробы.

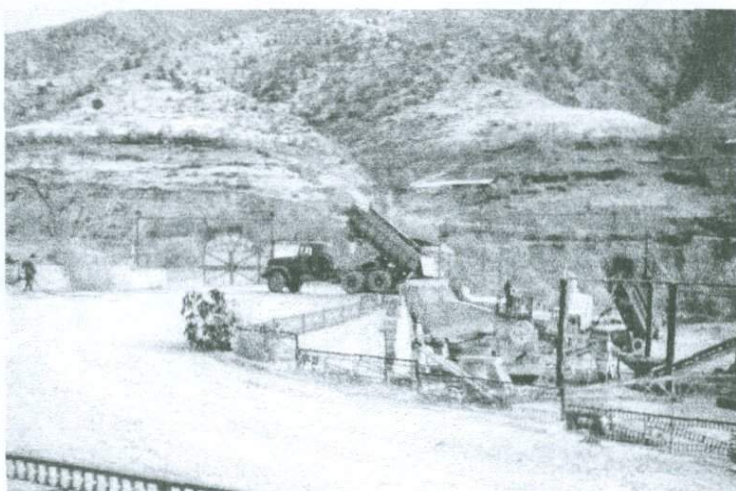


Рис. 1.58. Нор-Аревик. Грубослоистые полимиктовые песчаники и песчано-глинистые прослои в рифтогенных красных конглобрекциях. Пл. 2175, к.7.



Рис. 1.59. Нор-Аревик. Отвесные скальные обнажения (обрывы) рифто-
генных конглобрекций на правом берегу р.Мегри. Пл. 2175, к.4-5.

но-галечниковыми породами с кварцевым, кварц-гематитовым (на юге) и туфо-(пепельно-)-песчанистым и песчано-глинистым (на севере) цементом. Преобладает гематитовый цемент, чем и обусловлен буро-красный и желто-красный цвет конглобрекчий. Красные конглобрекции очень плотные, трудно отбиваются молотком. На этих участках они гидротермально изменены, окварцованы и ожелезнены. Наблюдаются подвижки по небольшим разломам. Местами конглобрекции слабо сцементированы; цементирующим веществом является песчано-глинистый, туфо-песчанистый или пепельно-песчанистый материал. В этих случаях конглобрекции сероватые.

На основании региональных геологических и геоморфологических (в конглобрекции врезаны террасы нижнечетвертичного возраста) соображений и стратиграфических сопоставлений с покровными галечниками Гориса и Сисиана А.А. Габриелян конглобрекции нораревикской свиты датирует как верхний плиоцен и стратифицирует их с фаунистически охарактеризованными отложениями апшерона юго-восточного погружения Антикавказ (Габриелян, 1964).

На размытой поверхности рифтогенных конглобрекчий горизонтально залегают флювиогляциальные отложения, мощностью 20-40м, возраст которых пока точно не установлен. Однако исследованиями Ю.В. Саядяна на основании нового биостратиграфического и климатостратиграфического материала установлено, что в Армении зафиксированы следы двух горных оледенений – средне- и верхненеоплейстоценовых (Саядян, 2009). По-видимому, к этому возрасту следует условно относить флювиогляциальные отложения Аревикского рифта. Д.А. Преториус допускает, что при окислительных условиях (доступе кислорода и метеорных вод), урановые минералы не сохраняются в химически устойчивой форме, а обломочные сульфиды уступают место окислам железа, т.е. происходит формирование красноцветных отложений. В ряде случаев могло иметь место оледенение, а связанный с ним холодный климат, по всей видимости, способствовал сохранению уранинита и пирита. Возможно это имело место и в случае с серыми конглобрекциями нораревикской свиты. Можно предположить, что красные конгло-



Рис. 1.60. Личквас-Тей. Триангуляционная точка 1610,76м. Пестроцветный состав крупно-среднеобломочных рифтогенных красных конглобрекчий. Пл. 2174, к.0-1, 31-33.

брекчии могут быть перспективными на золото, а серые – на уран и золото. По А.А. Габриеляну (1964), “В разных местах Мегринского района **породы угленосной свиты прорываются дайками и небольшими экстрезивными телами андезитового и андезиодацитового состава**” (выделено нами). В данном случае имеется в виду вся “мегринская свита”, т.е. терригенно-угленосные отложения и конглобрекчии. К сожалению, конкретной привязки эти данные не имеют, а наши поиски пока не дают положительных результатов. Обнаружение таких рвущих тел способствовало бы конкретизации представления об источнике золота как в терригенно-углесланцевом комплексе, так и в базальных конгломератах и рифтогенных красных конглобрекчиях.

О золотоносности (металлоносности) нораревикской терригенно-углесланцевой свиты.

Таким образом, разрез нораревикской терригенно-углесланцевой свиты, общей мощностью около 550м, можно представить в следующем виде (снизу вверх):

1. Горизонт базальных конгломератов, мощностью 50-70м, залегает на сильно измененные гранитоиды Мегринского плутона.
2. Терригенно-туфогенно-углесланцевый комплекс, мощностью 50-60м.
3. Средне-крупнообломочные рифтогенные красные конглобрекчии с прослойками полимиктовых грубозернистых песчаников, песчано-глинистых пород и гравелитов, мощностью 400м.

Нораревикская свита перекрывается горизонтально залегающими средне-верхнеоплейстоценовыми флювиогляциальными отложениями, мощностью 20-40м.

В главе 1.2 подробно рассмотрен вопрос о золотоносности терригенно-углесланцевых комплексов Армении, в том числе терригенно-углесланцевого комплекса Нор-Аревикского месторождения. В разделе “Радиоактивное сырье” рассматриваются перспективы этих комплексов на оруденение урана и тория. Иными словами, имеющиеся фактический геологический и технологический материал свидетельствует о золото-ураноносности терригенно-углесланцевых комплексов, в частности, нораревикской свиты.

По золотоносности (металлоносности) подстилающих гранитоидов Мегринского плутона, базальных конгломератов и рифтогенных красных конглобрекций имеются следующие данные.

1. В подстилающих гранитоидах Мегринского плутона рудная минерализация убогая и представлена гематитом, магнетитом, пиритом, халькопиритом, гидроксидами железа и марганца, самородным золотом и серебром (рис. 1.61-1.66). Специальными металлургическими опытами получены сплавы благородных металлов, где в среднем содержание золота по геологическому профилю вдоль дороги, ведущей на месторождение Нор-Аревик, по 10-и штуфным пробам составило 1,6 -2,9г/т, а серебра – 8,3-9,6г/т.

2.Metalлоносность базальных конгломератов изучалась на малообъемных технологических пробах (весом 5-10кг), подвергнутых минералого-петрографическому изучению, а в последующем и металлургической переработке с определением содержаний благородных металлов. По данным пробирного анализа ЦАЛ ГМИ, среднее содержание золота варьирует в пределах 0,6-1г/т, а серебра 1-4г/т.

3. Из рифтогенных красных конглобрекций отобраны две большеобъемные пробы: 1 – из конглобрекций с черным (углефицированным, битуминозным) цементом и 2 – из конглобрекций с красным (гематитовым) цементом. Пробы отбирались со стенок глубоких (3-4м) шурфов, пройденных с целью установления новых опорных вышек линии высоковольтной электропередачи.

Проба 1 (ЛТ-КБ-Ч-1) – пропитана гидроксидами железа, но на этом фоне наблюдается почти черного цвета (углефицированная) цементирующая масса. Микроскопическое исследование аншлифов показало, что часто наблюдаются зерна самородного золота округленной и “звездчатой” формы, размерами 3-7, редко 14 и еще реже в 25 мкр. В некоторых зернах наблюдаются червеобразные, ветвистые маломощные прожилки и палочковидные выделения самородной **платины**, размерами 7x25мкр. Иногда зерна платины комковатые, ксеноморфной формы, размерами 14-40 и редко 70мкр. Цвет платины чисто белый, отражательная способность очень высокая. Эффекты анизотропии не наблюдаются.

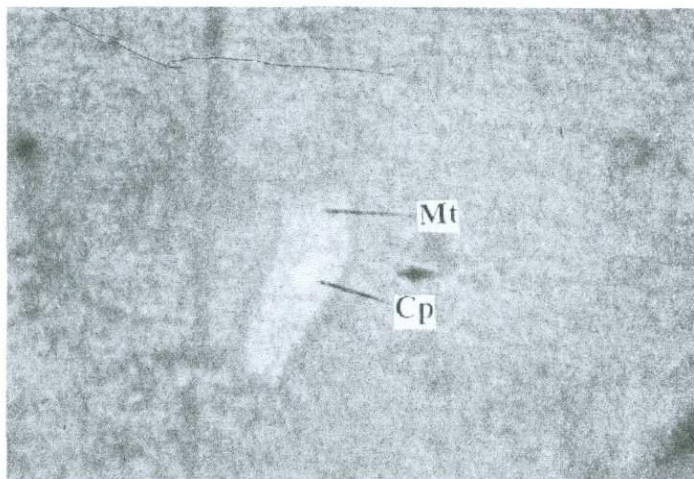


Рис. 1.61. Нор-Аревик. Измененный гранодиорит. Зерно халькопирита в магнетите. Аншлиф, ув. $\times 200$. Пл. 3463, к.13.

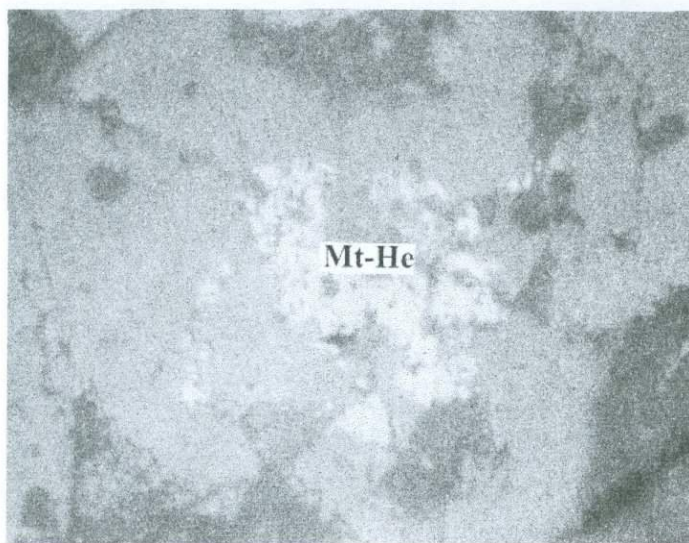


Рис. 1.62. Нор-Аревик. Измененный гранодиорит. Магнетит-гематитовый агрегат в кварце. Аншлиф, ув. $\times 250$. Пл. 3463, к.15.

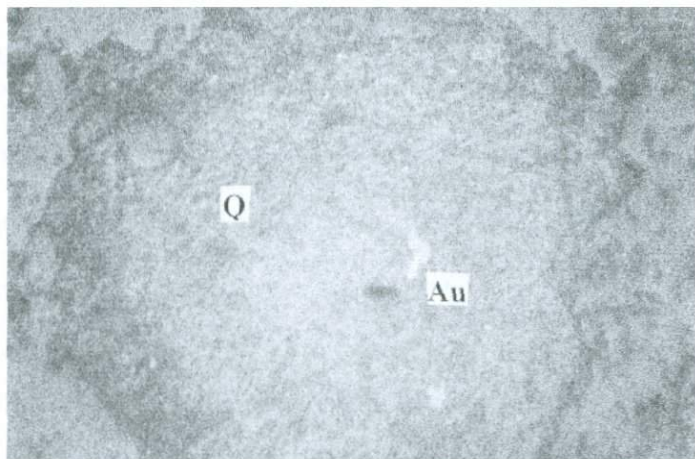


Рис. 1.63. Нор-Аревик. Измененный гранодиорит. Включение самородного золота в кварце. Аншлиф, ув. $\times 125$. Пл. 3463, к.8.

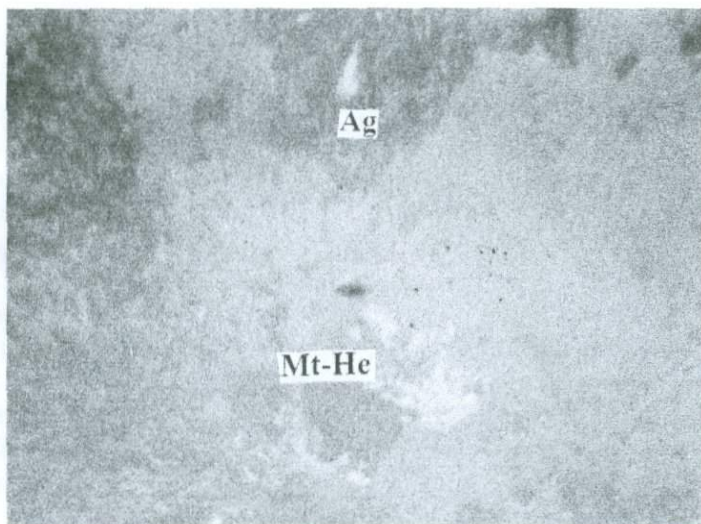


Рис. 1.64. Нор-Аревик. Измененный гранодиорит. Включение самородного серебра в породе. В центре магнетит-гематитовый агрегат. Аншлиф, ув. $\times 80$. Пл. 3463, к7.

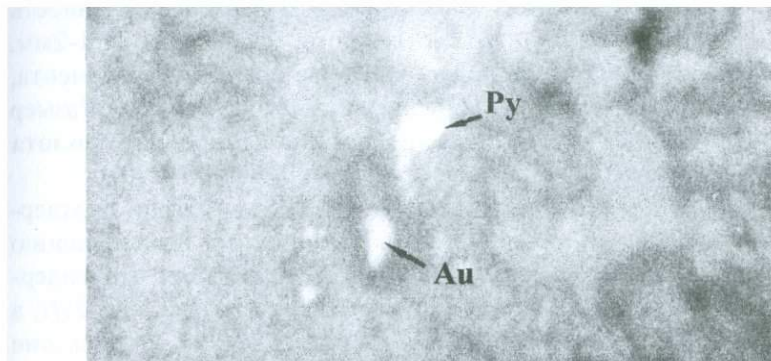


Рис. 1.65. Нор-Аревик. Измененный гранодиорит. Включения самородного золота и пирита в агрегате кварца. Аншлиф, ув. $\times 270$. Пл. 0976, к36.



Рис. 1.66. Нор-Аревик. Измененный гранодиорит. Цепочковидное скопление пирита (светлое). Аншлиф, ув. $\times 80$. Пл. 3463, к. 10.

Самородное **серебро** встречается в виде единичных зерен, размерами от 3-5 до 8 мкр (рис. 1.67-1.68).

Проба 2 (ЛТ-КБ-Кр-2) – отобрана из красного гематитового цемента. Под микроскопом наблюдается мелкая вкрапленность гематита, пирита, халькопирита и лимонита, размерами до 1-2мм. Самородная **платина** установлена как в основной массе цемента, так и среди мелких обломков нерудных минералов (кварца). Размер зерен платины достигает 28 мкр. Выделения самородного **золота** имеют удлинённые формы, размерами до 10 мкр (1.69-1.70).

Результаты минералогических исследований были подтверждены специальными металлургическими опытами по получению корольков благородных металлов. Анализы показали, что содержание золота в черном (черноватом) цементе составляет 1,5-2г/т, а Ag – до 10г/т; в красном цементе конглобрекчий содержание золота составляет 0,7-1г/т, а Ag – 1-1,8г/т. При этом были специально получены сплавы благородных металлов (Au+Ag+МПГ), соответствующие содержаниям 17г/т по черной пробе и 14,3г по красной пробе.

Проведенные опыты подтвердили платино-золотоносность рифтовых конглобрекчий нораревикской свиты и еще раз свидетельствуют о целесообразности проведения детальных поисково-оценочных и разведочных работ с целью оценки их промышленной ценности.

По данным минералогических исследований, рифтовые красные конглобрекчий нораревикской свиты имеют существенно гематитовый состав. В этом плане они сопоставимы с золотоносными конгломератами рудного поля Тырква (Западная Африка), характеризующегося Au-U-S(Fe) оруденением, с достоверными запасами в количестве 250т золота.

Имеющийся минералого-геохимический материал и данные о гидротермальном изменении и дислоцированности нораревикской свиты допускают, что конглобрекчий (как и базальные конгломераты) пропитаны эпитермальным привнесом агрессивного потока газовых и парагазовых флюидов, несущих благородные металлы, по аналогии с ведущими геотипами, а также указывают на вероятно мантийно-нижнекоровую природу источника золота.

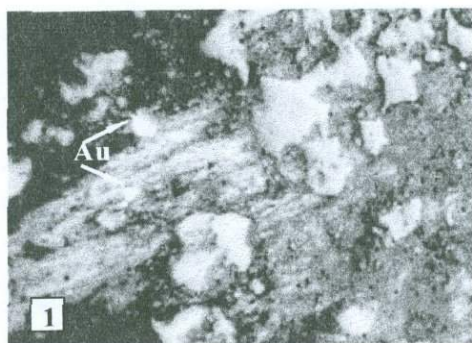


Рис. 1.67. Выделения самородного золота в черном цементе красных конглобрекций нораревикской свиты. Пр. ЛТ-Кр-Ч-1, сварной аншлиф, ув. x400.

1- вкрапления самородного золота, 2 - прожилки самородного золота в трещине; 3 - точечные вкрапления золота в нерудном агрегате.

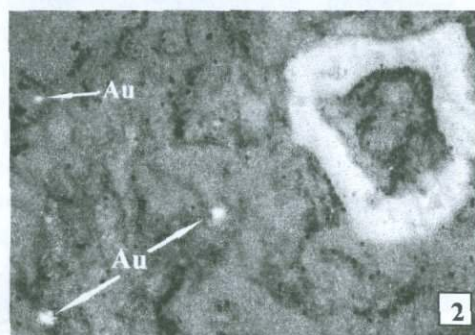


Рис. 1.68. Благородные металлы в цементе красных конглобрекций норавикской свиты. Сварной аншлиф. Ув. х250.

Пр. ЛТ-КБ-Ч-1: 1 - золото-серебряное выделение в массе “черного” цемента; 2 - вкрапленники самородного золота и кольцообразное выделение гидроксидов железа.

Пр. ЛТ-КБ-Кр-2: 3 - вкрапленники золота “в красном” цементе конглобрекций.

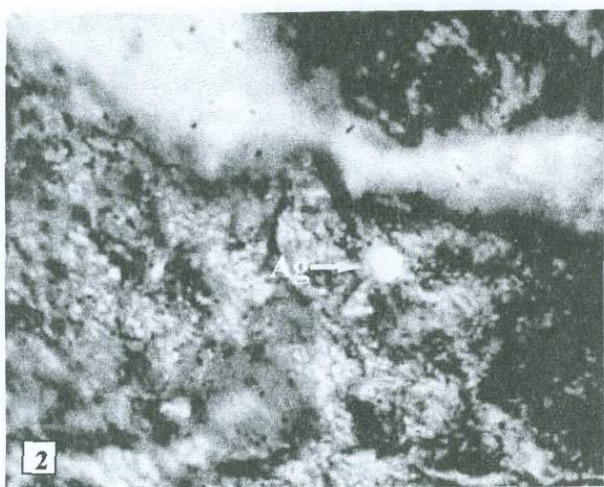
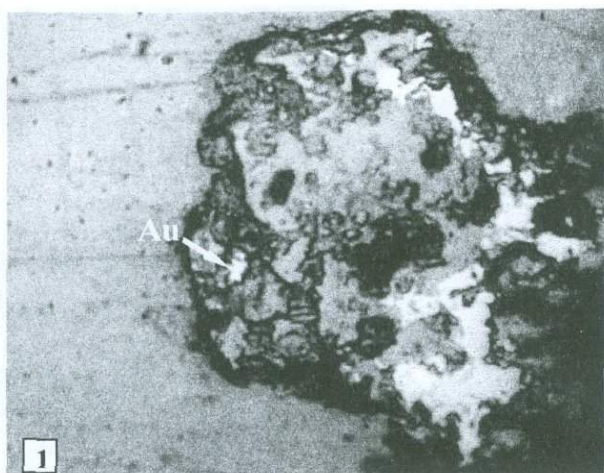


Рис. 1.69. Выделения самородного золота и серебра в углефицированном (черном) цементе красных конглобрекций нораревикской свиты. Пр. ЛГ-КБ-Ч-1, сварной аншлиф, ув. x250.

- 1 - "звездочка" самородного золота и ксеноморфное выделение гематита;
- 2 - зерно самородного серебра в цементе конглобрекций.

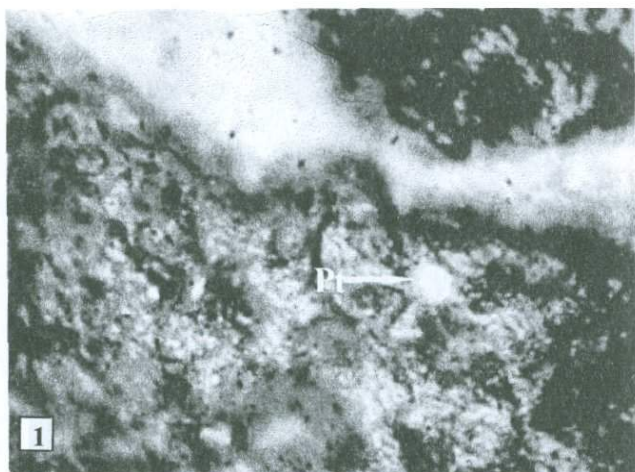


Рис. 1.70. Вкрапленники самородной платины в цементе красных конглобрекций норраревикской свиты. Сварной аншлиф, ув. x250

1 – проба ЛТ-КБ-Кр-2, гематитовый цемент; 2 – проба ЛТ-КБ-Ч-1, углефицированный цемент.

Важную роль в этом процессе имели глубинные разломы, ограничивающие Аревикский рифт (грабен).

Аналогом Нор-Аревикского месторождения может служить Балейское месторождение (Забайкалье, РФ), где Балейский грабен выполнен типичными валунно-галечными золотоносными конгломератами с прослоями полимиктовых песчаников и гравелитов. Оруденение здесь штокверковое и жильное золото-адулярового типа в юрско-меловой провинции. Месторождение формировалось в меловое время, а вулканическая деятельность проявилась в юре. Характерно, что эпитермальное золоторудное минерализация проявилась до завершения осадочного цикла (Сафонов, 2003). Мощность конглобрекций Балейского грабена составляет 300м. Они залегают на гранитоидах (юры) и местами на андезитах. Размер обломков варьирует в широких пределах – от десятков см до первых мм. Рудообразование Балейского грабена связано с корово-мантийными системами при ведущей роли рудоносных парагазовых потоков, достигающих поверхности по разломам. Запасы Балей оцениваются в 350т золота. А.Д. Щеглов обратил особое внимание на характерную однотипность начальных стадий формирования золотоносных супергигантов, в особенности золотоносных рифтогенных структур Витватерсранда с Балейским месторождением (Щеглов, 1997).

Таким образом, весь вышеизложенный новый фактический материал и результаты специальных металлургических опытов, с учетом литературных и фондовых материалов, дают нам основание рассматривать весь разрез нораревикской свиты (в составе базальных конгломератов, терригенно-углесланцевого комплекса и рифтогенных конглобрекций) как золотосодержащий вместе с подстилающими ее гранитоидами Мегринского плутона. По нашему мнению, с учетом материалов по золото-платиноносности (р.1, гл.1.2.3), редкометалльности (р.2, гл.2) и радиоактивности терригенно-углесланцевых комплексов Армении (гл. 5.2), становится очевидным, что образования нораревикской свиты перспективны на золото-урановое оруденение с огромным прогнозным потенциалом сверхкрупного золотосодержащего месторождения типа Au-U-S(Fe).

В базальных конгломератах уран обычно более распространен, чем золото. Источником золота и пирита является также более ранняя рудная минерализация. Для урана источником могла служить также палеопочва, которая образовывалась по реголиту, развитому на молодых, богатых калием и кремнием гранитоидах Мегринского плутона.

Золото-урановые конгломераты третичного возраста известны во многих странах: *эоценовые* – Клондайк, Юкон (Канада), Уинд-Ривер (Вайоминг, США); *миоценовые* – Северный Памир (РФ), Северный Куньлунь (КНР); *палеоценовые* – Пиньон (Вайоминг, США), а также нерасчлененные – в Новой Зеландии (Южный остров) и Японии.

Интересные данные по времени образования золотоносных и ураноносных конгломератов приводит Д.А. Преториус. В архее развитие золото-ураноносных конгломератов с пиритом очень ограничено. В нижнем протерозое они широко распространены; в отложениях возрастом 2200-2500 Ма концентрации урана явно преобладают над концентрациями золота, но в более древних слоях (2500-3100 Ма) концентрации золота возрастают. В среднем протерозое, в период 1600-2200 Ма, золотоносные конгломераты имеют очень ограниченное развитие, а урановая минерализация неизвестна. Здесь преобладают рудные минералы – обломочные окислы железа, а не сульфиды. Обломочный уранинит исчезает из конгломератов с наступлением периода широкого развития железистых кварцитов. В верхнем протерозое (700-1600 Ма) отсутствуют концентрации золота и урана. В фанерозое развита главным образом золотая минерализация с немногочисленными предполагаемыми концентрациями урана. Таким образом, период между 2200-3100 Ма является оптимальным для образования золотоносных и ураноносных конгломератов и ассоциирующих с ними минерализованных грубообломочных осадков (Преториус, 1984).

Следует отметить, что при этом сторонники изложенной модели исходили из следующих соображений. Древнейшие урановые месторождения образовались в уникальной бескислородной обстановке как россыпные залежи в конгломератах. С появлением кислорода в атмосфере (2200 Ма) генезис высоко- и низкотем-

пературных месторождений урана был обусловлен двумя главными геохимическими процессами: **гипергенезом** – окислением урана до шестивалентного, растворением, переносом водными растворами в виде уранил-карбонатных комплексов и восстановлением четырехвалентного урана углеродом и ионами S^{2-} или Fe^{2+} с осаждением в виде уранинита (урановой смолки) или коффинита; а также **магматической и метаморфической дифференциацией**, приводящей к извлечению (выщелачиванию) урана из кристаллической структуры породообразующих минералов (Нэш, Грейнджер, Адамс, 1984).

Признание эксгальционно-осадочной природы золотоносных конгломератов Витватерсранда влечет за собой, по мнению Ю.Г. Сафонова, существенные изменения в представлениях по металлогении золота. Золотоносные газовые, парогазовые флюидальные потоки, поступившие в приповерхностную зону земной коры и на ее поверхность, в водные бассейны, рассматриваются как основные факторы образования золоторудных месторождений, т.к. с такими потоками, вероятно, связаны практически основные геотипы золоторудного оруденения (Сафонов, 2003).

Наши исследования на комплексных, собственно золоторудных и эпитермальных месторождениях золота свидетельствуют, что важную роль в процессе формирования эпитермальных месторождений играют процессы гипергенеза, и поэтому эпитермальные месторождения нами классифицируются как эпитермально-инфильтрационные, о чем явно свидетельствует парагенетическая связь золота, урана и других попутных компонентов со вторичными минералами в пределах зоны вторичного сульфидного обогащения. С учетом вышеизложенного можно предположить, что красные конглобрекции (Агарак–Личкваз-Тейский участок) могут представлять интерес на золотое оруденение, а серые конглобрекции (Нор-Аревикский участок) – на золото-урановое оруденение. При этом концентрация металлов может быть сингенетической и эпигенетической (наложенной) в различных проявлениях, в том числе эпитермально-инфильтрационной. Эта проблема нуждается в детальном рассмотрении, т.к. все исследователи единодушно от-

мечают интенсивную дислоцированность и гидротермально-гипергенное изменение отложений нораревикской свиты.

Краткая история стратификации нораревикской свиты. Нор-Аревикское месторождение углесланцев до 1941г. известно как Мюльское, Гульское (старое название с.Нор-Аревик) и Мегринское.

Первое упоминание об углесланцевых отложениях приводится в работах Г.Г. Цулукидзе, Г.Б. Халатова, В.И. Архипова (1869). В дальнейшем эти отложения упоминались В. Меллером (1900) и изучались В.А. Шкроба (1932). Сопоставление разреза углесланцевых отложений района г.Мегри на берегу р.Аракс с однотипными отложениями северного склона г. Эльбурс приводится в серии статей Вохне (1932). В том же 1932г. В.Г. Багратуни, В.Г. Грушевой и М.П. Русаков в г. Тбилиси опубликовали книжку "Агаракское медно-молибденовое месторождение", в которой впервые стратифицируется *мощная (до 50м) терригенная толща красных брекчий*. В 1934г. Нор-Аревикское месторождение было осмотрено В.В. Богачевым, давшим отрицательное заключение о его промышленном значении.

Отметим, что относительно полными являются исследования В.А. Шкроба, который *песчано-сланцевую толщу*, мощностью в 70м, рекомендует под разведку.

В 1941г. под руководством С.А. Тараяна начинаются целенаправленные исследования Управления геологии с целью установления пригодности бурых углей и горючих сланцев Нор-Аревикского месторождения в качестве топливного сырья. С.А. Тараян впервые выделяет *угленосную толщу*, мощностью 17-25-45м, с пачками сланцев и углей, на которые трансгрессивно залегают *толща конгломератов-брекчий*. На размытой поверхности последних залегают *валунные глины моренного образования*, мощностью 20-30м. Фактически это первая стратиграфическая схема района Нор-Аревикского месторождения, которая в дальнейшем легла в основу многих исследований. Отложения Нор-Аревикского месторождения С.А. Тараян датирует как ниже-средний плиоцен.

В конце 1941г. Нор-Аревикское месторождение бурого угля и горючих сланцев было осмотрено К.Н. Паффенгольцем, который выделяет *единую мощную (400м) толщу своеобразных делювиальных брекчий*, которой подчинено "угольное" месторождение. По К.Н. Паффенгольцу, толща темных, плотно сцементированных брекчий несогласно перекрывается *толщей валунных глин желтого цвета*, представляющих ледниковые отложения. Углесланцевые отложения представлены перемежающейся *толщей* (до 50-60м), согласно залегающей в *"основании дислоцированной толщи брекчий"*.

Отложения Нор-Аревика К.Н. Паффенгольц датирует как верхнетретичные–нижнечетвертичные (Паффенгольц, 1941).

Управление геологии еще дважды возвращалось к разведке Нор-Аревикского месторождения с интервалом в 20 лет: в 1976г. (Оганесян С.А., Тунян Г.А.) и в 1996г. (Погосян С.Г., Дроботова А.Г.). Оганесян С.Г. и Тунян Г.А. выделяют единую “грубообломочную угленосную Нор-Аревикскую толщу” плиоценового возраста, не вдаваясь в подробности стратиграфо-петрографического расчленения. Погосян С.Г. и Дроботова А.Г. единую *Аревикскую толщу подразделяют на три толщи (?)*: 1 – *подстилающая толща* – туфоконгломераты, туфобрекчии, туффиты голубовато-серого цвета с пепловым цементом и примесью донных илов, мощностью от 7 до 40м; 2 – *продуктивная толща* – коричневатато-черноватые плотные, массивные аргиллиты и алевролиты с прослоями темно-коричневых мергелей, черных туфов и туффитов с пачками бурых углей и горючих сланцев, мощностью до 40м; 3 – *перекрывающая толща* – прослой глин (12-80м), песчано-глинистые породы (до 15м) и верхняя конгломератовая толща (300м). Отметим, что не всегда термин “толща” используется по назначению.

А.А. Габриелян (1964) в разрезе миоплиоцена (мэотис-понт) в районе с.Нор-Аревик выделяет “*мегринскую угленосную свиту*” в составе (с. 92): 1 – глинисто-известково-песчаных пород с бурым углем и горючими сланцами, мощностью 25м; 2 – грубозернистых песчаников, мощностью 5-40м; 3 – трансгрессивно залегающих конгломерато-брекчий, мощностью до 400м. Выше залегают моренные образования, мощностью 20-40м. Там же (с. 99), в разрезе верхнего плиоцена А.А. Габриелян выделяет “*конгломерато-брекчиевидную толщу Нор-Аревика и Агарака*”, которая в районе Агарака лежит на эродированной поверхности интрузивных пород Мегринского плутона и “синхронизируется” с континентальными образованиями района с.Нор-Аревик, где, по А.А. Габриеляну, “*над отложениями мегринской угленосной свиты залегают довольно мощная (до 70-80м) толща слабо сцементированных грубообломочных конгломератов и брекчий*”.

Следовательно, в одном случае конглобрекчии, мощностью 400м, рассматриваются в составе “*мегринской угленосной свиты*”, а в другом случае те же конглобрекчии, уже мощностью 70-80м, залегают на мегринскую угленосную свиту. Как видим, разрезы не коррелируются.

Глава 2. ПЛАТИНОИДЫ И РАДИОГЕННЫЙ ОСМИЙ

2.1 Основные физические свойства МПГ

Металлы платиновой группы – уникальные металлы, имеющие стабильно высокие цены на мировом рынке, не подверженные экономическим кризисам. Они входят в группу благородных металлов.

Платиновые металлы по величине атомной массы и плотности образуют две триады: легкие (рутений-родий-палладий) и тяжелые (осмий-иридий-платина). В рамках каждой из отмеченных триад намечается постепенное изменение основных физических свойств. Os, Ir и Pt обладают наибольшей плотностью, а Pd – наименьшей. Атомные объемы первых трех металлов минимальные по сравнению с остальными. Для большинства МПГ характерна граноцентрированная кубическая решетка и только для рутения и осмия – гексагональная (табл. 1.20). Металлы платиновой группы – типичные сидерофилы со слабо проявленными халькофильными свойствами (палладий). Для них отмечаются высокие значения потенциала ионизации, с чем связана их способность легко восстанавливаться до металла и инертность к большинству реагентов. Наиболее устойчивы сернистые, теллуристые, сурьмянистые и мышьяковые соединения. Высока склонность к образованию сплавов и комплексообразованию. В непосредственной близости к МПГ располагаются серебро и золото с одной стороны, а также технеций и рений – с другой (Кочнев-Первухов и др., 1998). МПГ отличаются большой устойчивостью к химическим и термическим воздействиям, высокой плотностью. Pt и Pd наиболее химически активные из платиновых металлов. Os отличается от других особенно легким взаимодействием с кислородом и инертностью относительно водорода; далее в ряду снижения оксифильности следуют Ru, Ir и Pd. Максимально устойчива к кислороду Pt, к сере – Ru, к хлору – Ir, к фтору – Rh. Наиболее высокая способность к абсорбции газов, особенно водорода и кислорода, проявляется в тонкодисперсном и коллоидном состоянии. Один объем Pd при комнатной температуре

Основные физические свойства МПГ.

N/n n/n	Свойства	Легкие			Тяжелые		
		Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
1	Атомный номер	44	45	46	76	77	78
2	Атомный вес	101,1	102,91	106,4	190,2	192,2	195,09
3	Плотность при 20°C, г/см ³	12,45	12,41	12,02	22,61	22,65	21,46
4	Температура плавления, °C	2310	1960	1552	3050	2443	1769
5	Температура кипения, °C	4900	4500	3980	5500	5300	4590
6	Кларк в земной коре, мг/т	1,1-8	5,1-7	1,1-6	2,1-8	1,1-7	1,1-6
7	Структурный тип кристаллической решетки	Магния (гексагональная решетка)	Меди (кубическая граноцентрированная решетка)	меди	магния	меди	меди
8	Твердость по Бринеллю, МПа	2157,16	1363,12	480	3500	1640	460,91
9	Магнитность	парамагнитная	парамагнитная	парамагнитная	н.св.	н.св.	парамагнитная
10	Ковкость, хрупкость	хрупкий	хрупкий	ковкий	хрупкий	хрупкий	ковкий
11	Цвет	матово-серый или серебристо-белый	серовато-белый	серовато-белый	синевато-серый или серебристо-голубоватый	серебристо-белый	серовато-белый, блестящий

может поглотить до 900 объемов водорода. Поэтому он и наилучший поглотитель углеводородных газов и наилучший катализатор.

Платиноиды по строению атомов, как и другие сидерофильные элементы, обладают 8-10 электронными оболочками. Устойчивая конфигурация с 8 электронами на внешних орбитах наблюдается только у рутения и осмия. Этим объясняется их способность выделяться в самородном состоянии, а в случае окисления приобретать 8-валентное состояние. Этим они отличаются от остальных МПГ, которые по строению электронных оболочек располагаются в указанном выше ряду от тяжелых к легким.

Одновременно имеет место уменьшение кислотных свойств рутения и осмия, чего не бывает у палладия и платины. Окислительно-восстановительные свойства практически не проявляются у осмия и иридия, и они не участвуют в химических реакциях (Бойцов, Пилипенко, Солодов, 1999).

2.2. Минералогия, технология и состояние минерально-сырьевых ресурсов

Минералогия платиноидов весьма богата. Благодаря применению для диагностики микрозондового анализатора количество новых минералов МПГ резко возросло и продолжает увеличиваться. К настоящему времени насчитывается более 100 самостоятельных минералов. Выделяются самородные формы, сплавы, интерметаллические соединения, арсениды, антимониды, висмутиды, сульфоантимониды и сульфоарсениды, простые сульфиды, селениды и теллуриды. Однако основными из них являются 10-15 минералов: ферроплатина и изоферроплатина – $PtFe-Pt_3Fe$, сперрилит – $PtAs_2$, брэггит – $(Pt,Pd)S$, мончеит – $Pt(Te,Bi)_2$, высоцкит – $(Pd,Ni)S$, арсенопалладит – $Pd_5(As,Sb)_2$, куперит – PtS , лаурит – $(Ru,Ir,Os)S_2$, стибиопалладинит – Pd_5Sb_3 , котульскит – $Pd(Te,Bi)$ и др.

Сырьем для получения платиноидов являются убоговкрапленные сульфидные (сульфидов не более 1,5%) руды с алюмосиликатной или хромит-алюмосиликатной матрицей (руды собственных платинометалльных месторождений), сульфидные (сульфидов от

10 до 99%) руды медно-никелевых месторождений, медно-сульфидные концентраты медно-железо-ванадиевых месторождений, пески благороднометаллических россыпей и платинометаллический лом.

Типичным представителем убоговкрапленных сульфидных руд с алюмосиликатной матрицей являются руды рифа Меренского (Бушвельд). Платиноиды представлены самородными формами, сплавами (ферроплатина), сульфидами (брэггит, куперит, лаурит) и арсенидами (сперрилит); ассоциируют с пентландитом, халькопиритом и пирротинном. Основным вариантом технологической схемы получения платиноидов является система производства компании "Растенбург платинум майнз" (ЮАР). Среднее содержание МПГ в рудах составляет 7,92 г/т, в т.ч. Pt – 4,82; Pd – 2,04; Rh – 0,24; Ir – 0,08; Os – 0,28% и Cu – 0,17%. Обогащение руд осуществляется комбинированным гравитационно-флотационным методом. В процессе гравитации извлекается основная часть самородной платины и ферроплатины, а при флотации – сульфидные минералы, с получением платино-медно-никелевого концентрата. Концентраты подвергаются плавке (рис. 1.71). Эта технологическая схема используется также компанией "Импала платинум" (ЮАР, руды рифа Меренского).

Типичным представителем убоговкрапленных сульфидных руд с хромит-алюмосиликатной матрицей являются руды горизонта УГ-2 Бушвельдского комплекса. Руды перерабатываются по гравитационно-флотационной схеме.

При переработке сульфидных платиносодержащих руд МПГ накапливаются в хвостах и шламах основного производства на разных стадиях технологической цепочки. Типичным представителем этой группы являются месторождения Садбери (Канада) и Норильск (Россия). Технологические схемы, используемые в России и за рубежом, несколько различаются. Руды месторождения Садбери в основном представлены сульфидами – пентландитом, халькопиритом и пирротинном. Платиноиды представлены сперрилитом и сульфидами платины и палладия. Среднее содержание МПГ составляет 0,8 г/т при вариациях от 0,1 до 1,5 г/т. Руда подвергается дроблению и измельчению с последующей флотацией и магнитной сепарацией. Товарными продуктами являются никеле-

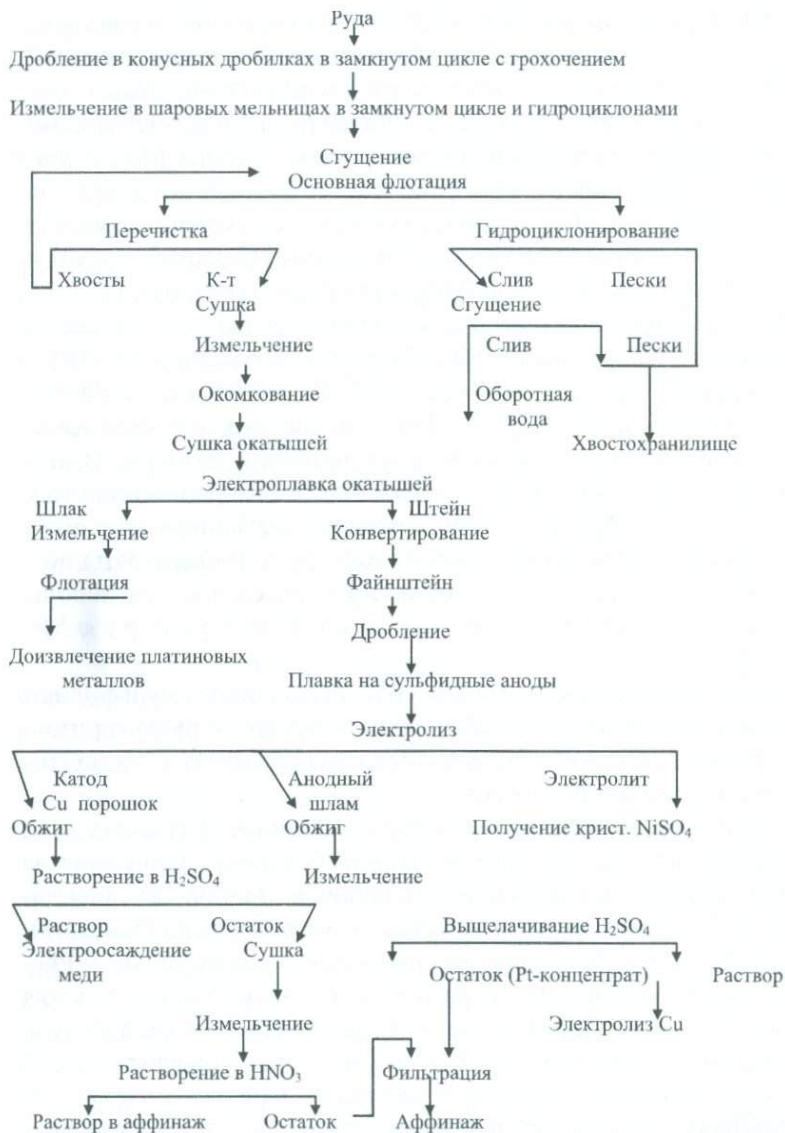


Рис. 1.71. Принципиальная схема переработки малосульфидной платино-металлической руды. Компания «Растенбург платинум майнз», ЮАР (Кочнев-Первухов и др., 1998г.).

вый концентрат с платиноидами, медный с золотом и серебром и пирротиновый концентрат, практически без благородных металлов. После обжига и плавки и дальнейшей магнитной сепарации никелевого концентрата получают магнитную фракцию, концентрирующую основную часть платиноидов. Далее следует селективная металлургия концентратов и их аффинаж.

Россыпные месторождения платиноидов перерабатываются гравитационным обогащением. Типичными месторождениями платинометалльных россыпей являются Кондерское (Россия) и россыпи Сейнавского узла (Корьякия, Россия).

Добыча платиноидов ведется более чем 20 странами. Основными странами-производителями горнорудной продукции являются ЮАР, Россия, Канада, США, Колумбия, Австралия, Финляндия и Зимбабве (табл. 1.21).

Таблица 1.21

Минерально-сырьевая база МПГ в мире

Страна	Подтвержденные запасы МПГ, т	Подтвержденные запасы Pt, т	Содержание г/т	
			МПГ	Pt
ЮАР	49920	23950	5,7	3,2
Россия	6000 ^{*)}	2000 ^{*)}	нет свед.	нет свед.
Канада	520	200	6,2	2,6
США	310	110	18	3,9
Зимбабве	411	229	4,7	2,7
Финляндия	300	83	1,2	0,3
Китай	200	120	-	-
Гренландия	78	34	-	-
Колумбия	30	28	-	-
Австралия	25	4	-	-
Бразилия	17	7	-	-
Югославия	5	1	-	-
Эфиопия	2	2	-	-
Пакистан	2	2	-	-
Итого	57820	26770		

^{*)}По данным ИАЦ "Минеральные ресурсы мира".

Из таблицы видно, что доля подтвержденных запасов МПГ ЮАР в мировых запасах составляет 86%, а по запасам платины – 89%. Крупнейшие месторождения ЮАР связаны с расслоенными основными, ультраосновными интрузивными породами Бушвельдского массива. Россия занимает второе место в мире по запасам и добыче МПГ. Добыча МПГ в России составляет 26%, а платины – 16% от мировой добычи. Добычные работы в России ведутся на 5 рудниках Норильско-Талнахского района (85%), на рудниках Кольского района (7%), а также из россыпей Камчатки, Хабаровского края (массив Кондер), Среднего и Полярного Урала. Начато промышленное освоение комплексных хромит-медно-никелевых руд Нижне-Тагильского и Волковского месторождений. В отличие от Бушвельдского массива, на месторождениях Норильской группы ведущая роль принадлежит не платине (30%), а более редким и ценным МПГ – палладию и родию (70%). Россия экспортирует около 57% мирового спроса на палладий.

В странах СНГ платиновые металлы извлекаются из золотых руд Мурунтау (Узбекистан), колчеданно-полиметаллических руд на Усть-Каменогорском комбинате, медистых песчаников Жезказгана (Казахстан) и, возможно, в перспективе, из медно-молибденовых концентратов и черносланцевых комплексов Армении. Минерально-сырьевой потенциал стран СНГ чрезвычайно велик. Перспективы открытия крупных платиносодержащих и платино-металльных месторождений имеются в Узбекистане, Казахстане, Киргизии, на Украине, Таджикистане и Армении.

2.3. Мировой рынок платиноидов

В настоящее время производство металлов платиновой группы ведется в 13 странах мира. Ведущими их продуцентами являются ЮАР, Россия, Канада, США и Зимбабве. В 2007г. этими странами произведено 488т платиноидов – около 98% мирового объема, причем более 60% приходится на долю ЮАР.

В принципе рынок МПГ монополизирован. В ЮАР экспорт МПГ из страны фактически находится под контролем трех корпораций: Anglo Platinum Ltd (дочерняя структура британской Anglo

American plc.) – 34,3% мировой добычи (м.д.), Impala Platinum Holdings Ltd (Implats) – 20,2% м.д. и Lonmin plc. – 12,32% м.д. В России, которая занимает второе место в мире по объему поставок МПГ на мировой рынок, производство этих металлов монополизировано компанией ОАО ГМК “Норильский никель” – 11,3% рынка. В США единственным продуцентом МПГ является компания Stillwater Mining Co, подконтрольная “Норильскому никелю”.

МПГ широко используются в автомобильной промышленности, где они применяются в качестве катализаторов химических реакций в фильтрах-нейтрализаторах выхлопных газов. Более 50% мирового потребления МПГ приходится на автомобилестроение. В настоящее время, по объему их использования, второе место занимают электронная и электротехническая промышленность, а не традиционная сфера применения платиноидов – ювелирная. Снизился спрос на МПГ также химическое, электрохимическое и стекольное производство. За последние 5 лет объемы использования МПГ в мире выросли на 22,8% – с 467,8 до 574,5т. С начала 2000г. заметную роль на рынке стал играть Китай: рост благосостояния китайцев привел к резкому увеличению спроса на платиновые и палладиевые ювелирные изделия (Забродский, 2009).

Ведущими странами-экспортерами МПГ являются ЮАР и Россия, а также некоторые страны Европы, где осуществляется переработка вторсырья и рафинирование платиноидов из импортного сырья – Великобритания, Норвегия, Германия и Италия. Швейцария осуществляет реэкспорт металлов платиновой группы, в первую очередь закупаемых в России.

США занимают первое место в мире среди стран-импортеров (около 250т) и являются их главным потребителем. Крупные закупки МПГ осуществляют также Япония, Великобритания, Италия, Китай и Швейцария.

На мировом рынке на протяжении 2003-2007гг. стабильно наблюдается избыток платиноидов в пределах 25-50т. Отметим, что избыток предложения на мировом рынке касается в основном палладия. Россия ежегодно поставляет на торги большие объемы палладия, что превышает величину его производства в стране, т.к. определенная часть продажи осуществляется из государственного

резерва. В результате, в 2007г. рыночный профицит палладия в мире составил 53,3т – почти 23% его мирового потребления (табл. 1.22). Россия с избытком удовлетворяет и, по всей вероятности, будет удовлетворять спрос на палладий, и потому нет никаких предпосылок к заметному подорожанию палладия.

Таблица 1.22

Производство и потребление палладия в мире 2003-2007 годах^{*)}

Показатели/год	2003	2004	2005	2006	2007
Производство (предложение) палладия	тонна				
ЮАР	74,5	79,7	83,8	90,4	86,9
Россия	94,9	154,3	148,6	121,3	131,9
Северная Америка	30,1	33,3	29,3	30,6	31,1
Прочие	7,9	8,5	8,7	8,4	8,9
Всего производство	207,4	275,8	270,4	250,7	258,8
Потребление (спрос) палладия					
Автокатализаторы,	110,9	121,9	124,3	125,7	136,2
в т.ч. утилизация	-13,2	-17,0	-20,1	-24,9	-29,4
Стоматология	26,5	27,3	26,2	19,3	19,3
Электроника	28,9	29,6	31,2	33,0	34,2
Ювелирная промышленность	8,4	29,9	46,0	30,9	23,2
Прочие отрасли	13,0	19,3	28,9	17,2	21,9
Всего потребление	174,5	211,0	236,5	201,2	205,4
Баланс рынка	32,9	64,8	33,9	49,5	53,4

^{*)} по данным Jonson Matthey

На мировом рынке постоянно ощущается недостаток платины, поэтому ситуация принципиально иная. В период с 2003 по 2005г. дефицит платины на рынке сократился с 10 до 1,6т, а год спустя, впервые после 2000г., поставки металла на торгах на две тонны превысили спрос, однако уже в 2007г. экспорт платины из ЮАР снизился, и спрос на нее снова стал выше предложения (табл. 1.23).

Производство и потребление платины в мире 2003-2007 годах^{*)}

Показатели/год	2003	2004	2005	2006	2007
Производство (предложение) платины	тонна				
ЮАР	148,9	161,1	164,5	164,5	162,4
Россия	33,8	27,2	28,6	27,7	25,5
Северная Америка	9,5	12,4	11,4	10,7	10,6
Прочие	7,2	8,0	8,7	8,4	8,7
Всего производство	199,4	208,7	213,5	211,3	207,2
Потребление (спрос) платины					
Автокатализаторы,	105,1	112,2	122,0	128,8	131,7
в т.ч. утилизация	-20,7	-22,2	-24,8	-26,6	-27,5
Промышленное потребление	44,4	49,4	54,3	57,9	59,2
Инвестиционный спрос	0,5	1,4	0,5	-1,2	2,4
Ювелирная промышленность	80,7	69,5	63,2	50,4	49,6
Всего потребление	210,0	210,3	215,3	209,3	215,4
Баланс рынка	-10,6	-1,6	-1,8	+2,0	-8,2

^{*)} по данным Jonson Matthey

Эксперт ИА “РосФинКом” Андрей Кочетков считает, что платиноиды продолжают получать тревожные сигналы из автомобильной индустрии, обусловленные тем, что 60% спроса на МПП обеспечивает производство автомобилей. В связи с мировым глобальным финансовым кризисом ведущие компании мира сокращают производство, что приведет к серьезному сокращению спроса. По данным японских автопроизводителей, глобальное производство компании Toyota снизилось на 12%, компании Nissan – на 18,3%, германского концерна Daimler AG – на 18%. Следует отметить, что соотношение спроса и предложения лишь косвенно определяет уровень цен на оба главных металла (платины и палладия), на первый план выходит спекулятивная активность различных инвестиционных фондов и компаний, крупных и мелких частных инвесторов. Доказательством этому служит тот факт, что в 2006г. на рынке впервые после длительного периода дефицита было зафиксировано избыточное предложение платины, средняя цена на этот металл не только не снизилась, но, напротив, увеличилась по срав-

нению с предыдущим годом на 27% - с 28,84 до 36,72 долл./г (Забродский, 2009).

В последние годы резко возросла потребность в радиогенном ^{187}Os , цена которого на три, а то и больше, порядка выше самой высокой отпускной цены осмия среди всех МПГ. Крупнейшим поставщиком осмия на мировом рынке в XXв. являлись комплексные россыпные золото-урановые месторождения Витватерсранд, где добыто около 10т осмия и иридия (Беневольский, Зубатарева, 1993г). Предполагается, что потребление осмия в мире в 2000г. составило около 1т. Использование осмия постоянно увеличивается на 15-20% в год. Потребление иридия также постоянно растет: с 1992 по 1996гг. его использование увеличилось более чем в 4 раза, достигнув 3,8т.

Рост цен МПГ отражает высокую потребность мировой промышленности в платиноидах, что является причиной неуклонного роста их добычи в главных платинодобывающих странах. В результате, цена унции палладия в июне 2009г. составила 240долл. США.

Диапазон применения платиноидов чрезвычайно широк. Используются как чистые металлы, так и сплавы. Структура потребления сложна и недостаточно освещена. В большей части они используются в автомобильной, электротехнической, химической и нефтеперерабатывающей отраслях, а также как казначейские запасы.

В настоящее время платина на мировом рынке поднялась на самую высокую отметку за последние десятилетия. Цена тройской унции металла в марте-августе 2003г составляла 710,5-705,5 долларов США, что вызвано, по мнению специалистов «Атона» («Известия», 26.08.2003), общим ростом потребления этого металла в ювелирной промышленности, особенно в Китае. Российские ювелиры и производители платины два года назад также решили пойти по этому пути; «Норильский никель» пообещал ювелирам поставлять на рынок любое количество металла, которое потребует. По мнению специалистов, причин для снижения цены на платину в ближайшее время нет. В июне 2009г. цена тройской унции платины составила 1200долл. США.

2.4. Платиноносность геологических формаций Армении

Платиноносность геологических формаций Армении изучена крайне слабо. Аналитическая и технологическая базы отсутствуют. Сырьевая база не подготовлена, хотя имеются довольно таки обнадеживающие результаты.

Имеющиеся сведения о платиноносности рудных формаций Армении преимущественно основываются на их парагенетической связи с альпинотипными ультрабазитами – с рудами хромитовой формации в серпентинизированных дунитах, по аналогии с широко известными крупными месторождениями мира (Урал, Алдан, Бушвелд и др), а также на данных фрагментарных единичных проб из гидротермальных месторождений. В результате проведенных исследований в принципе была дана "отрицательная" оценка перспективности платиноносности дунит-гарцбургитовых массивов Севанского офиолитового пояса (Абовян, 1967; Бетехтин, 1937). Аналогичная оценка была дана по гидротермальным месторождениям (Алаверды, Шамлуг, Каджаран, Ахтала, Шаумян), несмотря на вполне приемлемые результаты опробования.

Фундаментальные исследования А.С.Фарамазяна по геохимии редких металлов в медно-молибденовых месторождениях Зангезура внесли существенные коррективы в установившиеся традиционные взгляды о платиноносности (Pt, Pd, Os) рудных формаций Армении. Он подтвердил платиноносность руд медно-молибденовой формации и создал минералого-геохимические основы для начала целенаправленных исследований (Фарамазян и др., 1970, 1974).

На этой формационно-генетической основе нами за последнее десятилетие проводятся планомерные комплексные исследования по изучению (золото-) платиноносности руд и продуктов технологического передела эксплуатируемых и подготовленных к промышленному освоению рудных месторождений медной, медно-молибденовой, полиметаллической и золотополиметаллической, а также нерудной черносланцевой формаций и вулканических песков и туфов массива г.Арагац (Алоян П., Алоян Г., 2003).

В рамках выполненных исследований проводились геолого-минералогические и опробовательские работы в пределах медных (Капан), медно-молибденовых (Каджаран, Агарак, Техут), полиметаллических (Шаумян, Ахтала), золотополиметаллических (Азатек, Марджан, Тертерасар, Личквас-Тей, Сотк) и черносланцевых (Шамут, Антарамут, Иджеван, Джаджур, Джерманис, Нор-Аревик) месторождений. Аналитическим исследованиям подверглись как дубликаты, так и контрольные пробы руд месторождений различных формационно-генетических типов и продукты технологического передела горно-обогачительных (Каджаран, Агарак, Капан) и золотоизвлекательных (Арарат, Айгедзор) фабрик. Отсутствие в республике надежной аналитической базы по платиноидам резко отрицательно сказалось и сказывается на полноценности проводимых научных, геологоразведочных и технологических исследований. Поэтому для получения достоверных данных был использован потенциал базовых аналитических лабораторий России. Всего были проанализированы 75 проб в три этапа. **На первом этапе** анализы проводились в Аналитическом центре ОИГГМ СО РАН (г.Новосибирск) при содействии доктора геолого-минералогических наук С.А. Паланджяна. Выполнено 29 анализов на благородные металлы – Pt, Pd, Rh, Au и Ag (Алоян, 1996). **На втором этапе** при содействии и непосредственном участии доктора геолого-минералогических наук Л.А. Арутюняна был выполнен 31 анализ на платиноиды (Pt, Pd, Rh, Os), редкие металлы (Se, Te, Cd, Bi, Ge, In, W, Sb, As) и скандий в рудах и технологических продуктах месторождений золоторудной медной и медно-молибденовой формаций Армении. Анализы выполнялись в ЦАЛ ГЕОХИ РАН (г.Москва), ИХТРЭМС и ХАЛ ГИ КНЦ РАН (г.Апатиты) (Алоян и др., 2000). **На третьем этапе** произведено 15 анализов на Pt и Pd в рудах и концентратах месторождений черносланцевой (бурые угли и горючие сланцы), медно-молибденовой, золотополиметаллической формаций, а также новейших вулканических пемзовых (магнетитовых) песков в пробирной, а также 50 спектральных анализов на 30 элементов каждый в спектральной лаборатории ЦНИГРИ (г.Москва). Химические анализы на Cu, Mo и Re в концентратах выполнены в ЦАЛ ГМИ (г.Ереван) (табл. 1.24-1.27).

**Содержание Pt и Pd в рудах и технологических продуктах
месторождений меднорудной и медно-молибденовой
формаций Армении**

(Анализы выполнены в ИХТРЭМС и ГИ КНЦ РАН, г.Апатиты)

NN п.п.	Месторождение	Материал пробы	Номер пробы, год отбора	Содержание, г/т	
				Pt	Pd
1	Каджаранское	руда	P-1/1+P-1/2, 1989	0,018	0,05
2		молибденовый к-т	K-1/9, 1991	0,2	0,28
3			K-1/12, 1991	0,2	0,079
4		медный к-т	K-1/7+K-1/20, 1989	0,08	0,07
5	Агаракское	руда	PA-1, 1987	0,015	0,04
6		молибденовый к-т	K-1/13+K-1/14, 1987	0,3	0,1
7		медный к-т	K-1/16+K-1/7, 1978	0,015	0,11
8	Дастакертское	руда	Pд-2	0,002	0,01
9		молибденовый к-т	Кд-Мо	0,05	0,05
10		медный к-т	Кд-Cu	0,015	0,05
11	Капанское	медный к-т	K-1/1+K-1/3, 1978	н.о.	0,01
12	Айгедзорское	молибденовый к-т	Кайг-Мо	0,01	0,005
13		медный к-т	Кайг-Cu	н.о. ^{*)}	0,02

^{*)} н.о.-не определено.

Основной метод определения МПГ – атомно-абсорбционный с электротермической атомизацией на спектрометре фирмы Перкин-Элмер.

Полученные новые данные являются надежной базой для проведения целенаправленных минералого-геохимических и технологических исследований по переоценке экономического потенциала геологических формаций Армении.

Имеющийся в нашем распоряжении фактический материал дает нам основание выделить основные платиносодержащие формации Армении и дать их сравнительный анализ с ведущими типами месторождений мира, а также наметить перспективные и перво-

очередные задачи по их промышленному освоению и прогнозировать новые формации, подлежащие детальному изучению.

Таблица 1.25

**Содержание благородных металлов в рудах и продуктах
технологического передела Армении**
(Анализы выполнены в ОИГТ СО РАН, г.Новосибирск)

N/N п.п	Рудная формація, ЗИФ	Место- рожде- ние	Материал пробы, год отбора	Содержание металлов				
				мг/т			г/т	
				Pt	Pd	Rh	Au	Ag
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Меднорудная	Капан	медный к-т	20	14	1	0,45	52
2	Медно-молиб- деновая	Каджа- ран	руда	10	5	0,9	0,0067	1,7
3			молибде- новый к-т, 1983г.	90	120	1,1	0,51	24
4			медный к- т, 1988г.	40	85	1	2,8	42
5			молибде- новый к-т, 1991г.	60	95	1,3	0,5	15
6			медный к- т, 1991г.	20	110	0,9	8,3	53
7			молибде- новый к-т, 1998г. (ЦНИГРИ, 2002)	140	190	н.о. ^{*)}	н.о.	н.о.
8			Агарак	руда	10	13	1	0,036
9	молибде- новый к-т, 1987г.	190		180	1,4	14,0	2600	
10	Техут	медный к-т	50	100	1,2	0,21	49	
11		коллек- тивный к-т	20	9	1	0,10	3,5	
11	Полиметалли- ческая	Шаумян	цинковый к-т	120	5,4	1	18,0	170
12		Ахтала	медный к-т	10	13	1	6,0	87,0

Продолжение 2 таблицы 1.25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
13	Золотополи- металлическая	Азатек	гравикон- центрат сульфид- ных руд,	10	4	1	7,8	120	
14			то же	10	5,4	1	20,0	32,0	
15			домытый, коллектив- ный к-т,	10	6,4	1	27,0	2100	
16		Мард- жан		медный к-т,	10	2,8	1	34,0	2100
17				свинцово- цинковый к-т	10	2,2	1	0,033	21,0
18		Тертера- сар		гравикон- центрат, лабор.	10	1,8	1	170,0	170
19				гравикон- центрат, фабр. (ЦНИГРИ, 2002)	60	60	-	39	52
20		Личкваз- Тей		флотаци- онный к-т,	10	9	1	40,0	350
21				гравитаци- онный к-т,	10	7	1	84,0	40,0
22				пиритный к-т	10	10	1	76,0	59,0
23		Золотосуль- фидная	Сотк	коллек- тивный к-т,	10	210	1	7,3	17,0
24				флотаци- онный к-т	10	210	1	640,0	4,0
25	Арагатская ЗИФ		флотаци- онный к-т, 1987г.	10	19	1,8	34,0	60	
26			флотаци- онный к-т, 1992г	40	32	1,7	73,0	45	
27			неочищен- ный к-т (со смолой),	10	200	1,3	69,0	56	
28			флотаци- онный к-т, 1992г.	10	250	1,2	26,0	7,0	
29			гравитаци- онный к-т, 1992г.	10	21	1,6	67,0	7,0	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	Араратская ЗИФ		флотаци- онный к-т, 1992г	20	23	18	65,0	12

^{*)} н.о. – не определено.

Таблица 1.26

Усредненные содержания МПГ в медных и молибденовых концентратах Армении^{*)}

N пп	Рудная фор- мация	Месторож- дение	Кол-во анали- зов	Концен- трат	Содержание, мг/т			
					Pt	Pd	Rh	ΣМПГ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Медно- рудная	Капан	1	медный	20	14	1	35
2	Медно- молиб- деновая	Каджа- ран	9 10	медный молибде- новый	55,8	86,5	0,85	143,15
3					153,6	166,7	1,09	321,4 ^{*)} 491,4
4		Агарак	2 2	медный молибде- новый	32,5	85	1,2	118,7
5					245	140	1,4	386,4 573,4
6		Даста- керт	1 1	медный молибде- новый	15	50	н.о. ^{****)}	65
7					50	50	н.о.	100
8		Айге- дзор	1 1	молибде- новый	10	5	н.о.	365 ^{****)}
9					Среднее в медном к-те		30,8	58,9
10		Среднее в молибденовом к-те			114,7	90,4	1,25	206,4 384,9
11		Полиме- талли- ческая	Ахтала	1	медный	10	13	1
12	Золото- полиме- талли- ческая	Мард- жан	1	медный	10	2,8	1	13,8

^{*)} Данные по медным концентратам Капанского и Айгедзорского месторождений (табл.6) не учтены, ввиду отсутствия содержаний Pt.

^{**)} С учетом содержаний Os в молибденовом концентрате Каджарана (170 мг/т) (таб.7) и в молибденитах Агарака (187мг/т) (Фарамазян, 1974), а также данных анализа ЦНИГРИ (п.12,таб.6).

^{****)} С учетом содержания Os в молибдените (350мг/т), (Фарамазян, 1974).

^{*****)} н.о. – не определено.

Нами выделяются следующие платиносодержащие рудные и нерудные формации (табл. 1.27).

Рудные формации: 1. Платиносодержащая хромитовая – дунит-гарцбургитовая. 2. Медно-молибденовая – меднопорфировая. 3. Меднорудная в вулканогенно-осадочных отложениях. 4. Полиметаллическая–золотометаллическая в альпийских андезитовых и офиолитовых поясах. 5. Прогнозная формация – железорудная.

Нерудные формации: 6. Черносланцевая – терригенно-углесланцевая. 7. Платиносодержащие новейшие вулканические (титано-магнетитовые) пемзовые пески, шлаки и туфы.

2.4.1. Платиноносность рудных формаций

Хромитовая формация представлена небольшими месторождениями (Шоржа, Джил, Бабаджан, Сотк и др.), приуроченными к габбро-перидотитовым массивам Севанского офиолитового пояса. Залегают они среди серпентинизированных дунитов и перидотитов, прорывающих сенонские и эоценовые вулканогенно-карбонатные образования, и трансгрессивно перекрываются вулканогенной толщей олигоцена (Абовян, 1967).

Первые сведения о платиноносности серпентинизированных дунитов Шоржинского массива Армении опубликовал А.Г. Бетехтин по результатам изучения коллекций С.Е. Айвазова и К.Н. Паффенгольца, а также детальных личных исследований. Содержание Pt по 48 пробам из коллекции С.Е. Айвазова колеблется в широких пределах: от 1,5 до 70г/т. Результаты анализа 17 образцов из коллекции К.Н. Паффенгольца показали Pt от следов до 0,06г/т. Проведенные детальные исследования в пределах Шоржинского габбро-перидотитового массива, а также промывка сотни тонн элювиальных и долинных отложений (россыпей) дали "отрицательные" (по выражению А.Г. Бетехтина) результаты, хотя и были обнаружены "признаки платины в виде мелких зерен" в рыхлых отложениях к югу от дунит-гарцбургитового массива. В результате многолетних исследований был сделан вывод о том, что "Шоржинский массив значительно отличается от собственно платиновых массивов Урала и скорее приближается к массивам ультраосновных пород,

Платиносодержащие рудные и нерудные формации Армении и ведущие типы месторождений мира

P-руда, Kк-к-т коллективный, K-концентрат,
KMo-к-т Mo, Kг-к-т гравитации, KСи-к-т Си, KZп-к-т Zп

N/N n.n.	Платиносодержащие формации Армении	Характерный тип ассоциаций МПГ в рудах	Ведущие армянские месторождения, содержание МПГ в рудах и технол. продуктах, мг/т	Ведущие типы месторождений мира (Додин Д.А. и др., 2001)		
				Типы месторождений	Рудовмещающая среда	Содержание МПГ в месторождениях стран СНГ, мг/т
1	2	3	4	5	6	7
Платиносодержащие рудные формации						
1	Платиносодержащая хромитовая-дунит-гарцбургитовая	Pt	Шоржинский дунит-гарцбургитовый массив Севанского офиолитового пояса (P-1500-70000)	1. Альпийский (кемпирсайско-райизский) Ir-Os 2. Алданский Ir-Os 3. Уральский (нижнетагильский) Pt 4. Бушвельдский (бураковский) Ir-Os-Pt	дунит-гарцбургитовая дунит-клинопироксенит-габбровая щелочная дунит-пироксенит-габбровая дунит-перидотит габбро-норитовая, дунит-гарцбургитовая железистая	Россия (до 5400) Украина (60) Казахстан(71-940)

1	2	3	4	5	6	7
2	Меднорудная в вулканогенно-осадочных отложениях	Au-Ag-Pt-Pd-Rh (с Cu)	Капанское (KCu-35) Шамлуг (P>1000) Алаверди (P-50)	Нет геотипов	вулканогенно-осадочные образования андезито-дацитового состава	Россия: Урал, Кавказ, Рудный Алтай
3	Медно-молибденовая – медно-порфировая	Au-Ag-Pt-Pd-Rh- Os (с Re, Mo, Cu)	Каджаранское, Агарацкое, Техутское (Дастакертское, Айгедзорское) (P-16-24, KMo-156-371, KCu-131-166, Kk-351-422)	Битгемский (сорский, жирекенский) Pt-Pd (?)	зоны эксплузивных брекчий в экзокантактах порфировых штоков диорит-гранитовой, гранит-гранодиоритовой формации	Россия (120) Украина (150) Казахстан (700)
4	Полиметаллическая – золотополиметаллическая в альпийских андезитовых и офиолитовых поясах	Au-Ag-Pt-Pd- Rh	Шаумянское (KZn-126) Ахтальское (KCu-24) Тергерасарское (Kг-13) Личквас-Тейское (Kk-59) Марджанское (Kк-17,4) Азатекское (Kг-15) Соткское (Kк-221)	Рудно-алтайский Pt-Pd (?)	спилит-кератофировая, базальт-андезитовая, натровые базальты	Россия (168) Туркменистан(34) Казахстан(3800-4000)
5 5.1	Прогнозная-железорудная <i>Титаномагнетитовая в габбро-пироксенитах</i>	Au-Ag-МПГ (с Ti, V, Fe)	Сваранское, Камарское, Абовянское	1.Качканарский (гусевогорский), Pt 2.Пудожгорский Cu-Pt-Pd	габбро-пироксенитовая габбро-долеритовая	Россия (1010-19700) Казахстан (200-500)

Продолжение 2 таблицы 1.27

1	2	3	4	5	6	7
5.2	<i>Редкоземельно-апатит-магнетитовая в андезито-дацитах</i>	Ag - МПГ (с Re, P, Ti и TR)	Разданское, месторождения бассейнов рек Мармарик, Кохб, Марцигет и другие (P-700)	3. Ковдор Fe-P-Zr-МПГ	апатит-магнетитовая в карбонатитах (в массивах габбро и пироксенитах)	
5.3	<i>Золото-железистая (скарновая) в терригенно-карбонатных и вулканогенно-карбонатных отложениях, метоморфических сланцах, андезитах, андезито-дацитах</i>	Au-Pt-Pd		4. Алтае-Саянский Au-Pt-Pd	скарновая	Россия(16-44000) Кыргызстан (400) Узбекистан (1380) Украина (до 3000)
5.4	<i>Титаномагнетитовые, медно-железо-марганцевые песчаники</i>	Au-Os-Pd-Pt (с Ti, V, Fe)	Агарцинское, Гетикское, Лалварское, Вайкское	Медистые песчаники (Казахстан – Жезказган, Россия – Удокан, Татария) Os-Pt-Pd (с Re, Mo, Cu)	терригенная	Россия (Татария) - в/д Казахстан (до 700)

1	2	3	4	5	6	7
Платиносодержащие нерудные формации Армении						
6	Черносланцевая-терригенно-карбонатно-углеродистая в зонах глубинных разломов и рифтогенеза (альпийских складчатых областей)	Au-Ag-Pt-Pd (с Fe, Cu, Ni)	Шамутское, Антарамутское, Нор-Аревикское, Джерманисское, Джаджурское, Иджеванское (P-40-200-1000 и >)	1.Тимской Pt-Pd-Au 2.Сухоложский (мурунтауский) Pt-Au 3.Таймырский Au-Ag-Pt-Pd 4. Полярно-Уральский Au-Ag-Pt-Pd 5.Наталкинский Pt-Pd	углеродистые и высокоуглеродистые сланцы терригенная, карбонатно-терригенная сероцветная углеродистая и углеродисто-терригенная сероцветная складчатых областей углеродисто-сланцевая офиолитовых поясов углеродисто-терригенная сероцветная	Россия (2320 и >) Казахстан (5000-6000) Россия (до 6600) Узбекистан (25300) Украина (7000) Казахстан (58000) Кыргызстан (7600)
7.	Платиносодержащие новейшие вулканические пемзовые титано-магнетитовые пески, шлаки и туфы	Au-Ag-Pt-Pd (с Fe)	Талин-Агаракское, Кошское, Аричское и др. (P-76-100)	Нет аналога		Нет аналога

не содержащих в себе промышленных месторождений платины, а элювиальные отложения и делювиальные выносы у самого перидотитового массива металла не содержат" (Бетехтин, 1937).

Отрицательные результаты были получены и по другим массивам и их россыпям. Только в одном случае, к югу от Джил-Хачского дунит-гарцбургитового массива, вблизи хромитового месторождения "Главная жила" была обнаружена самородная платина (Абовян, 1967). По устному сообщению Р.О.Марутяна, при разведке золотоносных россыпей Соткского рудного поля, в районе Севкар-Соткского ультрамафитового массива, в тяжелой фракции некоторых проб наблюдались зерна предположительно платины. Единичные зерна платины были обнаружены также к югу от Соткского массива среди аллювиальных отложений.

В 1985г. С.А.Паланджяном, в рамках исследований по петрологии и металлогении альпинотипных ультрамафитов, были отобраны штучные пробы хромитовых руд и рудовмещающих дунитов по всей площади Шоржинского и по западному краю Джил-Хачского массивов. Специальная обработка проб, с целью обнаружения МПГ, проводилась Г.Г.Дмитриенко в лаборатории минералогии платиноидов СВКНИИ (г.Магадан). Изучение значительной части проб хромитовых руд не дало положительных результатов (Паланджян, 1993).

Имеющийся материал по платиноносности хромитовой формации Армении позволяет отметить следующее:

1. Дана отрицательная оценка платиноносности хромитовой-дунит-гарцбургитовой формации Армении. Отмечается, что габбро-перидотитовые массивы Севанского офиолитового пояса, в отличие от уральских ультрабазитов, относятся к неплатиноносным массивам.

2. Рекомендуются при дальнейших поисковых работах проводить **"систематический отбор валовых проб весом в несколько тонн"** (выделено нами) с последующим обогащением. Если в концентрате не будет обнаружено зерно платины, то "необходимо проанализировать пробу в пробирной лаборатории" (Абовян, 1967, Бетехтин, 1937).

Следует отметить, что, **во-первых**, имеющийся фактический материал и достигнутый технологический уровень обогащения и металлургии МПГ не дают основания делать столь категоричные отрицательные выводы о платиноносности хромитовой-дунит-гарцбургитовой формации Армении, что резко ограничило перспективы поисковых работ, и, **во-вторых**, учитывая весьма неравномерный характер распределения МПГ в габбро-перидотитовых массивах других платиноносных провинций мира и современный опыт проведения геологоразведочных работ, трудно согласиться с рекомендацией по проведению крупнолабораторных (полупромышленных или крупнообъемных) испытаний без получения соответствующего аналитического обоснования.

Платиносодержащие хромитосодержащие ультраосновные породы Уральской провинции, с которыми проводилась аналогия ультраосновных пород Севанского офиолитового пояса, представлена двумя формациями: гипербазитовой и габбро-пироксенит-дунитовой. По результатам работ в Армении укрепилось авторитетное мнение А.Г.Бетехтина о том, что платиноносность (с целью промышленного освоения) характерна только для хромитсодержащих ультрабазитов. Как показали последующие исследования, имеются новые данные, которые не подтверждают это мнение:

1. По составу и характеру хромитового оруденения и по платиноносности гипербазитовая и габбро-пироксенит-дунитовая формации мало отличаются друг от друга (Фоминых, Хвостова, 1971).

2. Степень серпентинизации дунитов не влияет на величину концентрации МПГ. Вблизи хромитовых скоплений содержания платины значительно выше при общем низком фоновом значении.

3. Повышенной платиноносностью характеризуются в основном крупнозернистые дуниты с богатой вкрапленностью хромшпинелидов (Разин, 1978; Фоминых, Хвостова, 1971).

Следует учесть, что платиносодержащие хромитовые объекты Урала долгое время оставались слабо изученными, за исключением эксплуатируемого Сарановского месторождения в комплексе дунит-гарцбургит-пироксенит-габбровых интрузий Западного Урала, т.к. промышленность СССР была ориентирована на

крупнейшее в мире Кемпирсайское месторождение. На госбалансе России на 1.01.2008г. числились всего несколько месторождений с общими балансовыми запасами около 7млн.т руды.

Анализ платиноносности уральского, алданского, кемпирсайского и бушвельдского типов месторождений хромитовой формации, аналогов дунит-гарцбургитовых массивов Севанского офиолитового комплекса, и весь имеющийся материал дают основание отметить, что дунит-гарцбургитовые массивы Армении могут быть перспективными на МПГ, с учетом новых данных по характеру их распределения и размещения в ультраосновных образованиях, а также по достигнутому технологическому уровню обнаружения и извлечения металлов платиновой группы. Поиски следует продолжать.

Следует отметить, что в пределах азербайджанской части офиолитового пояса также известны многочисленные хромитовые проявления дунитов (Гейдаринская, Ипякская и Бининская группы проявлений), о платиноносности которых нет и речи.

Наиболее детально изучено самое крупное в Закавказье Гейдаринское (Тапасарское) месторождение хромита. В геологическом строении района месторождения принимают участие вулканогенные породы сантона, которые местами перекрыты известняками сенона (кампан-маастрихт). Из пород офиолитовой формации здесь присутствуют серпентинизированные дуниты, перидотиты и пироксениты, а также габброиды.

Хромитовая зона локализована в серпентинизированных дунитах. *Рудная зона*, мощностью до 12м, дугообразно простирается на северо-запад на 300м. Она имеет пологое падение на север-северо-восток, а местами наблюдаются крутые падения.

На Тапасарском месторождении нами были проведены специальные минералого-петрографические, петрофизические и геохимические исследования вкупе с металлургическими опытами с целью установления наличия содержаний благородных металлов (Au, Ag, МПГ) в серпентинизированных ультраосновных породах (дунитах и перидотитах). Здесь мы приводим краткое обобщение результатов минералогических и металлургических исследований.

В серпентинизированных дунитах, кроме хромита, наблюдается тонкая прожилково-вкрапленная минерализация магнетита, гематита, пирита, золота, платины и других рудных минералов. Силикатный анализ дал следующие результаты (%): SiO_2 – 2,62, TiO_2 – 0,17, Al_2O_3 – 14,38, Fe_2O_3 – 20,68, Cr_2O_3 – 49,50, CaO – 0,10, MgO – 10,85, MnO – 0,04, NiO – 0,19, $\text{H}_2\text{O}+\text{H}_2\text{O}$ – 1,53. Сумма 100,06%.

Хромит довольно однородный, но достаточно катаклазированный, размеры отдельных выделений составляют 0,03-0,5мм. В его полях отмечаются мелкие ксеноморфные включения магнетита размерами до 0,01мм с мелкими тончайшими пластинками гематита (0,02-0,04мм). По трещинкам в зернах хромита наблюдаются тончайшие включения самородных металлов – платины, железо-платины и золота (рис. 1.72-1.75). Кроме того, эти металлы встречаются также в серпентинизированной основной массе, цементирующей раздробленные зерна хромита (рис. 1.76-1.79).

Для подтверждения результатов минералогических исследований проводились специальные металлургические опыты с теми же образцами, в которых оптическими методами были обнаружены золото и платина.

Опыты по металлургической переработке руд Тапасарского месторождения хромита проводились двумя методами: 1 – соляным хлорированием и 2 – тигельной плавкой.

При первом методе, как правило, в растворы переходят металлы платиновой группы (МПГ), которые восстанавливаются цементацией, а Au и Ag извлекают после хлорирования из нерастворимого раствора путем его плавления глетом.

При втором методе (тигельной плавке) благородные металлы накапливаются в медном веркблее, который в последующем подвергается азотнокислотному выщелачиванию, с целью перевода Ag в раствор, а Au и МПГ – в нерастворимый осадок.

Опыты на хромитах Тапасарского месторождения (проба Тап-8) по методу хлорирования проводились на навесках 25 и 15г. Дальнейшей цементацией полученного раствора были получены промпродукты, весом соответственно 28 и 0,2мг, которые, по существу, являются концентратами МПГ. После их купеляции (окис-



Рис. 1.72. Тапасар. Включение самородного золота (белое в центре) в хромите (светло-серое). Полированный шлиф Тап-8. (после травления HNO_3) Ув. $\times 400$. Пл. 3456, к.21.



Рис. 1.73. Тапасар. Самородная платина (белое в центре) в хромите (светло-серое). Полированный шлиф Тап-8. Ув. $\times 400$. Пл. 3456, к.19.

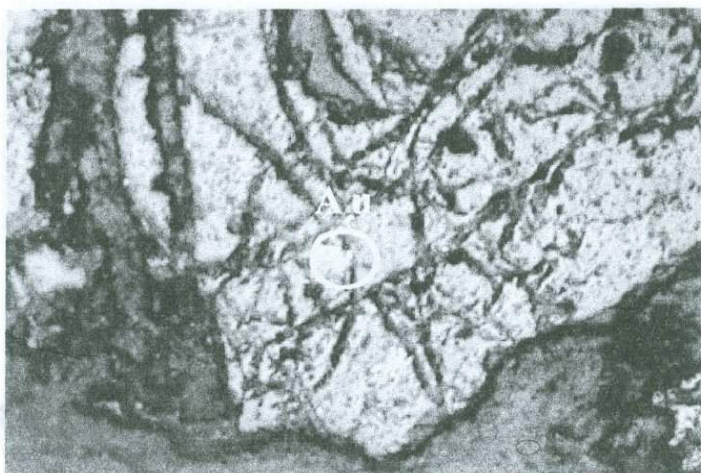


Рис. 1.74. Тапасар. Тонкие вкрапленники золота (белые в центре) в полях хромита (серое) и в трещинках его раздробленных зерен. Полированный шлиф Тап-15. Ув. $\times 250$. Пл. 3456, к.22.

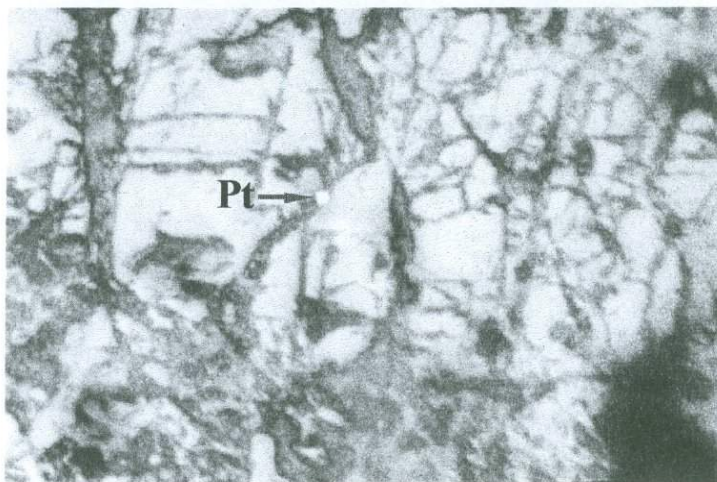


Рис. 1.75. Тапасар. Самородная платина (белое в центре) в трещине раздробленного хромита (светло-серое). Полированный шлиф Тап-16. Ув. $\times 210$. Пл. 3456, к.23.



Рис. 1.76. Тапасар. Самородная платина (белое пятно наверху) в основной массе (черное), цементирующей раздробленные зерна хромита (светло-серое). Полированный шлиф Тап-8. Ув. $\times 250$. Пл. 3456, к.24.

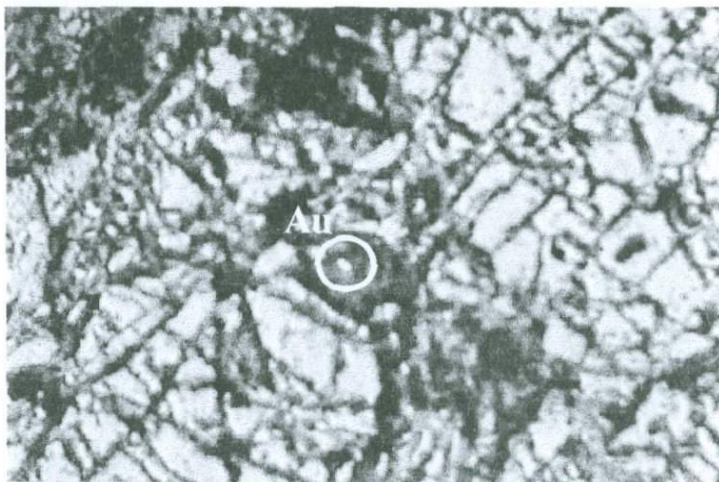


Рис. 1.77. Тапасар. Полированный шлиф Тап-8. Самородное золото (белое пятно в центре) в основной массе (черное), цементирующей раздробленные зерна хромита (светло-серое). Ув. 250х. Пл. 3456, к.25.

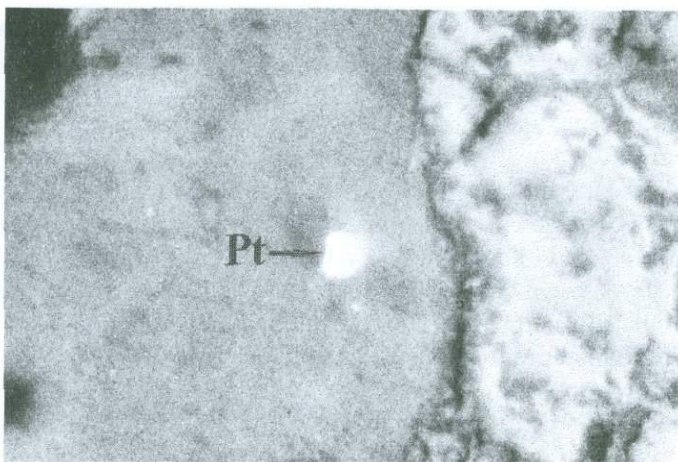


Рис. 1.78. Тапасар. Самородная платина (белое зерно в центре) в цементирующей массе (черное) хромитовых руд (серое). Полированный шлиф Тап-8. Ув. $\times 400$. Пл. 3456, к.18.



Рис. 1.79. Тапасар. Удлиненное зерно золота (наверху в центре) в цементирующей серпентинизированной массе (серое) раздробленных зерен хромита (светло-серое). Полированный шлиф Тап-16. Ув. $\times 250$. Пл. 3456, к.17.

лительная плавка свинцом), на дне цементного тигля появляется металлический королек МПГ (рис. 1.80), т.к. он почти не меняется при травлении HNO_3 . Нерастворимый осадок, оставшийся после хлорирования исходной руды, весом $\sim 40\text{г}$, плавился в шихте с глетом и флюсами в тигле, с получением Au-Ag сплава (сплав Доре), вес которого после азотнокислотного выщелачивания (с соотношением 1:2) составил $0,4\text{мг}$ (рис. 1.81-А), что соответствует содержанию их в исходной руде 10г/т (с некоторой примесью силикатов). Цвет полученного сплава золотистый. По краям наблюдается почернение под влиянием концентрированной азотной кислоты, а желтый оттенок остается неизменным (рис. 1.81-Б).

При втором опыте на хромитах (проба Тап-8), с использованием севанской соли, хлорированию (при $500\text{-}600^\circ\text{C}$, в течение 2-х часов) подвергнута 100-граммовая навеска. МПГ из полученного раствора восстанавливались тиомочевинной. Вес полученного осадка (с незначительным желтоватым оттенком) после сернокислотного выщелачивания и обжига (при 550°C , в течение 1 часа) составил $2,5\text{мг}$. После купеляции на дне цементного тигля был получен королек МПГ. Нерастворимый осадок от пробы Тап-8, весом $\sim 95\text{г}$, плавился глетом с получением сплава Доре, вес которого составил $0,9\text{мг}$ (рис. 1.82-А), что соответствует содержанию в исходной руде $9,0\text{г/т}$. После травления азотной кислотой цвет сплава почти не меняется (рис. 1.82-Б).

Из проб Тап-15 (перидотиты) и Тап-16 (дуниты) отбирались навески по 30г каждая, а потом способом тигельной плавки были получены промпродукты, весом соответственно 30 и 75мг . Часть промпродукта Тап-16, весом 18мг , обжигалась при $700\text{-}800^\circ\text{C}$ в течение 1 часа, и полученный остаток, весом $0,8\text{мг}$, подвергался азотнокислотному выщелачиванию при температуре $40\text{-}50^\circ\text{C}$ в течение 1 часа. Получен продукт весом $0,2\text{мг}$. Опыты продолжались путем совместной металлургической обработки промпродуктов проб Тап-15 и Тап-16 с общим весом 80мг . После обжига (при $500\text{-}550^\circ\text{C}$, в течение 1 часа) и азотнокислотного выщелачивания полученный продукт, весом 3мг , подвергся купеляции, в результате чего на дне цементного тигля был получен королек МПГ (рис. 1.83).

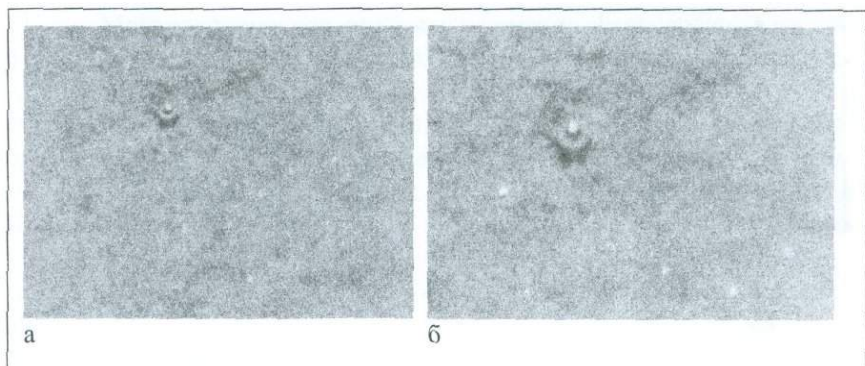


Рис. 1.80. Тапасар. Платиновый королек, купелирование в цементном тигле. Проба Тап-8. Ув.: а – х 24, б – х 45.. Пл. 3456, к. 14 и 13.

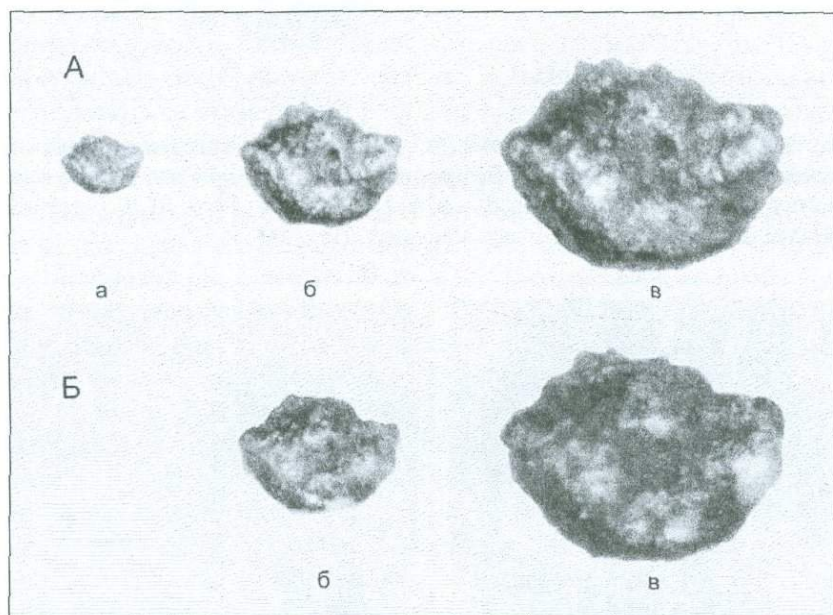


Рис. 1.81. Тапасар. Проба Тап-8. А – Сплав Доре, тигельная плавка с кислотным выщелачиванием. Вес королька – 0.4мг, при начальном весе навески – 40г. Ув.: а – х12, б – х24, в – х45. Пл. 3456, к. 1, 3 и 5. Б – тот же королек после травления азотной кислотой. Пл. 3456, к.8 и 9.

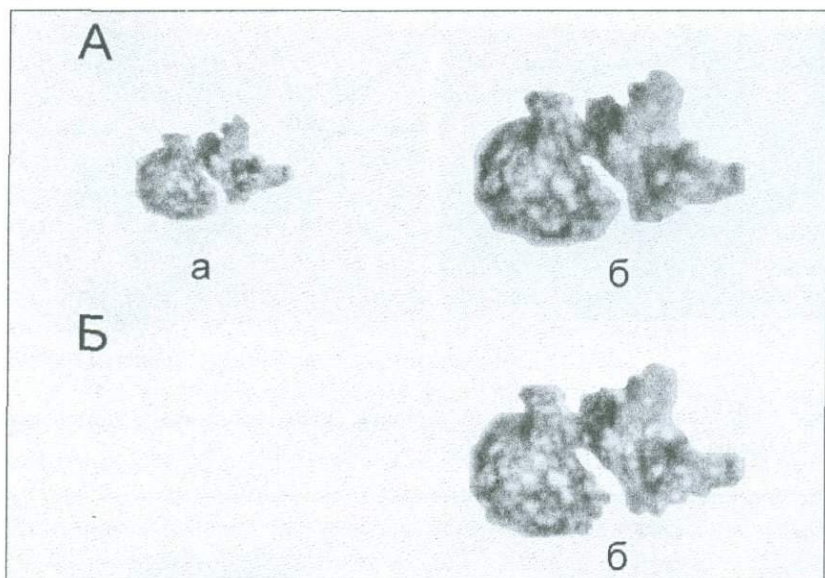


Рис. 1.82. Тапасар. Проба Тап-8. А – Сплав Доре, тигельная плавка с кислотным выщелачиванием. Вес королька – 0.9мг, при начальном весе навески – 100г. Ув.: а – х12, б – х24. Пл. 3456, к. 11 и 10. Б – тот же корольек после травления азотной кислотой. Пл. 3456, к. 12.

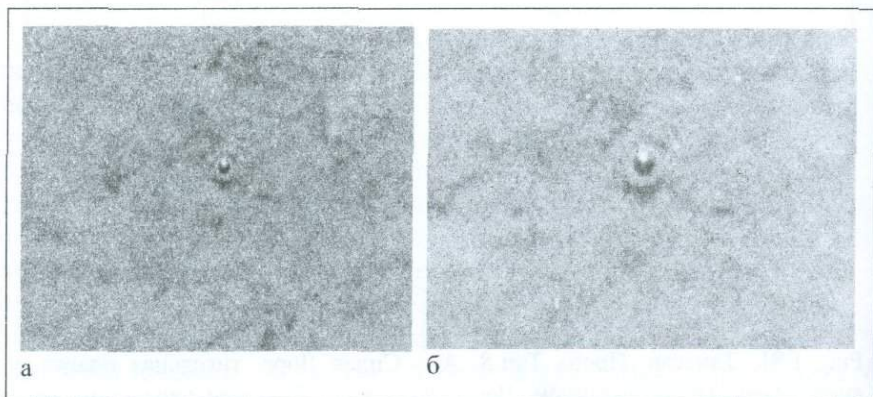


Рис. 1.83. Тапасар. Платиновый корольек, купелирование в цементном тигле. Проба Тап-15 + Тап-16. Ув. а – х24, б – х45. Пл. 3456, к. 15 и 16.

Металлургические опыты на дунитах Тапасарского месторождения проводились также способом выщелачивания царской водкой. Исходный вес пробы 50г. В результате выщелачивания Au, Pt и Pd переходят в раствор, а серебро в осадок. Из раствора МПГ восстанавливались тиомочевинной (при 90-100⁰С, в течение 2-х часов) с получением осадка весом 58мг. Последний выщелачивался азотной кислотой (1:1, 20мл), и получена зернистая масса (0,8мг) МПГ.

В целом, по рудам Тапасарского месторождения хромитов проводились 8 металлургических опытов, и полученные результаты однозначно свидетельствуют о наличии в них благородных металлов, в т.ч. и МПГ.

Первые сведения о содержании платины в рудах **месторождений медной, медно-молибденовой и полиметаллической (золотополиметаллической) формаций Армении** были опубликованы О.Е.Звягинцевым, который в течение 1933-1935гг. проводил опробовательские работы в пределах некоторых гидротермальных месторождений Армении. В результате этих работ были получены достаточно высокие единичные данные по содержанию Pt и Pd в рудах Шамлугского медного, Каджаранского медно-молибденового и Шаумянского полиметаллического месторождений. В последующем специальных исследований на платиноносность руд Армении не проводилось. Через 40 лет О.Е. Юшко-Захарова опубликовала единичные данные по одному из главных концентраторов Pt и Pd – халькопириту из руд Ахтальского и Азатекского полиметаллических месторождений Армении (Юшко-Захарова, 1975).

В начале 70-х годов прошлого столетия, как уже было отмечено выше, платиноносность медно-молибденовых руд Каджаранского месторождения была подтверждена фундаментальными геохимическими исследованиями А.С.Фарамазяна. Краткий обзор платиноносности руд месторождений медной, медно-молибденовой и полиметаллической (золотополиметаллической) формаций приводится в работах О.Е.Юшко-Захаровой, Д.А.Додина, В.Е.Бойцова (Бойцов и др., 1999; Додин и др., 2001; Юшко-Захарова, 1975).

Считаем нужным отметить, что конкретных геотипов – месторождений-аналогов для этих формаций, в особенности для мед-

нородной и золотополиметаллической формаций – пока не установлено, ввиду их слабой изученности и низких содержаний МПГ, а также отсутствия минералов платиновых металлов. Наиболее характерными являются месторождения Урала, Кавказа и Рудного Алтая (Блявинское, Карабашское, Маднеульское, Ахталское, Худесское, Лениногорское, Заряновское, Березовское, Золотушинское, Белоусовское, Текели и др.), в мономинеральных пробах и концентратах которых определены Pt, Pd и Rh. Среднее содержание Pd в медном концентрате из девяти месторождений составляет 0,008г/т (21 проба), а в свинцовых и цинковых концентратах 0,003г/т (по 26 пробам). Платина установлена только в медных концентратах – в среднем 0,001г/т (Юшко-Захарова, 1975). Данные по полиметаллическим месторождениям весьма скудные. Наиболее платиносны свинцово-цинковые и медно-свинцово-цинковые месторождения Рудного Алтая (Риддер-Сокольное, Иртышское, Белоусовское) относительно медно-цинковых (Ново-Березовское). Количество МПГ убывает в ряду галенит-халькопирит-сфалерит-барит. В силикатах содержание МПГ очень низкое (Додин и др., 2001). Гравиконцентраты, содержащие Au, Ag, Cu и Bi, слабо обогащены платиноидами. Допускается, что платиноиды присутствуют в виде изоморфной примеси в сульфидах. В черновой меди Усть-Каменогорского комбината содержатся (г/т): Pt – 0,01; Pd – 0,35; Rh – 0,65; Ru – 0,31 и Ir – 0,38, а в черновом свинце (г/т): Pt – 0,005; Pd – 0,15; Rh – 0,003; Ru – 0,004.

Повышенные содержания МПГ установлены в промпродуктах и концентратах золотополиметаллических руд Горевского и Орловского месторождений, что дает основание прогнозировать платиноносность полиметаллических руд Ново-Золотушинского, Зареченского, Рубцовского, Таловского (Алтайский край, Алтайский ГОК); Кварцитовой сопки, Третьего рудника (Кемеровская область, Салаирский рудник); Ново-Широкинского (Забайкалье, Ново-Широкинский комбинат) месторождений Южный Сибири (Рудного Алтая) (Додин и др., 2001).

Медно-молибденовая формация более изучена на платиноносность. О.Е. Юшко-Захаровой изучены минералы медно-молибденовых месторождений трех рудных провинций – Казахстана,

Кавказа и Болгарии. По данным единичных мономинеральных проб (халькопирит, молибденит), "высокие концентрации платиновых металлов не обнаружены". Наблюдается преобладание Pd над Pt, хотя встречаются и обратные соотношения. Сравнительно высокие содержания МПГ характерны для молибденита. Специальными исследованиями установлено, что содержание Os в молибденовых концентратах и молибденитах (Коунрад, Бошекуль, Алмалык, Агарак, Каджаран) зависит от величины рениеносности руд (Фарамазян и др., 1970, 1974; Юшко-Захарова, 1975).

Месторождениями-аналогами – геотипами платиносодержащих медно-молибденовых месторождений – являются Сора, Жирекен и Клаймакс.

В прожилково-вкрапленных рудах медно-молибденовой формации Армении содержание МПГ составляет 16-24 мг/т. При этом в медном концентрате составляет 65-143,2, а в молибденовом – 100-573 (с учетом содержания Os в молибденовых концентратах и молибдените). С учетом достигнутых технологических показателей по основным полезным компонентам (медь, молибден), 20-30% от суммарного содержания МПГ концентрируется в медных, а 70-80% – в молибденовых концентратах. О концентрации МПГ в медных концентратах месторождений медно-молибденовой (Каджаран, Агарак) и меднорудной (Капан, Шамлут) формаций свидетельствуют также данные по медьэлектролитным шламам бывшего Алавердского горно-металлургического комбината, где преимущественно перерабатывались медные концентраты, произведенные в республике. В шламах АГМК средние содержания МПГ за многолетнюю производительность в пределах 40 тыс.т меди составили (г/т): Pt – 20-50; Pd – 70-90; Rh – 0,5-2,5; Ru – 4. В настоящее время медные и молибденовые концентраты Армении вывозятся из республики без соответствующей компенсации за МПГ, т.к. аналитическая база и технология по их доизвлечению полностью отсутствуют.

Аналитические исследования показали, что содержание МПГ в рудах и технологических продуктах рудных формаций выражается в разных соотношениях. В медных концентратах Зангезурского ММК отношение Pd:Pt составляет в среднем 1.55 при со-

отношении Pt:Pd:Rh \approx 66:102:1, а в молибденовых концентратах – в среднем 1.09 при соотношении 141:153:1. Эти соотношения выдерживаются за последние почти 20 лет. В медном концентрате Агаракского ММК также выдерживается установленное соотношение (27:71:1), но в молибденовом концентрате имеем обратную картину – Pt>Pd при соотношении Pt:Pd:Rh \approx 175:100:1. Отношение Pd:Pt \approx 0,57.

Следует отметить, что содержание Pt и Pd в рудах и технологических продуктах Дастакертского и Айгедзорского медно-молибденовых месторождений значительно ниже, хотя с учетом данных А.С.Фарамазяна по Os в молибдените Айгедзорского месторождения (0,35г/т) сумма МПГ в молибденовом концентрате составит около 365мг/т. В медном концентрате Дастакертского месторождения отношение Pd:Pt \approx 3,3, а в молибденовом – равно 1, что в целом хорошо коррелируется с содержаниями в Каджаране, в то время как в молибденовом концентрате Айгедзорского месторождения, как и в молибденовом концентрате Агарака, наблюдается обратная картина – отношение Pd:Pt \approx 0,5. Это совпадение неслучайное, ибо Агаракское и Айгедзорское месторождения рассматриваются как одновозрастные – верхнеэоценовые, а Каджаранское и Дастакертское – как нижнемиоценовые.

Таким образом, для медных концентратов разновозрастных месторождений медно-молибденовой формации (Каджаран, Дастакерт, Агарак, Айгедзор) отчетливо проявляется отношение Pd:Pt>1, а для молибденовых концентратов наблюдаются две тенденции: в концентратах нижнемиоценовых месторождений (Каджаран, Дастакерт) отношение Pd:Pt \approx 1-1,1, а в концентратах верхнеэоценовых месторождений (Агарак, Айгедзор) Pd:Pt \approx 0,5-0,57. Общую тенденцию Pd:Pt>1 для месторождений медно-молибденовой формации А.С. Фарамазян объясняет разницей температур на ранних и поздних стадиях рудообразования: на более ранних – высокотемпературных – стадиях преобладает платина, а с падением температуры и образованием основной массы сульфидов (пирита и халькопирита) преобладает концентрация палладия (Фарамазян и др., 1974). Это объяснение вполне приемлемо и для разновозрастных месторождений, если учесть, что они являются различными фазами еди-

ного рудогенного этапа (верхний эоцен-нижний миоцен). Следует учесть также возможность увеличения железистости породообразующих минералов в конце рудогенного этапа, с чем и коррелируется повышение содержания Pd (Волченко, Вилесов, 1971).

В медном концентрате прожилковых руд меднорудной формации (Капан) сумма МПГ составляет 35 мг/т, при соотношении Pt:Pd \approx 1,43. Низкие содержания МПГ установлены также в медных концентратах месторождений золотополиметаллической (13,8 мг/т) и полиметаллической (24 мг/т) формаций, при соотношении Pt:Pd соответственно 0,57 и 0,77.

В полиметаллических месторождениях жильного типа соотношение Pt:Pd сильно варьирует. В цинковом концентрате Шаумянского полиметаллического месторождения содержание МПГ составляет 126,4 мг/т, при соотношении Pt:Pd:Rh \approx 120:5.4:1. В гравиконцентратах месторождений золотополиметаллической формации (Азатек, Тертерасар, Личквас-Тей) сумма МПГ варьирует от 12,3 до 18 мг/т, при соотношении Pt:Pd \approx 1,43-5,56; во флотационных концентратах содержание МПГ составляет от 27-42 до 221 мг/т, при соотношении Pt:Pd \approx 0,05-4. Резкое преобладание палладия наблюдается во флотационном и коллективном концентратах Соткского месторождения (Pt:Pd \approx 10:200 мг/т). Следует отметить интересный факт. В гравиконцентрате крупнолабораторной пробы Тертерасарского месторождения по данным Аналитического центра ОИГГМ СО РАН (г.Новосибирск) сумма МПГ (Pt, Pd, Rh) составляет 12.8 мг/т, при соотношении 10:2:1 и содержании золота и серебра по 170 г/т. В промышленном гравиконцентрате (Айгедзорская ЗИФ, 2000г.) по данным пробирной лаборатории ЦНИГРИ (г.Москва) содержание благородных металлов составляет: Pt – 60 мг/т, Pd – 60 мг/т, Au – 39 г/т и Ag – 52г/т. Фабричный концентрат дает более объективные данные, что подтверждается также металлургическими опытами ГМИ (г.Ереван). Можно ожидать, что при промышленной переработке руд золотополиметаллической формации фактические содержания МПГ будут гораздо выше.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно отметить следующее :

1. В медных концентратах разновозрастных месторождений медно-молибденовой (Каджаран, Дастакерт, Айгедзор, Агарак) и полиметаллической (Ахтала) формаций отчетливо прослеживается соотношение $Pd:Pt > 1$, что выдерживается в целом (приближается к 1) и для молибденовых концентратов, за исключением агаракского и айгедзорского концентратов, где это отношение составляет 0,5-0,57, что отражает полифазность палеогенового рудогенного процесса.

2. В медных концентратах месторождений меднорудной (Капан) и гравитационных и флотационных концентратах полиметаллической (Шаумян) и золотополиметаллической (Азатек, Марджан, Тертерасар) формаций устойчиво выдерживается соотношение $Pt:Pd > 1$, за исключением Соткского месторождения, где это соотношение равно 0,05.

3. В технологических продуктах базовой Араратской золотоизвлекательной фабрики в целом выдерживается соотношение $Pd:Pt > 1$.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что МПГ являются характерной примесью для гидротермальных месторождений Армении, их поведение значительно отличается от общепринятых геохимических построений, и потому необходимо проведение специальных минералого-геохимических исследований на современном аналитическом уровне с учетом технологических особенностей рудных формаций.

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. Фармазяна, они "образуют субмикроскопические выделения собственных минералов, размеры которых находятся на грани разрешения светового микроскопа".

Парагенетическая триада Mo-Re-Os (платиноиды). Исходя из ранее установленной корреляционной связи между рением и радиогенным осмием, с одной стороны, и молибденом и рением — с другой (Фармазян и др., 1970, 1974), нами оконтурены обога-

ценные концентрации трехчленного парагенезиса – молибден-рений-платиноиды (то же молибден-рений-радиогенный осмий).

Специальный анализ материалов разведки и эксплуатации Каджаранского месторождения показывает, что основная масса медного и молибденового оруденения разобщена в пространстве и площади высоких концентраций медных руд смещены по отношению к молибденовым. Наибольшие площади богатых молибденовых руд и зон концентраций отмечены в пределах центральной части штокверка (гор. 1990-1850м, на площади 500х800м). Они имеют преимущественно широтное и близширотное простирание и соответствуют общему плану простирания дайковых образований и выдержаны на глубину. Обособленные площади вытянуты на 350м при ширине 60м. Участки концентрации меди в основном приходятся на южный фланг месторождения, но фрагментарно выступают и на севере. Они имеют субмеридиональное простирание при ширине полосы обогащения 350-500м. С глубиной морфология площади обогащения меняется, но общая ориентация выдерживается. На отдельных участках штокверка площади высоких содержаний молибдена и меди смещены, но во всех случаях эти участки отличаются как размерами, так и морфологией концентрации.

На Техутском месторождении наиболее обогащенные участки медно-молибденовых руд сосредоточены в центральной части штокверка между горизонтом шт.2 (890м) и дном проектного контура карьера (680м) и вытянуты в широтном направлении на площади 250х400м. Контурные высокие содержания меди и молибдена здесь в принципе совпадают с незначительным смещением на юго-восток. Наивысшие содержания по сечениям наблюдаются вдоль оси скв. 655 на глубинах 170-220м: содержание рения составляет свыше 700г/т, молибдена – 0,067%, а меди – 0,63. По данным разведки такие же обогащенные участки в контуре промышленных запасов были оконтурены на Агаракском, Айгедзорском и Дастакертском месторождениях с целью их дальнейшей прогнозной оценки по аналогии. С другой стороны, для руд и продуктов технологического передела (в отдельных случаях для мономинеральных проб) медно-молибденовой формации в имеющихся материалах приводятся усредненные показатели, что значительно осложняет

перспективную оценку платиноносности руд этой формации. Поэтому проведено групповое и контрольное опробование обогащенных участков в пределах контура промышленных запасов Каджаранского месторождения.

Исследованиями установлено, что в молибденитах армянских медно-молибденовых месторождений осмий в основном представлен радиогенным изотопом ^{187}Os – продуктом бета-распада изотопа ^{187}Re , при этом примесь обыкновенного осмия варьирует в пределах 5-10%. На этом основании рений-осмиевый метод был использован для определения возраста медно-молибденовых месторождений Зангезура. Были получены две разновозрастные группы месторождений: верхнеэоценовая (Агарак, Айгедзор) с абсолютным возрастом $43,9 \pm 2,5$ – $56,6$ Ма и нижнемиоценовая (Каджаран, Дастакерт) с возрастом $24,3 \pm 1,2$ – $22,5 \pm 1,3$ Ма (Фарамазян и др., 1974). Причем содержания Re и Os в молибденитах нижнемиоценовых месторождений (Дастакерт, Каджаран) имеют более низкие значения, и, естественно, корреляционная кривая занимает более низкую ступень, в то время как в молибденитах верхнеэоценовых месторождений (Агарак, Айгедзор) содержания этих металлов значительно выше, а корреляционная кривая занимает более верхнюю ступень (рис. 1.84). Полученные нами новые данные по молибденовым концентратам Зангезурского ММК, произведенным в течение 1996-1998гг., подтверждают линейную зависимость Mo, Re и Os.

По-видимому, это следствие, во-первых, генетических особенностей образования разновозрастных месторождений, а во-вторых, зависит от различий в содержаниях осмия в молибденитах и молибденовых концентратах, т.к. в молибденитах содержания осмия варьируют от 20-60 до 200мг/т, а в молибденовых концентратах Зангезурского ММК – от 106 до 300мг/т. Интересно отметить, что данные по Айгедзорскому и Техутскому месторождениям, где содержание рения достигает 600-700 г/т, хорошо накладываются на усредненную корреляционную кривую обогащенных концентратов Каджаранского месторождения, тем самым отражая прямую зависимость рения и осмия в рудах медно-молибденовой формации Армении.

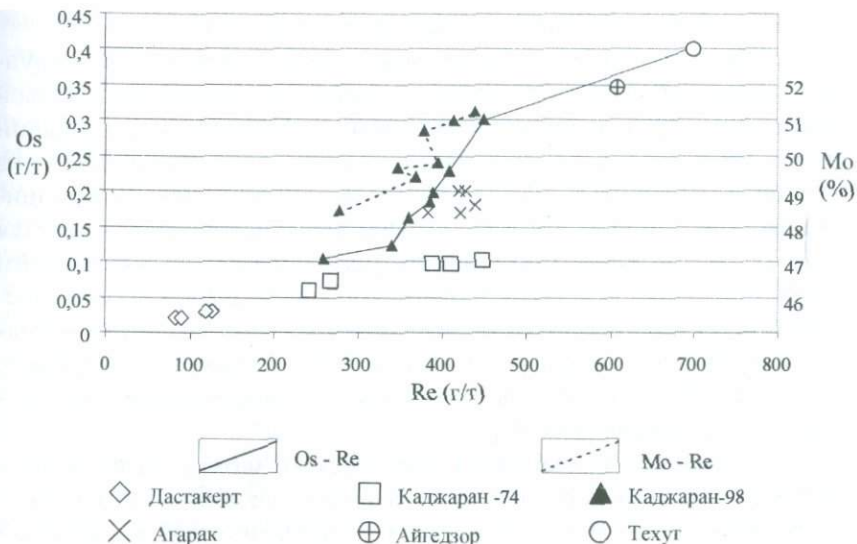


Рис. 1.84. График парагенетической триады Mo-Re-Os в медно-молибденовых месторождениях Армении.

Таким образом, приведенный выше материал дает нам основание уверенно говорить о трехчленном геохимическом парагенезисе – молибден-рений-платиноиды для руд медно-молибденовой формации. Интересно отметить, что почти к аналогичным выводам пришли Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис для черносланцевой формации. Они отмечают, что в некотором отношении платиноиды похожи на рений, т.к. в восстановительной среде рений, как и платиноиды, тоже является сидерофилом, а радиогенный изотоп ^{187}Os порождается изотопом ^{187}Re . На этом основании они допускают, что некоторая часть осмия генетически связана с рением, и потому не случайно, что некоторые сульфидоносные черные сланцы, обогащенные рением, одновременно богаты платиноидами. В качестве примера приводится германский Купфершифер (Юдович, Кетрис, 1994). Здесь уместно вспомнить предположение О.Е.Звягинцева о том, что "в кристаллохимическом отношении сульфиды Re, Pt и Pd

образуют смешанные кристаллические структуры и могут входить в кристаллическую решетку молибденового блеска".

Все вышеизложенное свидетельствует о том, что среди рудных формаций Армении, кроме платиносодержащей хромитовой (дунит-гарцбургитовой), перспективными объектами исследований могут стать месторождения медно-молибденовой формации, а из них первоочередными – Каджаран и Агарак. Это – новая и принципиальная постановка вопроса, перспективы которой объясняются тем, что достигнутые производственные мощности Зангезурского ММК дадут возможность в процессе большеобъемной добычи поставить вопрос об организации попутного извлечения металлов платиновой группы как при комплексном металлургическом переделе, так и посредством создания автономных специализированных цехов по их доизвлечению.

Обработка имеющегося фактического материала по разведке Каджаранского месторождения дала нам возможность на основании данных групповых анализов и технологических показателей подсчитать более 130т прогнозных ресурсов МПГ, что сопоставимо с эксплуатируемыми месторождениями США, Канады, Колумбии, где в промышленных рудах содержание МПГ составляет от 5 до 400-800мг/т. Отметим, что в меднопорфировых месторождениях США (Клаймакс и др.) их запасы составляют около 150т, что обеспечивает получение около 1т платины и палладия в год 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 сотни тысяч долл. США.

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. Аналогичная проблема имеется и в других странах, например, в России. В золотосодержащем гравиконцентрате Горевского золотополиметаллического месторождения (Енисейский край, левый берег р.Ангара) установлены платина (7г/т), палладий (3,1г/т) и родий (0,7г/т). Ежегодно 10000т

концентрата этого предприятия поставляется на экспорт, т.е. каждый год из России с горевским концентратом уходит около 100кг платиноидов на общую сумму свыше 3 млн.долл., т.к. не разработана технология извлечения МПГ из платиносодержащих золоторудных месторождений в черносланцевых комплексах (Додин и др., 2001; Сазонов и др., 1997). Другим наглядным примером являются платиноносные железисто-кремнистые формации Украинского щита, представленные железными рудами, железистыми кварцитами и сопряженными с ними сланцами и другими породами, обрабатываемыми в больших количествах в Кривбассе и Приднепровье (Кулиш и др., 1998). В Приднепровье железорудные образования содержат до 14г/т МПГ ($Pd > Pt$) и до 1г/т Au. Среднее содержание – в пределах 0,1-0,23г/т. Здесь платиноиды ассоциируют с пиритом, пирротитом, марказитом, халькопиритом, арсенопиритом. Такие же содержания МПГ (до 3г/т) устанавливаются в железистых кварцитах Криворожья. В сланцах различного состава (талковых, термолитовых) по гипербазитам содержатся до 0,4г/т МПГ при наличии самостоятельных минеральных форм – платины, поликсена, палладия, невьянскита, иридомина и др. В древней коре выветривания мафит-ультрамафитов криворожской серии в терригенно-карбонатных железистых образованиях содержание МПГ составляет 0,5г/т. Интересно отметить, что огромные объемы хвостов передела железных руд Кривбасса в отношении платиноносности не изучены. Д.А.Додин и соавторы выражают полную уверенность, что "получение МПГ и попутных золота и серебра при добыче и переработке железных руд и сопряженных с ними пород абсолютно вероятно" (Додин и др., 2001). Безвозмездно теряется огромный экономический и валютный потенциал.

В другом случае экономический потенциал минерального сырья используется эффективно. Месторождение медно-никелевых руд района Садбери (Канада) является важным источником золота и платиноидов, несмотря на их низкие содержания. Их извлечение экономически оправдано в связи с большими объемами производства. Среднее содержание никеля в рудах изменяется от 0,7 до 1,5%, меди – от 0,8 до 1,9%, кобальта – от 0,9 до 1,2%, при содержании золота – 0,1 г/т, серебра – 4,2г/т и МПГ – 0,4г/т. С учетом

огромных запасов руды и ее высокоэффективной переработки, попутно извлекаемые золото, серебро, платиноиды, селен и теллур составляют весьма существенную долю получаемой прибыли (11,7%). Общие запасы золота в месторождениях этого района оцениваются в 42т, серебра – в 1785т и МПГ – в 200т.

Основным источником получения платины и палладия в США являются месторождения меди и золота. Содержание МПГ на этих месторождениях невысокое – в медной руде не более 5мг/т. Промышленные запасы МПГ в бедных рудах 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 в Армении имеются только на Зангезурском ММК.

Результаты наших исследований убедительно показывают, что для Армении перспективной на платиноиды на данной стадии изученности геологических формаций является медно-молибденовая формация как по содержанию, так и по масштабам и техническим возможностям попутного их извлечения. По качеству сырья, благоприятным горнотехническим условиям отработки и простой технологической схемой обогащения с медно-молибденовой формацией может конкурировать вновь выявленная нами золото-платиносодержащая терригенно-углесланцевая формация.

Железородная формация. В составе платиносодержащих рудных формаций Армении впервые выделяется прогнозная – железородная – формация.

В настоящее время у нас нет достоверных данных по этой формации, однако имеющийся литературный материал по другим регионам мира дает нам основание по аналогии прогнозировать эту формацию как возможно платиносодержащую и планировать проведение целенаправленных аналитических работ и минералогическо-геохимических исследований.

1. Титаномагнетитовая в габбро-пироксенитах и редкоземельно-апатит-магнетитовая в андезито-дацитах (Сваранц, Камакар, Абовян). Собственно магматические (гистеромагматические) титаномагнетитовые месторождения Армении расположены в ультра-

основных и основных породах верхнеэоцен-олигоценового комплекса (Сваранц, Камакар). Гидротермально-метасоматическое редкоземельно-апатит-магнетитовое месторождение Абовян расположено в андезитах и андезито-дацитах экструзивно-эффузивного комплекса плиоцена. По данным пробирного анализа, в рудах Сваранцкого месторождения установлены благородные металлы в следующих содержаниях (г/т): Au – 0,1-0,14 (в отдельных случаях – 0,4г/т); Ag – 2,2-3,2; Pt – 0,02 (Уралмеханобр, 1961). Формы нахождения благородных металлов, а также их геохимия не изучены. Ведущими типами месторождений-аналогов этой подформации являются Качканарское-Гусевогорское (Урал, РФ), Пудожгорское и Койкаро-Святнаволоцкое (Карелия, РФ) титаномагнетитовые и редкоземельно-апатит-магнетитовые месторождения Ковдор (Кола, РФ) и Палабор (ЮАР). Геотипом платиносодержащей ванадий-титаномагнетитовой подформации является крупное Чинейское месторождение (БАМ, РФ), связанное с одноименным массивом габбро.

2. Золото-железистая – золото-гематитовая (скарновая, контактово-метасоматическая) в габбро-диоритах, метасоматических сланцах, андезитах и андезито-дацитах (Раздан, месторождения бассейнов р.р. Мармарик, Кохб, Марц и др.). Формация скарновых (контактово-метасоматических) железных (магнетитовых) руд приурочена к контакту крупных гранитоидных массивов, преимущественно субщелочного и щелочноземельного составов среднеэоцен-олигоценового возраста с карбонатными и вулканогенно-терригенно-карбонатными породами и метаморфическими сланцами. За последние десятилетия получены интересные данные о золотонности и редкометалльности (редкоземельности) руд месторождений известково-скарнового типа. Кроме того, установлены явные критерии возможной их платиноносности. С этой точки зрения наиболее перспективны Разданское, Ахавнадзорское, Анкаванское (Мармарикская группа), Кохбское, Карцахское, Мисханское (Кохбская группа), Сарнахпюрское, Соткское, Ахнидзорское (Назарсарская группа), Базумское и ряд месторождений Зангезура. Прямых рудотипов-аналогов Разданское месторождение не имеет, однако наиболее близко к нему стоят скарновые месторождения алтае-

саянского типа (Таштагольское, Синюхинское и др., РФ). Следует учесть, что при промышленном освоении Разданского редкоземельно-золото-магнетитового месторождения извлекаемая ценность из руд будет значительно выше в связи с содержаниями Au, Ag и МПП с ожидаемыми запасами в несколько десятков тонн, а также содержаниями редких земель в изоморфной примеси с основными рудообразующими минералами (93-2870г/т). Аналогичные платиносодержащие известково-скарновые магнетитовые месторождения известны в Кыргызстане, Узбекистане и на Украине. В Кыргызстане платиносодержащее оруденение связано со скарнами кугуте-герекского типа.

3. Титаномагнетитовые песчаники (Агарцин, Гетик, Лалвар, Вайк). Стратиформные (стратифицированные) месторождения в терригенно-карбонатных отложениях или месторождения песчаникового типа имеют широкое распространение. Крупные месторождения этого типа известны в Северной Америке, в западной Аргентине, в Нигерии, в пределах Средне-Чешского и Центрального Французского срединных массивов, в Мексике, Австралии, Италии, бывшей Югославии, Венгрии, Японии. В странах СНГ стратифицированные месторождения песчаникового типа представлены крупными объектами, а также многочисленными мелкими месторождениями и рудопоявлениями в пестроцветных формациях различных возрастов. Основными геотипами этой подформации являются Удокан, Красное и Бурпала в метаморфизованных образованиях нижнего протерозоя в Восточной Сибири (Алданский щит), а также Жезказган в карбоновых отложениях Казахстана.

2.4.2. Платиноносность нерудных формаций

Имеющийся к настоящему времени фактический материал дает нам основание впервые выделить две нерудные формации, перспективные на редкие и благородные металлы:

1. Черносланцевая – терригенно-карбонатно-туфогенно-углеродистая формация (терригенно-углесланцевая).

2. Формация новейших вулканических титаномагнетитовых пемзовых песков, шлаков и туфов.

Терригенно-углесланцевые комплексы имеют широкое распространение в Армении. За прошедшее столетие геологоразведочными работами опойсковано и разведано 10 крупных месторождений углей и горючих сланцев, однако в связи с их низким качеством (высокозольностью и низкой теплотворностью) эти объекты оценены как неперспективные. Сегодня это «мертвые» объекты. Выделяются фаунистически датированных 6 комплексов: верхнетриасовый (Джерманис), батский (Иджеван), эоценовый (Шамут, Антарамут, Мецаван), олигоценовый (Дилижан, Бадиван, Джаджур, Сисианская группа, Воротан), верхнемиоценовый (Маисян, Абовянская группа – Арамус, Аван, Дзорахпюр), плиоценовый (Нор-Аревик, Варденик, Степанаван). Возраст месторождений Варденик и Степанаван датируется условно. Наши исследования показали, что все известные крупные месторождения являются металлоносными в различной степени, и в первую очередь, по содержанию промышленных концентраций благородных металлов – Au, Ag, Pt и Pd (МПГ), по аналогии с черносланцевыми геотипами мира.

Наряду с благородными металлами в армянских углесланцевых комплексах установлены редкие, цветные и черные металлы, которые значительно повышают ценность сырья. Химическими анализами установлены промышленные содержания Fe, Ti, Mo. Спектральными анализами установлены Be, Cr, Cu, Ga, Mn, Nb, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Zr и др. элементы. По единичным пробам установлены содержания урана и тория, что требует особых исследований. Золото и серебро представлены в основном в свободном виде (50%) и в сростках с сульфидами. Платиноиды представлены поликсомом, камаситом, купроплатиной, ферроплатиной и редко в самородном виде. Характерна изоморфная связь МПГ с железом: наблюдаются твердые растворы Pt-Fe-Cu. Рудные минералы представлены пиритом, магнетитом, гематитом, сфалеритом, самородной медью и железом, халькопиритом, а нерудные – преимущественно кварцем, карбонатами, гипсом, полевыми шпатами, серицитом и др.

Содержание металлов платиновой группы в черносланцевых комплексах (терригенно-углесланцевых отложениях) Арме-

нии колеблются в широких пределах. По данным пробирно-атомно-абсорбционного анализа (ЦНИГРИ, Москва, 2002) среднее содержание платиноидов составляет (мг/т): платины – от 20-60 до 250, палладия – от 20-80 до 140-390, при сумме МПГ – от 40-120 до 200-630 (табл. 1.28). Промышленные технологические исследования, проведенные на Айгедзорской золотоизвлекательной фабрике (с.Айгедзор, Сюник) фирмы Сипан-1 и опытно-промышленной установке фирмы АССАТ (г.Масис) на пробах весом от 5-35 до 750 тонн по схеме гравитация и флотация, показали возможность получения кондиционных золотосодержащих концентратов, а при металлургическом переделе малых проб в Горно-металлургическом институте и НПЗАО “Арев” – чистых металлов. В гравиконцентра-тах содержание золота составило от 10 до 20г/т, серебра – в пределах 50-100г/т, а в флотоконцентра-тах – золота – 14-25г/т, серебра – до 600-1500г/т. Содержание платиноидов в концентратах составило от 10 до 40г/т. В хвостах промышленных испытаний содержание золота составило от 0,4-0,6 до 1,6-3,4г/т, а серебра – от 12 до 35г/т. По платиноидам пока нет данных.

Для сравнения отметим, что в медистых сланцах (Мансфельд, Германия) содержание МПГ составляет (мг/т): Pt – 50, Pd – 20, Ir – 40, Os – 30, Rh – 2 и Ru – 3, при сумме МПГ – 140,5, в уг-листых сланцах среднее содержание МПГ составляет (мг/т): Pt – 37, Pd – 50, Rh – 8, Ru – 40, при сумме 135,0, в песчаниках установ-лены содержания Pt в пределах 7-200мг/т, а в углях: Pt – до 100мг/т, Pd – 20мг/т, Os и Ir – до 500мг/т.

Потенциально ценные концентрации благородных металлов в товарных углях и технологических продуктах угледобывающих и углеобогачительных предприятий России установлены (мг/т): Au – 50-300, Pt – 30-220 и Pd – 10-39 (Жаров, Мейтов, Шарова, 1996). По установленным “браковочным кондициям” наиболее перспективны на золото Подмосковский (шахты – Ликовская №9, Белковская и Майская) и Кизилковский (шахта Ключевская, Урал) бассейны, на золото и серебро – шахты Южная и разрез Черниговский Кузбасса, а на платину и палладий – угольные шахты и разрезы Приморского края.

**Содержание платиноидов в углях и технологических продуктах
руд месторождений Армении**

(результаты пробирно-атомно-абсорбционного анализа,
г.Москва, ЦНИГРИ, 2002г.)

N/N n/n	Месторождение	Номер пробы	Номер анализа	Материал пробы	Содержание, мг/т		
					Pt	Pd	ΣМПГ
1	Шамутское	Ш-19	51	уголь	20	20	40
2	Шамутское	Ш-28	52	чешуйчатый углистый сланец	250	380	630
3	Шамутское	Ш-кф	53	концентрат флотации	60	60	120
4	Иджеванское	И-ТП-1	54	уголь	20	20	40
5	Иджеванское	И-ТП-2	55	уголь	20	20	40
6	Антарамутское	К-20/5	56	уголь	20	20	40
7	Джаджурское	Дж-1	57	блестящий уголь	20	82	102
8	Джаджурское	Дж-2	58	матовый уголь	20	20	40
9	Нор-Аревикское	Ар-1	59	черные углистые сланцы	20	24	44
10	Нор-Аревикское	Ар-2	60	битуминозные черные углистые сланцы	20	25	45
11	Джерманисское	Дс-5	61	пески	20	22	42
12	Джерманисское	Дс-14	62	угли	60	140	200
13	Тергерасарское	Т-Гк	61	гравиконцентрат сульфидных руд	60	60	120
14	Каджаранское	К-Мо	64	молибденовый концентрат	140	190	330
15	Талин-Агаракское	ТА-1-М	65	новейшие вулканические пески	20	56	76

Наиболее крупными золото-платиносодержащими месторождениями черносланцевой формации являются геотипы: онежский, тимской, таймырский, наталкинский, сухоложский, карлинский. К этой формации относятся такие гиганты, как Мурунтау (Узбекистан), Карлин (Невада, США), Ашанти (Гана), Кумтор (Кыргызстан), Олимпиада (Красноярский кр., РФ), Майское (Чукотка, РФ), Нежданинское (Якутия, РФ), Наталка (Кольма, РФ) и др. Среди промышленных руд России благородные металлы в черносланцевых комплексах занимают по запасам 50-70%, а по добыче около 40%. Содержание платиноидов в промышленных рудах в ведущих геотипах составляют (г/т): тимской тип (Тимское, Яковлевское, Михайловское) – платина – 0,13-0,68, золото – 1,3-2,9; таймырский тип (Жильное, о.Большевик, архипелаг Северная Земля) – Pt – >0,48; Pd – 1,91-2,6; Rh – 0,07-23; Ru – 0,069-0,77; сухоложский тип (Наталка, Майское, Олимпиада, Сухой Лог, Нежданинское, Мурунтау, Кумтор): Майское – Pt – 0,4-0,5; Pd – 0,6; Au – 0,3-2,4; Сухой Лог – Pt – 0,91-1,17; Мурунтау (субпластовые руды) – Au – 0,3-3; Pt – 0,01-0,08; штокверковые руды – Au – 3-2,6; Pd – 0,98; Кумтор (субпластовые руды) – Au – 4,26; Pt – 1,06; Pd – 2,46; штокверковые руды – Au – 7,1; Pt – 1,21; Pd – 3,01. Сравнительный анализ приведенных данных по золото-платиноносности (благороднометалльности) ведущих промышленных черносланцевых комплексов мира с армянскими дает основание говорить о возможной перспективности последних.

Выше мы уже отметили, а здесь считаем нужным повторить, что этот новый для Армении вид рудного сырья может составить серьезную конкуренцию золоторудным и платиносодержащим рудным формациям. По нашей предварительной оценке, при эффективном использовании потенциальных ресурсов терригенно-углесланцевых комплексов республики разведанные общие запасы золота могут быть увеличены многократно, а платиноиды – взяты на баланс, в результате чего Армения займет одно из ведущих мест среди крупнейших золоторудных (платиносодержащих) провинций мира.

Золото-платиносодержащим сырьем XXI века для Армении могут стать новейшие (0,5-0,7 Ма) **вулканические титаномагне-**

титовые пемзовые пески, шлаки и туфы массива г.Арагац и других регионов, в которых содержание золота варьирует в пределах 0,4-8 г/т, серебра – 0,8-28,4 г/т, платины – 0,02-0,05 г/т, а палладия – 0,056-0,1 г/т. Подробное описание благороднометалльности этой формации приводится в главе 1.3.

Раздел II. РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ АРМЕНИИ НА РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ

Редкие элементы – это "такие металлы и неметаллы, которые по сравнению с широко распространенными элементами принимают весьма незначительное участие в строении земной коры"; их общее содержание немного превышает десятую долю процента от веса земной коры (Геохимия редких металлов, 1964г.). По Периодической таблице Д.И.Менделеева редкие элементы подразделяются на три группы: *сидерофильные* – Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt; *халькофильные* – Cd, Ga, In, Tl, Ge, Se, Te, Re, Bi и, наконец, *литофильные* – Li, Cs, Be, Sr, V, Y, Yb, Ce, Zr, Ta, Nb, Sc, Rb, TR, La, Hf, U, Th (трансурановые элементы) (Магакьян, 1971). Однако такая группировка редких элементов принимается не однозначно. Отметим, что по данным некоторых исследователей, Re и Bi не относятся к халькофильным, а Re относится к литофильным элементам; к сидерофильной группе относятся не МПГ, а Sc, V и т.д.

По технической классификации редкие элементы делятся на 5 групп: легкие, тугоплавкие, рассеянные, редкоземельные, лантаноиды и радиоактивные (Зеликман, 1975). Выделенные группы, по классификации А.Н.Зеликмана, также носят условный характер, т.к. некоторые элементы одновременно могут относиться к разным группам. Так, например, рубидий и цезий относятся к легким и рассеянными элементами; рений – типичный рассеянный и тугоплавкий металл; ванадий и вольфрам – типичные тугоплавкие металлы – одновременно являются рассеянными; тугоплавкий титан относится к легким и т.д. Кроме того, в геологической литературе часто используется понятие "редкие и рассеянные элементы", что, вполне естественно, неприемлемо. Важное значение в рудообразовании имеют рассеянные элементы. Из них германий, селен и теллур отнесены к металлам условно, т.к. в отличие от металлов, они являются полупроводниками. Рассеянные элементы в природе встречаются главным образом в виде примесей в различных минералах и извлекаются попутно из руд других металлов или полезных ископаемых (углей, солей, фосфоритов и др.). Только в отдельных случаях рассеянные элементы Sc, Tl, Ge, V, Se, Te и Cd могут обра-

зовывать свои собственные минералы. Формы вхождения рассеянных элементов в другие минералы различны: изоморфное замещение (гафний в цирконовых минералах), микроминералы (теллуриды в пирите), сорбированная примесь, поглощенная поверхностью аморфных минералов (ванадий в монтмориллоните, селен в лимоните), образование металлоорганических соединений (в углях), расположение в дефектах кристаллических решеток (Щербина, 1975).

Отнесение элементов к группе редких, как видим, носит в определенной степени условный и, возможно, временный характер. С течением времени список редких элементов менялся, и нет сомнения, что будет изменяться и впредь. Раньше к редким относились ртуть, вольфрам, молибден, олово и др., но, поскольку выявлены их крупные месторождения, в настоящее время к редким они более не относятся. Кроме того, в некоторых случаях содержание этих элементов в горных породах (рудах) значительно выше, чем содержание других малораспространенных элементов. Например, содержание рубидия (0,015%) в земной коре значительно больше содержания свинца (0,0016%), а скандия (0,0013%) – больше, чем мышьяка (0,0002%), но, тем не менее, рубидий и скандий являются типичными редкими элементами.

Институт минералогии, геохимии и кристаллографии редких элементов РФ (г.Москва, ИМГРЭ, 1964) рекомендует нижеследующий список редких элементов: литий, рубидий, цезий, бериллий, стронций, скандий, иттрий, лантаноиды, цирконий, гафний, ниобий, тантал, кадмий, галлий, индий, таллий, германий, селен, теллур, рений. И.Г.Магакьян (1971) к этому добавил бор, но исключил из списка стронций. С учетом особенностей геохимии редких металлов в рудных формациях Армении и появлением новых данных, список редких дополнен нами висмутом, радиогенным осмием, платиноидами и ванадием, а также ураном и торием.

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, зо-

лотосодержащих и полиметаллических концентратах содержатся редкие металлы промышленного значения, частично учтенные и неучтенные в госбалансе республики. Они пользуются постоянно повышенным спросом на мировом рынке. В ведущих развитых странах большинство из них (радиоактивный 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 армянских 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 хорошо (Магакьян, 1957; Магакьян и др., 1963, 1964, 1972). Генетическая классификация, физико-оптические и химические справочные данные и диагностические признаки редких металлов детально описаны в работе И.Г.Магакьяна (1971), и поэтому эти вопросы нами не рассматриваются. Наряду с этим следует учесть, что научно-технологическая база для организации редкометалльного производства в республике пока не создана. К тому же выявлено много новых стратегических металлов, имеющих большой экономический потенциал и пользующихся повышенным спросом в космической и ядерной технике.

Настоящая работа имеет целью восполнить этот пробел на первом этапе. Здесь приводятся новые материалы по рассеянным и редкоземельным элементам, впервые рассматриваются формационно-технологические возможности их промышленного освоения.

Широкое применение редких металлов в оборонной, аэрокосмической промышленности и в различных областях народного хозяйства обусловило научно-техническую революцию и способствовало развитию новых отраслей современной науки и техники – солнечной энергетики, сверхскоростного транспорта на магнитной подушке, инфракрасной оптики, оптоэлектроники, лазеров, а также сверхмагнитных, сверхлегких, сверхтвердых, сверхжаростойких и высокопрочных конструктивных материалов.

По образному выражению профессора В.Е.Бойцова, "редкие металлы – это своего рода **в и т а м и н ы** промышленности. И

подобно тому, как живой организм не может полноценно развиваться без микропрограммовых количеств витаминов, так и передовая современная промышленность не возможна без редких элементов" (Бойцов и др., 1999). Поэтому в настоящее время промышленно-экономический уровень развития и научно-технического прогресса современных государств определяется не масштабами производства чугуна и стали, а производством и использованием редких металлов. В ведущих развитых странах мира за последние годы построены десятки химико-металлургических заводов с увеличением производства редких металлов в десятки раз.

Армении предстоит длительный и трудный процесс на пути к созданию редкометалльного производства и комплексного использования минерально-сырьевых ресурсов. Восстановление горнорудной промышленности в республике является важной предпосылкой для успешной и полной реализации разработанных нами программ – "Молибден", "Ремет" и "Ремо".

Глава 1. РЕДКОМЕТАЛЛЬНОСТЬ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ

1.1. Состояние минерально-сырьевой базы

Повышение комплексного использования минерально-сырьевой базы и продуктов технологического передела - это очень сложная и многогранная проблема. Она обоснована геолого-формационной принадлежностью месторождения, аналитико-технологической изученностью руд и продуктов их передела, а также народнохозяйственной (конъюнктурно-отраслевой) целесообразностью, т.е. эта проблема является формационно-технологической и экономической. Исходя из этого выделяются три основные задачи:

1. Геолого-экономическая переоценка месторождений с целью ликвидации последствий конъюнктурно-отраслевого подхода к рудам и необоснованной "чистки" номенклатуры полезных компонентов из госбаланса.

2. Разработка оптимальных программ по созданию завершеного (или локального) металлургического цикла с целью извлечения всех учтенных в госбалансе полезных компонентов из технологических продуктов горнорудных предприятий Армении.

3. Повышение достоверности минералого-геохимических и технологических, а также точности аналитических исследований с целью обнаружения новых полезных компонентов в рудах и продуктах технологического передела и объективной оценки их фактического экономического потенциала.

Конъюнктурно-отраслевые подходы особенно сильно отразились в советское время на золотополиметаллических месторождениях в связи с наличием свободных мощностей на Араратской золотоизвлекательной фабрике. Разведываемые золотополиметаллические месторождения принудительно переоценивались как золоторудные в соответствии с действующей базовой технологической схемой АрЗИФ, при этом безвозвратно терялось большое количество промышленно ценных редких полезных компонентов. Так, Азатекское золото-свинцово-сурьмяное месторождение было переоценено как дополнительная сырьевая база АрЗИФ, с утверждением запасов золота, серебра и меди. В результате “чистки” с баланса были списаны сотни тысяч тонн сурьмы и свинца. Но этим дело не ограничилось. Во-первых, разведывающая организация не только прекратила производство анализов на попутные компоненты – свинец, мышьяк и сурьму – но и уничтожила почти всю первичную документацию по свинцово-сурьмяному орудуению. Во-вторых, предусматривалась переработка этих руд в шихте с золотосодержащими рудами Меграздорского и Соткского месторождений и поэтому, во избежание сверхнормативных содержаний “вредных примесей” – сурьмы и мышьяка в золотосодержащих концентратах – товарная руда при лабораторных исследованиях специально “разбавлялась” и, тем самым, безвозвратно терялись эти компоненты в хвостах обогащения. Техничко-экономические расчеты на основе мировых цен на цветные и благородные металлы показывают, что с сурьмой условно потеряно более половины ценности руд Азатекского месторождения. Та же участь постигла и Личквас-Тейское месторождение: ГКЗ СССР утвердила только запасы золота, серебра, меди, теллура и висмута, а запасы серы – 240,3 тыс.т, цинка – 23,6 тыс.т, свинца – 15,1 тыс.т, кадмия – 362,4т и селена – 15,1т по категории С₂ списала с баланса. Была проведена очередная “чистка” госбаланса и значительно сокращен экономический потенциал

месторождения. Кроме того, в связи с высоким содержанием мышьяка (3,8%) во флотоконцентрате, предусматривалось усреднение содержания “вредного” компонента при шихтовке с рудами, перерабатываемыми на АрЗИФ. Но, поскольку “разбавляемые” руды бедны полиметаллами, то заодно с мышьяком разбавлялись содержания свинца и цинка, т.к. получение селективных концентратов не предусматривалось. За последние годы нами проведена коренная геолого-экономическая переоценка Азатекского месторождения с генеральным подсчетом запасов. На балансе восстановлены запасы селена, теллура, висмута, кадмия, галлия, серы, мышьяка, свинца, цинка и сурьмы. К сожалению, более 10% запасов сурьмы, числящихся на балансе месторождения на 1.01.1974г., набрать не удалось. Проведена также коренная переоценка Личквз-Тейского золотополиметаллического месторождения. Для решения проблемы переработки полиметаллических руд необходимо строительство полиметаллических секций по примеру Капанской ОФ, где на отдельной секции перерабатываются руды Шаумянского золотополиметаллического месторождения с получением селективных концентратов.

Для полной ликвидации последствий конъюнктурно-отраслевого подхода к сырьевым ресурсам и необоснованной “чистки” госбаланса, необходима программа по коренной переоценке всех рудных месторождений республики. В настоящее время проводится переоценка эксплуатируемых месторождений Армении, однако без учета комплексного использования сырья, т.е. конъюктурно-отраслевой подход **заменен рыночным**, а госконтроль не имеет существенных рычагов.

Комплексное использование товарной продукции горнорудных предприятий республики имеет важное народнохозяйственное значение, т.к. кроме основных полезных компонентов (медь, молибден, золото, серебро, свинец, цинк), в медных, молибденовых, золотосодержащих и полиметаллических концентратах имеются промышленные содержания ценных редких металлов. На госбалансе республики числятся рений, селен, теллур, висмут, галлий,

**Ученные в госбалансе РА запасы редких элементов в рудах
месторождений различных формаций
(на 01.01.2000г.)**

N/N n/n	Форма- ция	Месторож- дение	Кате- гория запасов	Элементы								
				Se	Re	Te	In	Bi	Cd	Ga	Ta	Ge
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	Медно- молиб- деновая	<i>Каджаранское,</i> в контуре первоочередной отработки	V+C ₁	550,3	72,2	312,0	-	388,9	-	-	-	-
			баланс.	1,8	0,18	1,27	-	1,59	-	-	-	-
			забаланс.	38,7	3,6	32,3	-	7,5	-	-	-	-
		в проектном контуре отработки, за пределами первоочередной отработки	V+C ₁	23993	270,8	2056,5	-	3125,1	-	-	-	-
			баланс.	1,59	0,18	1,36	-	2,06	-	-	-	-
			C ₂	31,8	3,4	28,6	-	35,0	-	-	-	-
		за проектным контуром карьера	баланс.	1,49	0,16	1,34	-	1,64	-	-	-	-
			C ₂	188,3	15,9	169,0	-	259,6	-	-	-	-
			баланс.	1,45	0,12	1,30	-	2,0	-	-	-	-
		2.	<i>Агаракское</i>	V+C ₁	баланс.	155,3	10,9	27,4	-	90,3	-	-
забаланс.	3,41				0,24	0,6	-	1,98	-	-	-	-
забаланс.	202,0				13,8	34,6	-	121,3	-	-	-	-
бал. молибденит забал. молибденит	баланс.			2,94	0,2	0,5	-	1,76	-	-	-	-
	забаланс.			-	10,8	-	-	-	-	-	-	-
	забаланс.			-	524,35	-	-	-	-	-	-	-
	забаланс.			-	13,0	-	-	-	-	-	-	-
забаланс.	-	528,4	-	-	-	-	-	-	-			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
3.		<i>Техутское</i>	V+C ₁ +C ₂ баланс.	-	<u>44,8</u> 0,1	-	-	-	-	-	-	-	
4.	Медно- рудная	<i>Капанское</i>	V+C ₁ баланс.	<u>100,7</u> 17,91	-	<u>69,5</u> 12,36	-	-	-	-	-	-	
			C ₂ забаланс.	<u>52,1</u> 23,6	-	<u>29,0</u> 13,13	-	-	-	-	-	-	-
5.			<i>Шамдугское</i>	C ₂ баланс.	<u>30,1</u> 10,54	-	<u>9,0</u> 4,2	-	-	-	-	-	-
		халько- пирит		<u>11,3</u> 35,1	-	<u>6,1</u> 25,4	-	-	-	-	-	-	
6.		<i>Алавердское</i>		C ₂ баланс.	<u>293,4</u> 52,11	-	<u>459,0</u> 83,91	-	<u>1144,0</u> 209,14	-	-	-	-
7.			<i>Личкское, (медные руды)</i> в контуре карьера										
		V+C ₁ баланс.		<u>35,0</u> 3,51	-	<u>20,3</u> 2,04	-	<u>80,7</u> 8,1	-	-	-	-	-
		C ₁ +C ₂		<u>52,7</u> 3,15	<u>0,29</u> 0,2	<u>34,5</u> 2,06	-	<u>136,2</u> 3,14	-	-	-	-	-
		забаланс.		<u>9,3</u> 2,03	-	<u>6,2</u> 1,35	-	<u>26,9</u> 5,87	-	-	-	-	-
		за контуром карьера		забаланс.	<u>36,4</u> 1,52	-	<u>30,4</u> 1,3	-	<u>175,4</u> 7,33	-	-	-	-
8.	Золото- рудная	<i>Соткское</i>		V+C ₁ баланс.	<u>16,8</u> 2,3	-	<u>80,9</u> 11,1	-	-	-	-	-	-
			C ₂	<u>22,9</u> 3,62	-	<u>120,4</u> 19,05	-	-	-	-	-	-	

Продолжение 2 таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
9.		<i>Меградзорское</i>	В+С ₁ баланс.	-	-	<u>24,9</u> 21,37	-	-	-	-	-	-	
С ₂			-	-	<u>7,1</u> 26,39	-	-	-	-	-	-	-	
забаланс.			-	-	<u>0,4</u> 15,38	-	-	-	-	-	-	-	-
10.		<i>Тертерасарское</i>	С ₂ баланс.	-	-	<u>2,5</u> 8,17	-	<u>12,7</u> 41,5	-	-	-	-	
11.			<i>Личкваз-Тейское</i>	С ₂ баланс.	-	-	<u>29,5</u> 8,48	-	<u>128,6</u> 36,98	-	-	-	-
12.	Поли- металли- ческая	<i>Шаумянское</i>		С ₁ баланс.	<u>196,7</u> 13,56	-	<u>994,6</u> 68,39	<u>159,0</u> 10,96	-	<u>3881,8</u> 270,0	<u>240,9</u> 16,61	-	-
			С ₂	<u>10,5</u> 10,31	-	<u>73,0</u> 71,7	<u>3,3</u> 3,2	-	<u>301,0</u> 280,0	<u>18,0</u> 17,68	-	-	-
			забаланс.	-	-	-	-	-	-	<u>2,6</u> 37,0	-	-	-
13.		<i>Арманисское</i>	В+С ₁ баланс.	<u>69,3</u> 4,73	-	-	-	<u>83,0</u> 21,92	<u>609,6</u> 160,0	-	-	-	
			С ₂	-	-	-	-	-	<u>1748,6</u> 160,0	-	-	-	-
14.		<i>Ахтальское</i>	В+С ₁ баланс.	-	-	-	-	-	<u>341,0</u> 730,0	-	-	-	
			С ₂	<u>28,5</u> 22,04	-	<u>5,1</u> 3,94	<u>9,7</u> 7,15	-	<u>303,8</u> 370,8	-	<u>21,2</u> 16,4	<u>9,2</u> 5,75	-

Баланс редких элементов в продуктах обогащения руд эксплуатируемых и подготавливаемых к промышленному освоению месторождений Армении

N/N п/п	Форма- ция	Место- рождение	Руды, продукты обогащения	Содержание элементов, г/т									
				Re	Se	Te	Cd	Bi	Ge	In	Ga		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1.	Медно- молибде- новая	Каджаран	Медно-молибденовая руда	0,28	1,95	1,3	-	2,37	1,44	<5,0	-		
			Продукты обогащения:										
			медный концентрат	<u>0,41</u> 1,6	<u>120,0</u> 56,8	<u>45,0</u> 48,8	-	<u>84,0</u> 49,4	1,0	<5,0	-		
			молибденовый концентрат	<u>265,0</u> 81,1	<u>369,0</u> 13,7	<u>35,0</u> 3,0	-	<u>77,0</u> 3,6	<1,0	<5,0	-		
			хвосты	<u>0,05</u> 17,3	<u>0,7</u> 29,5	<u>0,5</u> 48,2	-	<u>0,9</u> 47,0	1,0	<5,0	-		
			Медно-молибденовая руда	0,30	2,39	0,94	-	5,0	1,0	-	-		
			Продукты обогащения:										
			медный концентрат	<u>0,85</u> 9,2	<u>121,0</u> 35,05	<u>17,5</u> 15,90	-	<u>80,8</u> 23,4	<u>1,0</u> 2,18	-	-		
		молибденовый концентрат	<u>417</u> 63,0	<u>118,5</u> 0,75	<u>24,3</u> 0,51	-	<u>60,8</u> 0,32	<u>5,0</u> 0,22	-	-			
		хвосты	<u>0,086</u> 27,8	<u>2,71</u> 64,2	<u>1,6</u> 83,59	-	<u>4,4</u> 76,28	<u>1,0</u> 97,6	-	-			
		2.	Медно- рудная	Капан	Медная руда	-	6,9	6,1	-	-	-	-	-
					Продукты обогащения:								
					медный концентрат	-	<u>53,5</u> 61,5	<u>48,3</u> 63,7	-	-	-	-	-
					хвосты	-	<u>3,4</u> 38,5	<u>3,0</u> 36,3	-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		<i>Личк</i>	Медная руда	-	4,7	2,0	-	7,7	-	-	-	
			<i>Продукты обогащения:</i>									
			медный концентрат	-	<u>78,0</u> 62,0	<u>22,0</u> -	-	<u>60,6</u> 29,0	-	-	-	
			хвосты отвальные	-	<u>1,8</u> 38,0	<u>2,0</u> -	-	<u>5,7</u> 71,0	-	-	-	
3.	Золото- рудная	<i>Сотк</i>	Золотосодержащая руда	-	1,9	10,2	7,3	4,2	-	-	500	
				<i>Продукты обогащения</i> <i>Араратской ЗИФ:</i>								
				гравиконцентрат	-	14,8	313	14,8	34,9	-	-	1400
				флотоконцентрат	-	15,8	<u>893</u> 63,0	43,1	170	-	-	600
				хвосты контрольной флотации	-	1,6	3	4,2	5,2	-	-	1600
				питание сорбции	-	1,5	4,4	7,0	5,7	-	-	600
				смола 149/1	-	2,5	4,7	55,7	2,5	-	-	-
		хвосты отвальные	-	1,6	3,6	7,4	4,4	-	-	<100		
4.	Поли- металли- ческая	<i>Шаумян</i> (полупро- мышленные испытания)	Золотополиметаллическая руда	-	14,0	110	400	-	2	9	13	
				<i>Продукты обогащения:</i>								
				медный концентрат	-	<u>32</u> 5,3	<u>920</u> 19,0	<u>420</u> 2,4	-	<u>4</u> 4,6	<u>95</u> 24,3	<u>4</u> 0,7
				свинцовый концентрат	-	<u>190</u> 31,4	<u>2320</u> 48,1	<u>110</u> 0,6	-	<u>3</u> 3,4	<u>43</u> 10,9	<u>12</u> 2,1
				цинковый концентрат	-	<u>23</u> 18,6	<u>280</u> 29,0	<u>3200</u> 90,5	-	<u>7</u> 40,2	<u>36</u> 46,0	<u>66</u> 57,6
				пиритный продукт	-	<u>34</u> 24,1	<u>50</u> 4,8	<u>40</u> 1,0	-	<u>1</u> 4,1	<u>4</u> 4,1	<u>3</u> 2,3
				хвосты отвальные	-	<u>4</u> 20,6	<u>10</u> 9,1	<u>30</u> 5,5	-	<u>1,3</u> 74,7	<u>2</u> 14,7	<u>6</u> 37,7

**Содержание редких элементов в мономинералах текущей добычи
Каджаранского и Шаумянского месторождений
(Акопян А.О., 1995)**

N/N n/n	Форма- ция	Место- рождение	Минерал	Балансовые запасы, кат.	Содержание, г/т							
					Re	Se	Te	Bi	Cd	In	Ga	Ge
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	Медно- молибде- новая	<i>Каджаранское</i>	молибденит	B+C ₁ +C ₂	260,0	374,0	42,0	83,0	-	-	-	-
			халькопирит		0,48	195,0	44,0	106,0	-	-	-	-
			пирит		1,5	102,0	43,0	113,0	-	-	-	-
2.	Поли- металли- ческая	<i>Шаумянского</i>	халькопирит	C ₁ +C ₂	-	18,4	479,3	30,4	136,0	70,0	2,8	5,5
			сфалерит		-	25,2	211,6	8,8	4776,0	55,4	139,0	16,1
			галенит		-	35,7	1887,6	297,3	62,2	0,6	1,2	0,06
			пирит		-	21,8	129,3	13,8	59,8	6,4	1,5	0,007

индий, кадмий, германий, таллий (табл. II.1 – II.3). В настоящее время эти полезные компоненты в составе концентратов вывозятся за пределы республики без соответствующей компенсации.

К сожалению, научно-техническая база извлечения редких металлов в республике не подготовлена, и, вследствие этого, при организации металлургического производства ожидаются большие безвозвратные потери дорогостоящих металлов.

Анализ геологоразведочных материалов и результатов научно-исследовательских работ показывает, что кроме вышеуказанных учтенных на госбалансе запасов, в рудах и продуктах их передела содержатся многочисленные промышленно ценные неучтенные полезные компоненты, пользующиеся на мировом рынке большим спросом. Например, для руд медно-молибденовой формации – это висмут, ванадий, титан, железо, рений, селен, теллур, редкие земли, скандий, платиноиды, радиогенный осмий; для золотополиметаллических руд – германий, сурьма, мышьяк, индий, таллий, галлий, висмут, кадмий, селен, теллур (табл. II.4). В ряду неучтенных элементов особое место занимают ванадий и железо (титан). В рудах Каджаранского медно-молибденового месторождения ванадий концентрируется в магнетите, который переходит в хвосты обогащения. Это уникальное сырье не имеет аналогов в мировой практике. В полупромышленных условиях разработана эффективная технология переработки хвостов обогащения, что обеспечивает получение высококачественного ванадийсодержащего магнетитового концентрата. По результатам этих исследований нами обоснована целесообразность использования магнетитового концентрата в производстве ферромолибдена вместо дефицитной железной руды высокого качества (проект “Молибден”).

Анализ материалов производства скандия в США из железосодержащих хвостов медных руд рудника Бингем и скандийсодержащего вольфрамового концентрата медно-молибденового рудника Клаймакс, а также наши специальные аналитические исследования на скандий в ведущих лабораториях России показывают, что имеются реальные формационно-генетические предпосылки и статистические данные, подтверждающие наличие промышленных содержаний скандия в рудах (хвостах) Каджаранского мес-

Распределение редких металлов в промышленных рудных формациях Армении

Редкие металлы	Промышленные рудные формации, месторождения				
	меднорудный, серноколчеданный	медно-молибденовый	полиметаллический	золото-полиметаллический	железорудный
1	2	3	4	5	6
Re, Os, МПГ, Sc		Каджаран, Агарак Дастакерт, Айгедзор Личк Техут			
Кадмий	Капан Шамлуг Дзагидзор Анкадзор Тандзут	Каджаран	Шаумян Ахтала Армание Привольное Гладзор Мовсес	Личкваз-Тей Тергерасар Маргаовит Меградзор Сотк Азатек Какавасар	
Селен, теллур	Капан Алаверди Агви Алвард Шамлуг Тандзут Чибухли	Каджаран Агарак Дастакерт Анкаван	Шаумян Ахтала Гладзор	Азатек Какавасар Меградзор	

1	2	3	4	5	6
Висмут	Алаверди	Каджаран Агарак Личк Анкаван	Арманис Привольное Гладзор	Личкваз-Тей Тергерасар Марджан-Мазмазак Азатек, Какавасар	
Ванадий, титан, редкие земли		Каджаран Агарак			Сварани Раздан Абовян
Галлий			Шаумян Ахтала Гладзор	Марц Азатек	
Германий			Шаумян Ахтала Привольное, Мовсес Марджан-Мазмазак	Азатек Какавасар	
Индий			Шаумян Марджан-Мазмазак Агверан Ахтала	Личкваз-Тей Какавасар Азатек	
Таллий				Азатек	

торожения. По усредненным мировым ценам запасы скандия могут обеспечить существенное увеличение годовой извлекаемой ценности. Этим объясняется повышенный интерес иностранных

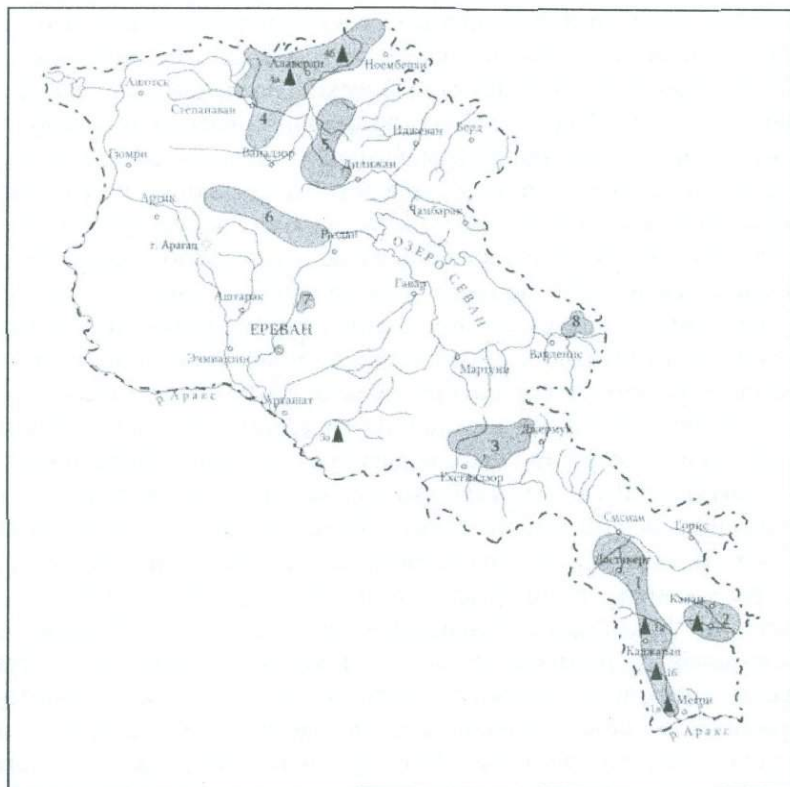


Рис. П.1 Схема расположения перспективных площадей Армении на редкометалльное промышленное оруденение

Перспективные рудные поля: 1 – Зангезурское, 2 – Капанское, 3 – Вайкское, 4 – Алавердское, 5 – Дебет-Агстевское, 6 – Мармарикское, 7 – Абовянское, 8 – Соткское. Действующие горнорудные предприятия: 1а – Каджаран, 1б – Айгедзор, 1в – Агарак, 2 – Капан, 3 – Арарат, 4а – Алаверди, 4б – Ахтала

фирм к хвостам Зангезурского комбината. Нами получены аналогичные данные также по Соткскому и Личкскому месторождениям.

Таким образом, вышеприведенные данные о некоторых неучтенных попутных компонентах свидетельствуют о том, что необходимо проведение специальных систематических минералогических и геохимических и геолого-технологических исследований руд разведываемых и эксплуатируемых месторождений цветных и благородных металлов с целью объективной оценки экономического потенциала попутных компонентов, подсчета их запасов и разработки технологии для получения чистых металлов. Следует учесть, что наиболее перспективные площади на редкоземельное оруденение располагаются в зонах влияния действующих базовых горнорудных предприятий, что имеет принципиальное значение как с точки зрения потенциальных возможностей промышленного попутного извлечения редких металлов при большеобъемных переработках, так и с социально-экономической точки зрения, обеспечивающих создание новых рабочих мест и развитие существующей инфраструктуры (рис. II.1). Отметим, что с целью повышения полноты и комплексного использования сырьевой базы цветных, благородных и редких металлов и товарной продукции горнорудных предприятий республики, нами разработаны два крупных проекта – “Ремет” и “Молибден”. Реализация проектов тесно связана с организацией в республике научно-технологической базы для металлургической переработки медных, молибденовых, золото-содержащих и полиметаллических концентратов с получением металлов высокой чистоты. Есть реальные возможности для организации небольших автономных металлургических цехов при действующих горнорудных предприятиях. Вместе с тем, будут созданы благоприятные предпосылки и надежная база для организации новых отраслей промышленности, в особенности черной металлургии, а также развития новых технологических направлений с целью освоения имеющихся запасов радиоактивного сырья.

1.2. Ресурсный потенциал редких металлов

РЕНИЙ – редкий, малораспространенный металл. По размерам в структуре ионов рений очень сходен с молибденом, а ReS_2 – с MoS_2 , чем и определяется их постоянный эндогенный парагенезис. По атомному строению и физико-химическим свойствам он сходен с осмием, в который переходит его наиболее распространенный (62,6%) природный изотоп ^{187}Re (^{187}Re - $^{187}\text{Os}+\beta$) с периодом полураспада $4,5 \times 10^{10}$ лет, остальное количество приходится на стабильный ^{75}Re . Летучесть (Re_2O_7), растворимость (ReO_4 , Re_2O_7) и водная устойчивость кислородных соединений рения способствуют его отделению от молибдена и проявлению самостоятельных минералого-геохимических особенностей в экзогенном процессе с образованием крупных концентраций. Способность рения переходить в газовую и водную фазы и одновременно значительная устойчивость некоторых его соединений определяют многообразие его природных концентраций.

Рений является характерным элементом руд медно-молибденовой формации. Он изоморфно связан с молибденитом, самостоятельные же минералы рений образует очень редко; его природные концентрации относятся к попутным. Главными минералами-концентраторами рения и основными природными источниками его попутного промышленного производства являются молибденит (гексагональный) и джезказганит*. Самые высокие концентрации рения (до 1,8%) характерны для ромбоэдрических β - MoS_2 . Степень концентрации в них рения колеблется в широких пределах и в основном зависит от типа минерализации. Высокие содержания рения статистическими исследованиями установлены в гидротермальных порфириновых месторождениях, в меньшей степени – в медьсодержащих кварц-силикатных, кварцево-жильных, грейзеновых и скарновых месторождениях. Для всех типов месторождений характерна общая тенденция: чем выше концентрация меди в рудах, тем более ренионосен молибденит.

Среднее содержание рения в рудах наиболее крупных мес-

* Джезказганит – (по м-нию Жезказган, Казахстан), сложный сульфид Re и Cu . Содержание колеблется в пределах 40-77%.

торождений мира (США, Россия, Казахстан, Монголия, Канада, Чили, Перу) варьирует от 0,02-0,05 до 0,2% при содержании в концентратах от 100-800г/т (Россия: Сора – 143г/т, Жирекен – 102г/т; США: Клаймакс, Бингем - 360г/т; Казахстан: Коунрад – 660г/т; Монголия: Эрденет – 300-700г/т) до 2200г/т (Канада).

Технологически освоены в основном ренийсодержащие медно-молибденовые (молибден-медные), медные стратиформные и молибден-урановые месторождения. В месторождениях медно-молибденовой формации сосредоточены все сырьевые ресурсы и производство рения зарубежных стран, а также 47% запасов и 15% добычи рения в странах СНГ (Сорское, Жирекенское, Коунрадское, Анюйское, Аксгурское), в США (Клаймакс, Бингем), Монголии (Эрденет), Иране (Сангун) и т.д. На медные стратиформные месторождения приходится 50% запасов и 85% добычи рения в странах СНГ. Это в основном Джезказганское и Тенгизское рудные поля Казахстана и северной Киргизии, а также в меньшей степени – медистые песчаники Донбасса и Приуралья с содержанием 0,1-7,0 и 0,05-8,0г/т соответственно. Содержание рения в рудах Джезказгана составляет в среднем 1г/т на 1% Cu, Pb и Zn. Рениевый минерал джезказганит – $(Cu, Pb, Re)S_2$, микровключения которого являются основным его носителем, довольно равномерно распределен по главным типам руд (борнит-халькозин-халькопиритовый, борнитовый, галенитовый, халькозиновый и халькопиритовый) и коррелирует с Cu, Pb, Zn и Ag, но не с Mo. Значительные ресурсы рения имеются на Предсудетском (Польша) и Мансфельдском (Германия) месторождениях. Месторождения молибден-урановой формации экзогенного типа (пластового окисления), из которых в 50-ых годах получили около 1т рения, известны в США. Содержание рения в этих рудах возрастает в зоне восстановления (вторичного сульфидного обогащения), достигая 1,4-2,4 г/т, и уменьшается до 0,004г/т в зоне окисления. Наиболее крупное U-Mo-Re месторождение (США) приурочено к нарушенной нефтеносной структуре, содержащей асфальтовый осадок (Минеральное сырье. Рений, 1998).

Пока технологически не освоены ренийсодержащие горючие сланцы, битумы и продукты фумарольной деятельности. Ре-

ниеносные высокотемпературные фумарольные концентрации – принципиально новый тип современной ренийевой минерализации, обнаруженный недавно на вулкане Кудрявый (о-в Итуруп, Курилы) в виде тонких корковых сублиматов микровыделений ReS_2 , сульфидов кадмия, свинца, висмута и молибдена в зонах фумарол и измененных ими пород. Среднее содержание рения в породах фумарол – 30г/т, при общих ресурсах – не более 1т. Предложены способы извлечения рения из парогазовой фазы фумарол (Иванов и др., 1998).

Требования, предъявляемые к содержанию рения для различных концентратов, следующие: молибденовый - 100г/т, медный – 1,5-2,5г/т, свинцовый – 3,5-5,5г/т.

Технология переработки ренийсодержащих руд, концентратов, полупродуктов на действующих предприятиях заграницы не обеспечивают достаточно высокое извлечение рения. При обогащении меднопорфировых руд в целом теряется более 50% рения, около 40% его (10т/год и более) теряется при переработке молибденовых концентратов. Из медных концентратов, производимых из руд данного типа, рений пока не извлекается. Во многих научных центрах мира проводятся исследования по усовершенствованию традиционных технологий обогащения меднопорфировых руд, разрабатывающие совершенно новые способы их переработки.

При гидрометаллургической переработке ренийсодержащего молибденового сырья молибден и рений переводятся в растворы, из которых они извлекаются традиционными способами: сорбцией, экстракцией или осаждением. К таким технологиям относятся автоклавное выщелачивание концентратов, биотехнология, электровыщелачивание и др.

Методом автоклавного выщелачивания молибденового концентрата азотной кислотой и экстракцией рения в 3 стадии из полученных растворов достигается общее извлечение рения из концентратов 93,5% ("Симоли-процесс", США). В ФРГ и Канаде той же технологией достигается извлечение рения свыше 90%.

Для переработки низкосортных труднообогатимых медно-молибденовых продуктов в США (г.Рено) предложен метод электроокисления их в биполярном электролазере с последующим

извлечением молибдена и рения по схеме сорбционно-экстракционной технологии. Извлечение рения в раствор 97%. Сквозное извлечение рения порядка 92-95%.

Технология кучного выщелачивания забалансовых и труднообогатимых меднопорфировых руд сейчас освоена и продолжает совершенствоваться. В условиях этого процесса рений, содержащийся в минералах-носителях, окисляется и выщелачивается растворами, из которых он может быть уловлен на активированном угле или ионообменных смолах.

Из биотехнологий представляет интерес разработанная фирмой Engelhard Minerals and Chemical (США) для извлечения рения из бедных растворов с помощью плесневидных грибков вида *Cladosporium Penicillinum*, *Trihoderma Black Mecillium*, *Anerobasidium*. Обогащенные рением грибки отфильтровываются, и из них получают рений. Этим же способом можно извлекать рений из промышленных сточных и природных вод (шахтные и др.), из растворов подземного и кучного выщелачивания.

На главных заводах СНГ извлечение рения осуществляется попутно с основными видами сырья (табл. II.5). Как видно из таблицы, в четырех случаях первичный технологический рениевый продукт образуется в результате переработки промежуточных продуктов молибденовых концентратов, а также медно-рениевых и свинцово-рениевых концентратов в двух случаях. В трех случаях молибденовый концентрат подвергается обжигу (Иванов, Поплавко, Малевский, 1998). На скопинском заводе АО "Металлург" потери рения в процессе обжига с отходящими газами составляют около 47%. Для снижения потерь рения с высокотемпературными газами обжига молибденовых концентратов используются цеолиты. На заводах, работающих по серно-кислотной схеме, извлечение рения достигает 70-75%. На Скопинском заводе рений выпускается в виде рениево-кислого аммония – кристаллов белого, серого и желтого цвета с массовой долей рения 69%. На Узбекском комбинате тугоплавных и жаропрочных металлов ПО "Балхашмедь" перерабатывают богатые рением (600-900г/т) молибденовые концентраты. Вскрытие молибденита здесь производят азотно-кислотной схемой и поэтому извлечение низкое. Из нитратного раствора

**Рений в исходном сырье и первичных технологических ренневых концентратах заводов СНГ
(Иванов, Поплавко, Малевский, 1998)**

<i>Завод</i>	Исходное сырье, Re-г/т	Технологическая схема, промпродукты	Первичные технологические ренневые концентраты, г/м³	Способ концентрирования рения
"Победит" (г. Владикавказ)	Mo к-т, 190-400	Обжиг, газы, очистка газа	Промывной раствор очистки газа, 200-500	Сорбция, элюирование
Скопинский завод АО "Металлург" (Россия)	Mo к-т, 100-900	Обжиг, газы, мокрая очистка газа	Промывной раствор очистки газа, 440-500	Экстракция, триалкиламин, резэкстракция
Жезказганский медеплавильный завод НПО "Жезказганцветмет" (Казахстан)	Cu к-т, 18-23	Электроплавка, конвертирование, газы, серно-кислотное производство	Промывная кислота, 150-300, шлам, 500г/т (на Чимкентский з-д), элоат, 200-300	Экстракция, трибутиламин, триалкиламин
Узбекский комбинат тугоплавких и жаропрочных металлов ПО "Балхашмедь"	Mo к-т, 600-900	Азотнокислотное разложение, сорбция Mo, Re; десорбция Mo, Re	Элоат, 200-300	Сорбция, элюирование
	Mo к-т, 130-300 Cu к-т, 1,5-2,5	Обжиг, газы, мокрая очистка газа. Плавка в ПВ и отражательных печах, газы, сернокислотное производство	Промывной раствор, 100-150. Промывная кислота, 15-30 Пыль (на Чимкентский з-д)	Сорбция, активированный уголь
Чимкентский свинцовый завод	Pb к-т, 3,5-5,5. Пыли, шламы медного производства, 100-500	Агломерация, плавка, пыли, сульфатизация, выщелачивание	Раствор выщелачивания, 20-180	Сорбция, элюирование

молибден сорбируется достаточно полно, а рений плохо. В растворе остается 20-30мг/л рения (Иванов, Поплавко, Малевский, 1998). Фактические потери рения с промпродуктами и отходящими газами составляют 50%, а извлечение не превышает 42-43% от его содержания в концентрате. Для доизвлечения рения из отвальных хвостов используются короткоконусные гидроциклоны и центробежные сепараторы.

На Жезказганском медеплавильном заводе НПО "Жезказганцветмет" (Казахстан) извлечение рения из медных концентратов в перренат аммония составляет 62,9% (Абишева и др., 2003).

Рений парагенетически связан с месторождениями медно-молибденовой формации. Среднее содержание рения в молибденовых концентратах Армении составляет: в концентратах эксплуатируемых медно-молибденовых месторождений – от 260г/т (Каджаран) до 524г/т (Агарак); в детально разведанных и подготовленных к промышленному освоению – от 340г/т (Личк) до 740г/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 (1971-1974).

Выше, в главе 2.1 нами была рассмотрена парагенетическая триада Re-Mo-¹⁸⁷Os. Установлено, что, если на Жезказгане (Джезказгане) рений не коррелируется с Mo, то на Каджаране, наоборот, ярко проявляется корреляция Re-Mo-Os (МПП).

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 до 5% от мировых запасов с извлекаемой ценностью в сотни миллионов долларов США. Основная товарная продукция из ренийсодержащих молибденовых концентратов – перрениевая кислота, перренат аммония, металлический порошок рения (99,99%). При металлургической переработке имеет место концентрация рения в следующих продуктах передела:

перренат аммония (42,4-72,6%), пыли и кек (20-8%), отработанная промывная кислота (1,3-3,8%), шлак (5,5-2,2%), металлургические газы (30,8-13,3%).

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.

На Зангезурском ММК, в ООО Armenian Molybdenium Production (AMP) и на Ереванском заводе чистого железа за последние годы начата частичная реализация проекта по переработке молибденовых концентратов. Товарная продукция пользуется спросом на мировом рынке.

Первоначально армянские молибденовые концентраты перерабатывались на Челябинском электрометаллургическом комбинате, где рений практически не извлекался. В конце 70-х годов на заводе "Победит" (г.Владикавказ) была внедрена разработанная Горно-металлургическим институтом (г. Ереван) технология извлечения из обжиговых газов молибденовых концентратов.

Новая технология армянских металлургов обеспечивала максимальный контакт газообразных возгонов семиоксида рения с водяным паром, подаваемым в обжиговые газы печи кипящего слоя. При дальнейшей конденсации парогазовой смеси в водяном скруббере рений переводился в циркуляционные растворы, из которых извлекался ионообменным способом. Это позволило резко повысить степень извлечения рения из сырья до 85-88%. В последующем (1989-1991гг) Ереванским ГМИ и Гинцветметом (г.Москва) была разработана и испытана (в опытно-промышленных масштабах) технология автоклавно-сорбционной переработки молибденовых концентратов с попутным извлечением рения из щелочных растворов сорбций в смоле ВП-14КР (Гукасян, 2003). В настоящее время Ж.Г.Гукасяном и его сотрудниками проводятся исследования по разработке технологии извлечения рения из сернокислых растворов цементационным способом.

Годовое производство рения в мире – 30-35г/т. Крупные производители – Чили (45%), Германия (18%). На российском рын-

ке обогащенный рением концентрат является высокодефицитным товаром.

Рений широко используется при производстве платино-рениевых катализаторов, термопар, нагревательных элементов, катодов, рентгеновских трубок, деталей электровакуумных и измерительных приборов, металлических покрытий, материалов для новой техники, работающей в экстремальных условиях вибрации, толчков, радиации и высоких температур. Отмечается рост потребления рения для производства покрытий реактивных двигателей, в космических аппаратах, в ядерных реакторах.

За последние годы ведутся усиленные поиски заменителей рения в платино-рениевых катализаторах. В качестве заменителя иридий и олово достигли коммерческого успеха. Другие металлы, оцененные для каталитического использования, включают галлий, германий, индий, селен, кремний, вольфрам и ванадий. Применение таких и других металлов в биметаллических катализаторах могут снизить долю рения на рынке катализаторов. Материалы, которые могут заменить рений при конечном его использовании, следующие: кобальт и вольфрам для покрытий медных рентгеновских мишеней, родий и родий-иридий для высокотемпературных термопар, вольфрам и платино-рений для покрытий электрических контактов, вольфрам и тантал для электронных излучателей (Иванов и др., 1998).

Рений не входит в число токсичных металлов и его ПДК не нормируется. Патологии, связанные с этим элементом, либо благоприятные биологические воздействия на организм, не известны.

КАДМИЙ, СЕЛЕН, ТЕЛЛУР. Армения богата месторождениями полезных ископаемых, в которых содержится большое количество высоколиквидных (Au, Ag, МПГ, Cu) и остродефицитных (черные и цветные металлы, полуметаллы и некоторые неметаллы) металлов, а также видов сырья необходимого присутствия (редкие элементы, топливное сырье и др.). К сожалению, в настоящее время вопросы комплексного использования сырья на действующих горнорудных предприятиях в основном полностью игнорируются, что приводит к значительным потерям важных и ценных элемен-

тов, пользующихся большим спросом на мировом рынке. К таким редким элементам относятся, в первую очередь, халькофильные кадмий, селен и теллур. Эти элементы чрезвычайно редко встречаются и имеют низкие содержания в рудах, однако они наиболее промышленно освоены; их годовое мировое производство и потребление измеряется первыми десятками тыс. т. В ведущих развитых странах кадмий и теллур отнесены к категории стратегических и находятся под контролем военно-промышленного комплекса. Ресурсный потенциал этих элементов значителен и может рассматриваться как технологическая база для создания попутного или автономного малотоннажного производства. Нашими исследованиями установлена специализация промышленных рудных формаций Армении на отдельные элементы: так Se и Te являются характерными для месторождений медной (Капан, Алаверди, Шамлуг), медно-молибденовой (Каджаран, Агарак) и золотополиметаллической (Сотк, Меградзор) формаций, а Cd – преимущественно для месторождений полиметаллической формации (Шаумян, Ахтала, Арманис).

КАДМИЙ – металл серебристо-белого цвета с синеватым отливом. Цвет кадмия ближе к цвету стали, с несколько желтоватым оттенком; на воздухе кадмий тускнеет, но сохраняет металлический блеск. Кадмий режется ножом, он тверже олова, но мягче цинка. Чистый кадмий при сгибании, подобно олову, издает хрустящий звук, но при наличии в кадмии примесей (даже в незначительном количестве) треска не слышно. Кадмий хорошо куется, катается в листы и протягивается в проволоку.

По физическим, химическим и кристаллохимическим свойствам кадмий близок к цинку и индию, а по многим свойствам – к свинцу и галлию, одновалентной меди, серебру, железу и трехвалентному таллию.

В природе кадмий встречается преимущественно в виде минералов: гринокита (CdS), хоулита (CdS), кадмоселита ($CdSe$), ксантохроита ($CdS \cdot H_2O$), монтепонита (CdO) и отавита ($CdCO_3$). Гринокит содержит 77,6% кадмия, а отавит – 61,5%. Наличие самородного металлического кадмия в природе не установлено. Кадмиевые минералы не образуют самостоятельных промышленных рудных

скоплений. Кадмий является типичным рассеянным элементом. В силу своего геохимического сродства с цинком кадмий способен изоморфно замещать последний в его минералах. Кадмий обнаружен почти во всех цинксодержащих рудах. Чем богаче руды цинком, тем выше содержание в них кадмия. Кадмий является постоянной и характерной примесью в рудах месторождений золоторудной, полиметаллической и колчеданной формаций.

Мировые запасы кадмия оцениваются примерно в 900 тыс.т, из них извлекаемые – около 450 тыс.т. В США запасы кадмия составляют 210, в Канаде – 170, в Австралии – 145 тыс.т. Страны СНГ по учтенным запасам кадмия занимают первое место в мире, из них более 30% приходится на долю России (табл. П.6).

По запасам кадмия (тыс.т) месторождения подразделяются на весьма крупные – более 10, крупные – 10-3, средние – 3-0,5, мелкие – менее 0,5. Промышленные кадмийсодержащие руды – свинцово-цинковые, медные, золотые и золотосеребряные, оловянные, плавикошпатовые (табл. П.7). Среднее содержание кадмия в рудах составляет (г/т): свинцово-цинковых – 10-400, медных – 2-100, золотых и золотосеребряных – 40-100, оловянных – 50-30, плавикошпатовых – 200. Извлечение кадмия из руд различных типов составляет 10-81% при содержании его в концентратах 0,11-0,6%. Промышленное производство кадмия в мире и России основывается на попутном его получении в цветной металлургии и составляет в последние годы примерно 20-30 тыс.т. Крупнейшими производителями кадмия являются: Япония, Канада, США, Бельгия, страны СНГ и Россия, Австралия, Перу. Около 90% кадмия производится на цинковых заводах. Разработана технология получения высококачественного кадмия. Принципиальное значение имеют разработки армянских металлургов. Металл получается в виде палочек (“карандаша”), пластин, слитков и шариков различной чистоты: от 99,95 до 99,99%. Высокочистый кадмий – 99,999-99,9999%. К вредным примесям в концентрате относят сурьму, мышьяк и олово, а в металле – свинец, цинк, медь, железо, никель и теллур.

Основными потребителями кадмия являются Япония, США, Бельгия, Германия и Великобритания, на долю которых при-

**Среднее содержание кадмия в минералах-носителях руд основных
месторождений цветных металлов стран СНГ
(Иванов и др., 1997)**

N/N n/n	Генетический тип месторождения	Минерал-носитель	Среднее содержание, г/т	Примеры месторождений, страна
1.	Свинцово-цинковый в скарнах	сфалерит галенит, халькопирит	4720 125-130	Алтын-Топкан (Таджикистан) Николаевское, Савинское (Россия)
2.	Свинцово-цинковый в сильно измененных силикатных породах	сфалерит халькопирит	3600 90	Садон, Сардоб (Россия)
3.	Свинцово-цинковый стратиформные в карбонатных породах	сфалерит галенит	2800 100	Миргалимсай, Жайрем (Казахстан)
4.	Колчеданно- полиметаллический (свинцово-цинково-медный)	сфалерит галенит	2040 120	Ново-Золотушинское (Россия) Зыряновское (Казахстан)
5.	Колчеданный медно-цинковый	сфалерит блеклые руды	1720 570	Гайское, Учалинское (Россия)
6.	Медный стратиформный	сфалерит халькозин галенит	до 9000 5-3000 100-400	Жезказган (Казахстан)
7.	Медный порфировый	сфалерит галенит	2800 130	Сорское (Россия)
8.	Олово-свинцово-цинковый	сфалерит галенит	3230 110	Депутатское, Солнечное (Россия)

**Промышленные типы кадмийсодержащих месторождений мира
(Минеральное сырье, кадмий, 1997)**

№/№ п/п	Формация. Генетический тип месторождения, породы	Промышленный тип руд	Основные полезные компоненты	Содержание кадмия, г/т	Масштаб оруденения	Примеры м-ний (выделены эксплуатируемые)
1	2	3	4	5	6	7
I	Свинцово-цинковая I. Колчеданный: докембрийские метаморфи- ческие и вулcano-терриген- но-карбонатные отложения	свинцово-цинковый	Pb, Zn	45	Крупный, весьма крупный	Горевское, Холодинское (РФ), Брокен-Хилл (Австралия), Сулливан (Канада) Балмат (США)
		полиметаллический	Pb, Zn, Cu	70		
		серно-колчеданный	S	11		
	фанерозойские вулcanoген- но-осадочные отложения	полиметаллический	Pb, Zn, Cu	178	до весьма крупного	Озерное, Кварцитовая сопка, Новозолотушинское (РФ) Зыряновское, Иртышское (Казахстан), Ред-Дог (США)
фанерозойские терригенные отложения	полиметаллический	Pb, Zn, Cu	67	до крупного	Текели, Зап. Текели (Казахстан) Филизчайское (Азербайджан)	

1	2	3	4	5	6	7
	2. Стратиформный: карбонатные и терригенно-карбонатные породы	свинцово-цинковый, барит-свинцово-цинковый	Pb, Zn, BaSO ₄	94	до весьма крупного	Жайремское (Казахстан), Учкулач (Узбекистан), Наван (Ирландия), Миссисипи (США), Олькуш (Польша)
	3. Метасоматический: известняки и скарны	свинцово-цинковый	Pb, Zn	400	до весьма крупного	Николаевское, Партизанское (РФ), Акжальское (Казахстан), Алтын-Топкан (Таджикистан)
	4. Гидротермальный	свинцово-цинковый, оловянно-свинцово-цинковый	Pb, Zn, Sn	183	мелкий	Садонская гр., Южное (РФ), Квайснское (Грузия), Санта-Барбара (Мексика)
II	Медная 1. Колчеданный: вулканогенные породы	медный, медно-цинковый сульфидный	Cu, Zn, S	78	до весьма крупного	Гайское, Учалинское, Узельгинское (РФ), Приорское (Казахстан), Рио-Тиято (Испания)
		серно-колчеданный	S	18		
	2. Осадочный: песчаники и сланцы (медистые)	медный сульфидный	Cu	8	до весьма крупного	Жезказган (Казахстан)
		медный окисленный	Cu	2		
		комплексный	Cu, Zn, Pb	133		
свинцово-цинковый	Pb, Zn	106				

1	2	3	4	5	6	7
III	Золоторудная и золотосеребряная <i>Эндегенный:</i> различные гранитоиды	золотополиметал- лический	Au, Ag, Pb, Zn, Cu	173	мелкий и средний	Майкалеп, Сувенир (Казахстан), Мужневское (Украина), Шаумянское (Армения)
IV	Оловорудная <i>Эндегенный:</i> гранитоиды различного состава	оловянный, оловянно- свинцово-цинковый	Sn, Pb, Zn	29	мелкий	Фестивальное, Сидлинское, Арсеньевское (РФ)
V	Плавикошпатовая <i>Эндегенный:</i> гранитоиды различного состава	цинк-флюоритовый	CaF ₂ , Zn	173	средний	Вознесенское (РФ)

ходится 90% его общего потребления. Кадмий широко используется в производстве никель-кадмиевых батарей, видеоманитофонов, телефонов и компьютеров; в качестве антикоррозийного покрытия в автомобильной и авиационной промышленности; для изготовления люминоформ для электронно-лучевых трубок, катализаторов для производства спиртов и эфиров, полупроводников, лазеров и солнечных батарей, а сверхчистый кадмий (99,9999%) – используется в атомных реакторах. Структура потребления (%): электроника и производство никель-кадмиевых батарей – около 65; приготовление пигмента – 15; пластмасс – 11; лигатуры – 3; сплавов – 2; остальное количество – в оптике, полупроводниках, атомных реакторах и других областях.

В госбалансе республики учтены запасы кадмия по трем месторождениям – Шаумянскому, Ахтальскому и Арманисскому – в количестве 7,2 тыс.т. Кадмий преимущественно находится в виде примеси в сфалерите, редко образует самостоятельный минерал – пришибрамит – $(\text{ZnCd})\text{S}$ – с содержанием Cd до 5%. В окисленных рудах Мовсесского и Провольненского месторождений установлен гринокит. 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 1кг кадмия сильно варьирует.

Геохимия кадмия в рудах Армении достаточно изучена (Пиджян, Акопян, 1972). 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 30кг/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, Каятех, Дзагидзор) (рис. II.2, табл. II.6).

**Соотношения цинка и кадмия в рудах полиметаллических
месторождений Армении
(Хачатрян, 1975)**

N/N п/п	Формация и типы руд, месторождения	Среднее содержание кадмия, %	Среднее содержание цинка, %	Соотношение Zn/Cd	Коэффициент концентрации кадмия
1	2	3	4	5	6
1.	Колчеданно-полиметаллическая				
	<i>1.1. Колчеданно-полиметаллический тип</i>	0,29	64,45	222/1	1,07
	Ахтала	0,30	66,69	222/1	1,11
	Шаумян	0,39	62,14	159/1	1,44
	Таштун	0,23	64,92	282/1	0,85
2.	Полиметаллическая	0,44	62,75	143/1	1,64
	<i>2.1. Полиметаллический тип</i>	0,44	62,62	142/1	1,64
	Арманис	0,35	61,69	176/1	1,29
	Маймех	0,22	61,08	277/1	0,81
	Гладзор	0,33	63,60	193/1	1,22
	Какавасар	0,66	63,92	97/1	2,44
	Личкваз	0,40	62,86	157/1	1,48
	Сисиан	0,82	60,58	74/1	3,03
	<i>2.2. Свинцово-цинковый тип</i>	0,44	62,24	141/1	1,64
	Марц	0,27	65,28	242/1	1,00
	Мазра	0,53	63,13	120/1	1,96
	Круглая шишка	0,24	62,82	266/1	0,89
	<i>2.3. Свинцово-сурьмяной тип</i>				
	Азатек	0,48	65,17	136/1	1,77
	<i>2.4. Мышьяково-полиметаллический тип</i>				
	Марджан	0,44	65,30	148/1	1,64

258

Продолжение таблицы II.8

1	2	3	4	5	6
3.	Свинцово-цинковая				
	<i>3.1. Свинцово-цинковый тип в туфоосадочных породах</i>				
	Привольное	0,24	62,93	262/1	0,89
	<i>3.2. Свинцово-цинковый тип в карбонатах</i>				
	Мовсес	8,20	55,66	7/1	30,30

259

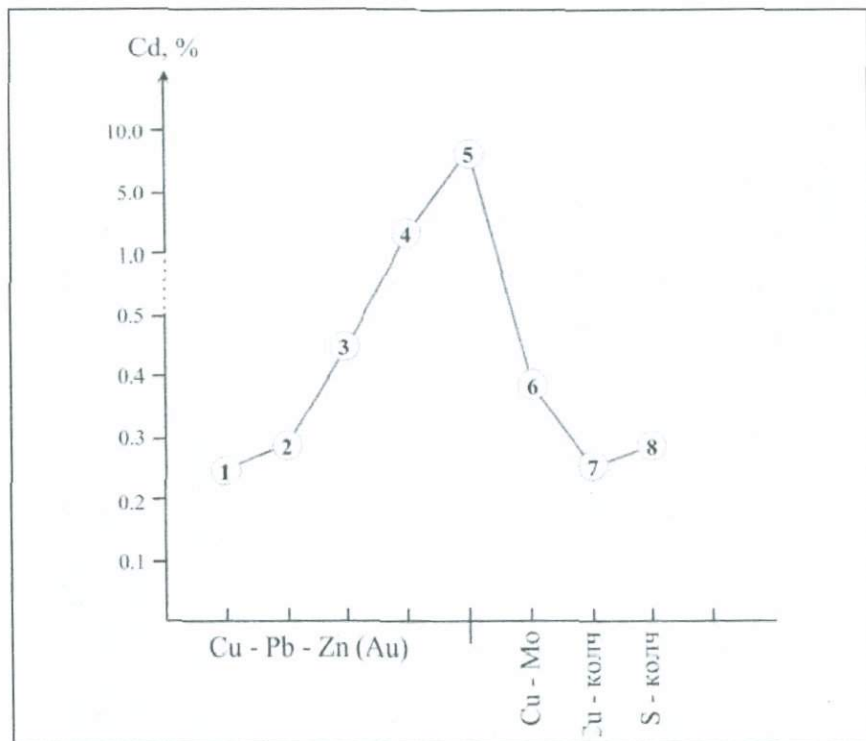


Рис. П.2 Усредненная кривая содержания кадмия в рудных формациях.

Полиметаллическая формация: Месторождения в туфоосадочных отложениях – Привольное (1); колчеданно-полиметаллические месторождения – Ахтала, Шаумян (2); полиметаллические месторождения – Азатек (3); золотополиметаллические месторождения – Меградзор, Личквас–Тей, Тертерасар (4); месторождения в карбонатах – Мовсес (5); **Медно-молибденовая формация:** Каджаран, Агарак (6); **Медно-колчеданная формация:** Капан, Шамлуг (7); **Серно-колчеданная формация:** Тандзут (8).

Установлена определенная закономерность в распределении содержания кадмия в сфалеритах различных формаций и типов руд (табл. II.8). 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%) (рис. II.2). 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 – 8,20% (Мовсесское месторождение), а в туфогенно-осадочных образованиях Привольненского месторождения – 0,24% (Хачатрян, 1975). Исследования Г.О.Пиджяна и А.Г.Акопяна (1972) показали, что для производства кадмия важное значение имеют не только цинковые концентраты Ахталского, Шамлугского и Шаумянского месторождений, а также 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 (Пиджян, Акопян, 1972). Интересно отметить, что темные разновидности сфалерита (марматита) Соткского золоторудного месторождения более обогащены кадмием, чем светлые – из Гамзачиманского, Азатекского, Какавасарского месторождений, возможно, вызванное замещением цинка кадмием в условиях сравнительно высоких температур. Для сравнения отметим, что в рудах медно-молибденовой формации среднее содержание кадмия составляет 0,39% (Каджаран), в рудах медно-колчеданной формации – от 0,18% (Капан) до 0,31% (Шамлуг, Анкадзор), а в рудах серно-колчеданной формации – 0,28% (Гандзут).

Исследованиями установлено, что кадмий находится в сфалерите в виде изоморфной примеси, где замещает цинк. Рентгеноструктурные исследования кадмийсодержащих природных сфалеритов показывают, что в низкотемпературных сфалеритах в решетку может входить около 2% кадмия, а при наличии значительных количеств марганца смесь CdS и ZnS соответственно увеличивается, хотя четкой корреляционной связи между содержаниями марганца, как и железа с кадмием, в сульфиде цинка не наблюдается. Описаны отдельные исключения, в частности, отмечается высокое содержание (до 8%) кадмия в сфалерите Мовсесского месторождения (Хачатрян, 1975).

Отметим, что микроскопическими исследованиями только в рудах Привольненского и Мовсесского месторождений установлен собственный минерал кадмия – гринокит. По описанию Н.С. Хачатряна, этот минерал установлен только в образцах с окисленным сфалеритом; в сульфидных рудах этих месторождений гринокит не обнаружен. Рентгеноструктурными исследованиями на образцах сфалерита из Мовсесского месторождения Э.А.Хуршудяном было подтверждено, что кадмий замещает цинк в решетке. Эти результаты свидетельствуют о возможности широкого изоморфизма кадмия и цинка в структуре сфалерита по типу “кадмистого сфалерита” (Хачатрян, 1975).

Исследования Н.С.Хачатряна показали, что коэффициент концентрации кадмия в сфалерите из руд различных формаций различна (табл. П.8) и варьирует для полиметаллической формации в пределах 0,81 (Джргалидзорское проявление колчеданных полиметаллических руд) – 3,03 (Сисианское проявление полиметаллических руд). Интересно отметить, что Н.С.Хачатрян предложил вывести формационный модуль кадмия в сфалерите для определения формаций свинцово-цинковых руд. Формационный модуль кадмия получается от деления цинк-кадмиевого отношения на коэффициент концентрации кадмия в сфалерите, выраженное в процентах. Расчеты показали, что для каждого типа руд полиметаллической формации характерен свой модуль и допускается, что формационный модуль кадмия может служить критерием отнесения руд к определенным формациям (Хачатрян, 1975). Так, формационный мо-

дуль кадмия в сфалерите для медно-молибденовых руд равен 1,15, полиметаллических – 0,87, медно-серноколчеданных – 2,35, колчеданно-полиметаллических – 2,04, свинцово-цинковых – 3,0 и т.д.

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.

В настоящее время исходным сырьем для получения кадмия является цинковый концентрат Шаумянского месторождения, получаемый на полиметаллической секции Капанской ОФ (0,32-0,4кг/т). При пирометаллургической переработке концентрата кадмий переходит в пылегазовые выбросы и накапливается в системе газоочистки. В последующем кадмийсодержащие продукты (пыли) выщелачиваются, и цементационным или электролитическим способом выделяют кадмий из растворов (Гукасян, 2003).

Около 90% кадмия за рубежом производится на цинковых заводах (главным образом цинкоэлектролитных), 10% – на свинцовых и медеплавильных заводах. При пирометаллургической и электролитической переработке концентраты подвергаются окислительному обжигу, при котором наряду с удалением серы происходит спекание материала. В результате кадмий улетучивается, а кадмийсодержащие газы и пыли улавливаются в мешочных или электростатических фильтрах. В пирометаллургическом производстве цинка пыли далее обогащаются в обжиговых или отражательных печах. При электролитическом способе обожженный цинковый концентрат и собранные летучие пыли растворяются в серной кислоте. Из раствора серного цинка кадмий извлекают методом цементации с помощью цинка. Одновременно с кадмием из раствора извлекается также медь. В настоящее время преобладающая часть кадмия за рубежом получается из Cu-Cd кеков цинкоэлектролитного производства. В свинцовом производстве концентратом кадмия являются пыли агломерационных машин и плавильных печей; на медеплавильных заводах – пыли агломерационных машин, отражательных печей и конвертеров.

Все процессы по извлечению металлического кадмия из кадмийсодержащих продуктов включают их растворение, за кото-

рым следуют различные способы очистки растворов и осадений металла. Методы извлечения кадмия условно разделяются на 2 группы – электролитический и цементации. В первом случае кадмий извлекается при электролизе очищенных растворов, при этом металл осаждается на катодах, которые затем вынимают из электролизера и сдирают кадмий. При методе цементации металлический кадмий (в виде губки) осаждается из очищенных растворов цинковой пылью. Губка прессуется в брикеты или направляется в реторты для обогащения методом дистилляции (Иванов и др., 1997).

Основное производство кадмия – около 80% – основано на переработке цинковых, свинцово-цинковых, медно-цинковых и свинцовых концентратов, остальная часть производится из продуктов переработки оловянных концентратов, отходов металлического кадмия, вторсырья и других источников (табл. П.9).

Низкие содержания кадмия в концентратах и других технологических промпродуктах не являются препятствием для его эффективного извлечения, т.к. стоимость кадмиевой продукции превышает стоимость цинка в 20-25 раз.

Переработка кадмийсодержащего сырья осуществляется гидromеталлургическим и комбинированным способами, в зависимости от свойств исходного сырья. Применение процесса экстракции обеспечивает большой экономический эффект и значительно упрощает комбинированную технологию и увеличивает комплексность использования сырья, т.к. попутно с кадмием извлекают индий и таллий. Извлечение кадмия и таллия составляет соответственно 99,96 и 99,8 и более процентов (Володин, Василец, 2004). В таблице П.10 приводится химический состав марок кадмия, удовлетворяющий требованиям промышленности.

Кадмий – высокотоксичный элемент (I класс опасности). Для неорганических соединений в пересчете на Cd ПДК_{р.з} – 0,01 мг/м³, ПДК_{м.р} – 0,01 мг/м³, ПДК_{с.с} – 0,0003 мг/м³, ПДК_в – 0,001 мг/л, ПДК_{в.р} – 0,005 мг/л. Естественное содержание кадмия в почвах 0,1-0,6 г/т.

**Основные показатели кадмийсодержащих концентратов руд цветных металлов,
потребляемых для производства кадмия в России, %
(Минеральное сырье. Кадмий, 1997)**

№/№ п/п	Характеристика руд цветных металлов	Доля кадмия в переработанных рудах и производственных концентратах	Среднее содержание кадмия	Извлечение кадмия из руд в концентраты
1.	Свинцово-цинковые руды:	27,8	0,0102	81,1
	цинковые	26,3	0,21	79,1
	свинцовые	1,2	0,018	1,0
2.	Оловянно-свинцовые руды:	1,7	0,0132	76,7
	цинковые	1,4	0,22	69,8
	свинцовые	0,4	0,028	6,9
3.	Полиметаллические руды:	1,9	0,0068	5,1
	цинковые	5,3	0,0054	5,1
	свинцовые	-	-	-
	медные	-	-	-
4.	Медные и медно-цинковые руды:	68,6	0,0064	84,8
	цинковые	61,7	0,16	56,8
	медные	10,0	0,018	18,7
	пиритные	10,0	0,002	9,3

Химический состав марок кадмия

Марки	Cd, % не менее	Примеси, не более, %						
		Pb	Zn	Cu	Fe	Tl	Ni	Всего
Высшие сорта	99,95	0,02	0,004	0,01	0,002	0,008	0,002	0,5
Низшие сорта	99,83	0,05	0,01	0,02	0,01	0,09	-	0,17

СЕЛЕН И ТЕЛЛУР – это рассеянные элементы со свойствами полуметалла. Теллур – это полуметалл с более выраженными металлическими свойствами, чем у его аналогов по группе – селена и особенно серы, с которыми он сходен по химическим свойствам и геохимическим особенностям. Теллур активно реагирует с галогенами; с металлами в расплаве дает смешанные кристаллы; с Au и Pd образует теллуриды и металлиды. Теллуриды часто встречаются в природе, но редко образуют существенные скопления.

СЕЛЕН в отличие от теллура реагирует с газообразным водородом. В условиях повышенных температур и восстановительной среды эндогенного рудообразования селен проявляет наибольшие черты сходства с теллуром и серой, а в условиях низких температур и окислительной среды экзогенных процессов – проявляются отличия. Благодаря минералого-геохимической близости к сере, селен обладает специфическими свойствами халькофильных элементов. В связи с этим селен участвует в эндогенных системах халькогенидного типа и образует изоморфную смесь в сульфидных рудах. Последние являются основными источниками его получения (табл. П.11). Кларк селена в земной коре составляет 0,1г/т (Минеральное сырье. Селен, 1998).

В настоящее время известно свыше 80 минералов селена; в основном это медные и никелевые селениды. Некоторые минералы представлены сульфоселенидами Ag, Pb, Bi и др. металлов. Основными минералами являются: клаусталит – $PbSe_2$ (Se – 26,3-28%), ферроселит – $FeSe_2$ (68,4-73,2%), штиллеит – $ZnSe$ (54,7%), кадмоселит – $CdSe$ (59,7%), берцелианит – Cu_2Se (35-41%), умангит – Cu_2Se_2 (40-45%). Часто селен представлен в самородной форме.

**Промышленные типы селеносодержащих месторождений СНГ
(Минеральное сырье. Селен, 1998)**

Формация	Генетический тип месторождения	Промышленный тип руд	Основные полезные компоненты	Содержание селена, г/т	Масштаб оруденения	Примеры месторождений (выделены эксплуатируемые)
1	2	3	4	5	6	7
I. Медная	<i>Медно-колчеданный</i>	медный и медно-цинковый серноколчеданный	Cu, Zn, S	48,4	до весьма крупного	Гайское, Сибайское, Учалинское, Урунское (РФ), Приорское (Казахстан)
			S	58,8		
	<i>Медно-порфировый</i>	медный	Cu	2,2	от среднего до крупного	Бошекульское, Актогай (Казахстан), Кальмакырское, Дальнее (Узбекистан)
	<i>Медно-скарновый</i>	медный	Cu, Fe	7,4	весьма мелкие и мелкие	Гумешевское, Вадимо-Александровское (РФ), Саякская гр. (Казахстан)
	<i>Медные песчаники</i>	медный	Cu	1,2	весьма мелкие и мелкие	Сары-Оба, Киштакпай (Казахстан)
<i>Жильный</i>	медный	Cu	11,8	до среднего	Капанское (Армения), Чатыркульское (Казахстан)	
<i>Медно-железо-ванадиевый</i>	медный	Cu, Fe, V	10,0	крупный	Волковское (РФ)	

Продолжение таблицы II.11.

1	2	3	4	5	6	7
	<i>Медно-никелевый</i>	медный и медно-никелевый	Ni, Cu, Co	10,4	от мелкого до весьма крупного	Ждановское, Талнахское, Октябрьское (РФ)
	<i>Медно-молибденовый</i>	медно-молибденовый	Mo, Cu	1,4	от весьма мелкого до крупного	Каджаран, Агарак (Армения), Кокстенкольское (Казахстан)
2. Свинцово-цинковая	<i>Колчеданно-полиметаллический</i>	полиметаллический	Pb, Zn, Cu	18,3	от весьма мелкого до крупного	Ново-Золотушинское, Корбалихинское, Холодинское (РФ), Орловское, Зырянское (Казахстан)
	<i>Стратиформный</i>	свинцово-цинковый	Pb, Zn	1,2	весьма мелкие и мелкие	Миргалимсайское, Карагайлинское (Казахстан)
	<i>Скарновый</i>	свинцово-цинковый	Pb, Zn	11,2	мелкие	Алтын-Топкан (Таджикистан)
3. Золоторудная	<i>Золоторудный</i>	золоторудный	Au, Ag	21,6	до среднего	Майкани, Сувенир (Казахстан), Кочбулак (Узбекистан), Тарорское (Таджикистан)
4. Вольфрамовая	<i>Вольфрамовый</i>	вольфрамовый	W	1	мелкие и средние	Агылкинское (РФ), Каробинское (Казахстан)

**Показатели степени извлечения селена из концентратов
и руд месторождений СНГ
(Иванов, Видякин, Юшко-Захарова, 1998)**

Формация	Промышленный тип месторождения	Тип руд	Концентрат	Извлечение, %		
				из руды	из концентрата	сквозное
1	2	3	4	5	6	7
1. Медно-рудная	<i>Медно-колчеданный</i>	медно-цинковый	медный,	12	44,8	5,3
			цинковый, пиритный	4,5 44,4	51,1 32,1	2,2 10,7
	<i>Медно-порфировый</i>	медно-молибденовый	медный	44,4	32,1	14,2
		молибден-медный	медный	12,0	44,8	5,3
2. Свинцово-цинковая	<i>Колчеданно-полиметаллический</i>	медно-свинцово-цинковый	свинцовый,	47,3	11,3	5,3
			цинковый, медный,	17,4 6,7	20,3 33,4	3,5 2,2
			пиритный	13,8	40,7	5,6
	<i>Стратиформный</i>	полиметаллический	свинцовый,	3,7	11,3	0,4
			цинковый	3,1	20,3	0,6
	<i>Скарновый и метасоматический</i>	свинцово-цинковый и свинцово-цинково-медный	свинцовый,	9,0	11,3	1,0
цинковый			5,0	20,3	1,0	
<i>Жильный</i>	свинцово-цинковый и свинцово-цинково-медный	цинковый	14,0	20,3	2,8	

Месторождения селена крайне редки, их доля в сырьевой базе селена очень мала. К ним относятся месторождения Пакахака (Боливия), Тилькерод, Зорге и Лербах (Германия), Сьерра-де-Уманча (Аргентина).

Производство селена основано на переработке концентратов цветных металлов и серы (табл. II.12). В России основную часть производства (94,4%) обеспечивает медная подотрасль; свинцово-цинковая подотрасль обеспечивает 5-6% производства. Незначительная часть селена извлекается при получении H_2S и благородных металлов.

Технический селен выпускается трех марок. Содержание селена в них 99,0-97,5%. Вредными примесями в селене являются теллур, железо, тяжелые металлы (до 0,1%), нелетучие остатки (до 0,3%). Более строгие требования предъявляются к стекловидному селену, используемому для выпрямления электрического тока. Содержание селена должно быть не менее 99,992%, а вредные примеси не должны превышать: нелетучих остатков 0,007%, SeO_4 – 0,0001% и теллура – 0,001% (Иванов и др., 1998).

Основными производителями селена в России являются комбинат "Уралэлектромедь" (Пышминский и Каштымский медь-электролитные заводы), также Норильский ГОК и комбинат "Североникель". Около 50% потребления стран СНГ обеспечивает комбинат "Уралэлектромедь".

На медеплавильных заводах основная часть селена (70-80%) извлекается в черновую медь, при содержании селена до 300-400г/т. Основным селенсодержащим сырьем являются медные, пиритные и золотосодержащие концентраты, кварцевые флюсы и вторсырье. В процессе рафинирования черновой меди селен вместе с драгметаллами (Au, Ag, МПГ) и теллуrom переходит в анодную медь, а в последующем в медьэлектролитные шламы (98-99%). Последние являются самым дешевым сырьем для производства товарного селена и теллура. Содержание селена в шламах определяется его содержанием в перерабатываемой шихте и составляет от 1-3 до 25-28%. Наиболее высокие содержания селена (20-22%) получались на бывшем Алавердском горно-металлургическом комбинате, а наиболее низкие – на Жезказганском ГМК (около 1%). Шла-

мы содержат селен в виде селенидов тяжелых металлов, преимущественно меди (Иванов, Видякин, Юшко-Захарова, 1998).

Решение технологических проблем переработки селенсодержащего сырья, с целью сокращения потерь селена, важно не только для увеличения его производства и сохранения сырьевых ресурсов, но и для охраны окружающей среды. При флотации руд огромные количества селена, также как и теллура, содержащегося в пирите, уходят в хвосты, т.к. пиритные концентраты производят не в полном объеме, а соответственно спросу на них. На химических заводах селен из пиритных концентратов практически не извлекается. В цветной металлургии из пиритных концентратов селен извлекается на малом количестве предприятий. Наиболее высокий коэффициент извлечения селена достигает на заводах медной отрасли. Сквозное извлечение селена из медных концентратов (медь-электролитные шламы) в товарную продукцию – селен рафинированный – составляет 35-36%.

Мировое годовое потребление селена составляет 1500-1700т. Самыми крупными потребителями являются США (665т) и Япония.

По величине запасов селена месторождения делятся на весьма крупные – более 10 тыс.т; крупные – от 20 до 10 тыс.т; мелкие – от 50 до 500т и весьма мелкие – менее 50т (табл. II.12).

По данным В.В.Иванова, Н.С.Видякина и О.Б.Юшко-Захаровой, степень концентрации селена в рудах тесно связана с концентрацией серы, и поэтому эндогенные селенсодержащие месторождения они подразделяют на три группы: существенно сульфидные, умеренно сульфидные и малосульфидные. Первая группа месторождений включает медно-колчеданный, сульфидный медно-никелевый и колчеданно-полиметаллический типы, с которыми связано 96,5% запасов и 98,3% добычи селена в России (табл. II.11) (Иванов и др., 1998). Важное место в производстве селена в России принадлежит трем крупным месторождениям сульфидных медно-никелевых руд. Это Мончегорское, в настоящее время отработанное, Печенгское на Кольском полуострове, а также Норильское. Наиболее крупной является Норильская группа (Талнахское и Октябрьское месторождения), где сосредоточено более 90% балан-

совых запасов селена РФ. При этом следует отметить, что по месторождениям Норильской группы среднее содержание селена составляет от 2,8г/т (Норильск) до 13,4г/т (Октябрьское), а на месторождениях Печенгской группы – от 3,5г/т (Ждановское) до 16г/т (Восток).

Запасы селена в медных месторождениях мира (без стран СНГ) оцениваются в 130 тыс.т. Около 60% селена заключено в медных месторождениях Канады (15 тыс.т), в меднопорфировых месторождениях США (19 тыс.т) и Чили (33 тыс.т). Общие извлекаемые мировые запасы по медной отрасли составляют 80 тыс.т. В странах СНГ подтвержденные запасы селена насчитывают более 150 тыс.т, России – более 100 тыс.т. По запасам селена страны СНГ занимают первое место в мире: 69% запасов приходится на Россию, более 20% – на Казахстан, 6,5% – на Узбекистан, 3% – на Армению и около 1% – на остальные страны. Годовое производство селена из медных концентратов – 5 тыс.т. Основными производителями селена являются Япония, Канада, США, Бельгия. На долю этих стран приходится 80% мирового производства. Самым крупным производителем первичного сырья является Япония.

Селен широко используется в электронике, фотокопировальной технике (ксерография), производстве соединений и пигментов, стекольной, лакокрасочной и керамической промышленности, производстве фоторецепторов, в сельском хозяйстве как необходимый элемент (кормовая добавка) для животных и птиц, т.к. недостаток селена вызывает тяжелые заболевания и бесплодие. Многие соединения селена используются для приготовления лекарств, сульсенового масла, шампуней, в резинотехнической промышленности, для производства каучука и др. Введение селена в нержавеющие стали улучшает их литейные качества, облегчает механическую обработку без снижения коррозионной стойкости. Нерешенными остаются вопросы токсичности селена, что ограничивает его применение в биологии и медицине (Минеральное сырье. Селен, 1998).

Основным заменителем селена в настоящее время является кремний высокой чистоты. Широкое применение получил кремний как заменитель селена в выпрямителях высокого, среднего и

низкого напряжения. Заменителями селена при фотоэлектрическом его применении являются неорганические полупроводниковые материалы – кремний, кадмий, теллур, галлий, мышьяк, а также органические полупроводники. В производстве стекла используют окись церия, в производстве пигментов и каучука используют теллур, а в сплавах, не применяющихся в механической обработке, селен заменяют висмут, свинец и теллур.

ТЕЛЛУР. Из 108 минералов теллура 65 принадлежат халькогенидам, остальные – интерметаллидам и оксидам. Наиболее часто встречаются минералы гессит – Ag_2Te (34,4-35,9% Te), алтаит – PbTe (36-40% Te), креннерит – $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$ (56,0-59,8% Te), сиванит – $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_4$ (61,0-62,3% Te), петцит – Ag_3AuTe_2 (31-34% Te), тетрадимит – $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ (34,6-35,8% Te), а среди теллуридов – котульскит – $\text{Pd}(\text{Te}, \text{Bi})$, (27-53% Te), майченерит – $(\text{Pd}, \text{Pt})(\text{Te}, \text{Bi})_2$, мончеит – $\text{Pt}(\text{TeBi})_2$, мутманнит – $(\text{Ag}, \text{Au})\text{Te}$, калаверит – AuTe_2 , мелонит – NiTe_2 . В природе теллуриды встречаются часто, но самостоятельные месторождения или существенные скопления образуют редко. Кларк теллура в земной коре 0,003г/т. Мировые запасы теллура оцениваются в 40тыс.т, из коих на долю медных месторождений приходится 80%. Основные запасы теллура в странах СНГ приходятся на Уральский регион России (76%). В Казахстане сосредоточены около 14% запасов, а в Армении и Узбекистане соответственно 6 и 3% (табл. II.13).

Годовое производство теллура без стран СНГ составляет 300т.

По запасам месторождения теллура подразделяются на весьма крупные (десятки тыс.т), крупные (тыс.т), средние (сотни т), мелкие и весьма мелкие – от десятков до одной т (Минеральное сырье. Теллур, 1998). Производство теллура из медных концентратов оценивается около 200-240т. Наиболее крупными производителями теллура являются Чили, США, Канада и Перу, на долю которых приходится 59%. Самыми крупными потребителями теллура являются США и Япония (более 60%). За рубежом главная часть запасов и производства теллура приходится на медно-молибденовые месторождения, которые в странах СНГ имеют небольшое значение. В России около 86% запасов теллура и 96,8% его добычи

**Промышленные типы теллурсодержащих месторождений стран СНГ
(Минеральное сырье. Теллур, 1998)**

Формация	Тип месторождения	Промышленный тип руд	Основные полезные компоненты	Содержание теллура, г/т	Масштаб оруждения	Примеры месторождений (выделены эксплуатируемые)
1	2	3	4	5	6	7
1.Меднорудная	<i>Медно-колчеданный</i>	медный и медно-цинковый	Cu, Zn, S	34,2	до весьма крупного	Гайское, Узельгинское, Учалинское, Урупское (РФ)
		серно-колчеданный	S	33,2		
	<i>Медно-порфировый</i>	медный	Cu, Mo, S	0,5	от мелкого до крупного	Коунрадское, (Казахстан), Кальмакырское, Дальное (Узбекистан)
	<i>Медно-скарновый</i>	медный	Cu, Fe	3,1	весьма мелкий и мелкий	Гумешевское, Вадимо-Александровское (РФ), Саянская гр. (Казахстан)
	<i>Жильный</i>	медный	Cu	8,3	мелкий	Капанское (Армения), Чатыркульское (Казахстан)
	<i>Медно-железо-ванадиевый</i>	медный	Cu, Fe, V	1,0	средний	Волковское (РФ)
	<i>Медно-никелевый</i>	медный и медно-никелевый	Ni, Cu, Co, Au, Ag	4,8	от мелкого до весьма крупного	Ждановское, Талнахское, Октябрьское (РФ)

1	2	3	4	5	6	7
	<i>Медно-молибденовый</i>	медно-молибденный	Mo, Cu	1,1	до весьма крупного	Каджаран, Агарак (Армения), Коктенкольское (Казахстан)
2.Свинцово-цинковая	<i>Колчеданно-полиметаллический</i>	полиметаллический	Pb, Zn, Cu	11,2	до крупного	Золотушинское, (РФ), Ридерр-Сокольное Тишинское (Казахстан)
	<i>Стратиформный</i>	свинцово-цинковый	Pb, Zn	0,6	мелкий и средний	Миргалымсайское, Карагайлинское (Казахстан)
	<i>Скарновый</i>	свинцово-цинковый	Pb, Zn	1,4	мелкий и средний	Алтын-Топкан, Чал-Ата (Таджикистан)
3.Золоторудная	<i>Золоторудный</i>	золоторудный	Au, Ag	21,7	до крупного	Сотк, Меградзор (Армения), Майсаин, Сувенир (Казахстан), Кочбулак (Узбекистан), Бургунда (Таджикистан)
4.Вольфрамовая	<i>Вольфрамовый</i>	вольфрамовый	W	1,0	средний	Агалкинское (РФ), Караобинское, Верхне-Кайрактинское (Казахстан)

приходится на долю месторождений колчеданного и медно-никелевого типов, при этом около 80% запасов сосредоточено в 12 крупных (тыс.т) и весьма крупных (десятки тыс.т.) месторождениях.

Основной выпуск теллура производится попутно на предприятиях цветной металлургии, в первую очередь на медеплавильных (99,8%). Остальная часть выпускается на свинцово-цинковых и серно-кислотных предприятиях, а также при переработке золотых руд. В СНГ товарный теллур получают из шламов рафинирования черновой меди и черного свинца. Показатели извлечения теллура из концентратов различных типов руд приводятся в таблицах II.14 и II.15.

Таблица II.14

Показатели извлечения теллура из концентратов

N/N n/n	Подотрасли	Концентрат, хвосты	Извлечение, %
1.	Медная	халькопиритовый сфалеритовый пиритовый хвосты	12,0
			3,4
			44,9
			39,7
			100,0
2.	Свинцовая	галенитовый хвосты	2,4
			97,6
			100,0
3.	Молибденовая	молибденовый халькопиритовый хвосты	0,9
			13,0
			86,1
			100,0

Из медных концентратов в черновую медь извлекается 35% теллура, в шламы – 80%, а в технический теллур – 30-32%. В процессе металлургического передела теллуросодержащих концентратов медной подотрасли содержание теллура в продуктах переработки составляет (%):

- медь черновая – 48,6
- металлургические пыли – 3,3
- свинцово-висмутовый кек – 0,01

- конверторный шлак – 2,3
- окись цинка – 1,5
- медный штейн – 0,5

В процессе пирометаллургической переработки медных концентратов имеются большие потери теллура вследствие низких содержаний его в исходном сырье и медьэлектролитных шламах (содержание теллура в 10 и более раз меньше, чем селена), сложности и трудоемкости его извлечения. Экономическая эффективность его получения из анодных шламов зависит и от содержаний в нем благородных металлов. Из бедных концентратов или шламов в большинстве случаев теллур не извлекается.

Извлечение теллура из исходных электролитных шламов не превышает 50%. Сокращению потерь теллура в медной подотрасли будут способствовать техническое переоснащение и реконструкция медеплавильных заводов с целью повышения их рентабельности и обеспечения более весомых требований по защите окружающей среды. При этом осуществляется полное улавливание теллура из металлургических газов и увеличение количества его в серно-кислотных шламах, из которых он может быть извлечен.

Теллур широко применяется в черной (до 90% выпуска) и цветной металлургии, химической промышленности, в производстве резины различного назначения (автопокрышки, транспортные ленты и пр.), детонаторов и катализаторов. Одной из важнейших областей применения теллура – это изготовление полупроводниковых материалов. Вместе с селеном теллур высокой чистоты (99,999%) используется в ИК и дистанционной технике, гелиоэнергетике и в производстве солнечных батарей и т.д.

Селен и теллур в рудах Армении. Запасы селена и теллура, числящиеся на госбалансе Армении, подсчитаны по эксплуатируемым месторождениям – Каджаранскому, Агаракскому, Капанскому и Шаумянскому. Общие учтенные запасы селена составляют 6182,4т, теллура – 6267т. Наиболее высокие содержания селена приурочены к молибденитам Каджаранского месторождения – 374г/т и галенитам Шаумянского месторождения – 600г/т. Содержание теллура в галенитовом концентрате Шаумянского месторождения составляет 1900г/т, в медном – 480г/т, в цинковом – 212г/т и

**Показатели степени извлечения теллура из руд и концентратов
месторождений медной формации стран СНГ
(Минеральное сырье. Теллур, 1998)**

N/N n/n	Тип месторождения	Промышленный тип руд	Концентрат	Извлечение, %		
				из руды	из концентрата	сквозное
1	2	3	4	5	6	7
1	Медно-колчеданный	медно-цинковый	медный	16,0	41,8	6,6
2	Медно-порфировый	медно-молибденовый	медный	15,4	14,0	2,1
		молибденово-медный	медный	16,0	41,8	6,6
3	Колчеданно- полиметаллический	полиметаллический	свинцовый,	20,2	32,9	6,6
			цинковый,	14,2	24,8	3,5
			медный	5,1	9,6	0,5
4	Стратиформный	свинцово-цинковый	свинцовый	25,0	27,8	6,9
		полиметаллический	цинковый	8,3	24,8	2,1
5	Скарновый	свинцово-цинковый	свинцовый,	29,0	27,8	8,1
			цинковый	8,0	24,8	2,0
6	Жильный	полиметаллический	свинцовый	75	27,8	2,1

пиритовом – 129,3г/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 (Зарьян, 1972, 1984). 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 госбалансе не числятся, но представляют интерес как с точки зрения попутного извлечения, так и, возможно, организации самостоятельного редкометалльного малотоннажного производства. Значительный интерес представляют медные месторождения западного фланга Алавердского рудного поля (Агви, Алвард и др.), рассматриваемые как сырье для бактериального и серно-кислотного выщелачивания. Содержание селена в мономинеральных рудах – 235-328г/т. На самом Алавердском месторождении меди среднее содержание селена составляет 235г/т, в рудах Агвинского и Алвардского – более 300г/т (табл. II.16). В рудах Азатекского месторождения, подготовленного к промышленному освоению, содержание селена – 400г/т. Во всех этих месторождениях горно-геологические и географо-экономические условия весьма благоприятные.

Графоаналитическое обобщение материалов по содержанию Se и Te в минералах-носителях из месторождений различных генетических типов Армении выявило ряд геохимических особенностей в поведении этих элементов в рудах основных промышленных формаций, что несомненно следует учесть как при решении

**Содержание селена и теллура в рудах и минералах месторождений Армении
(с использованием материалов Н.С.Хачатряна, Р.Н.Зарьяна, Г.О.Пиджяна
и А.С.Фарамазяна, А.Г.Акопяна, В.О.Пароникяна, Б.Д.Акопяна, Ш.О.Амиряна)**

N/N п/п	Формация	Месторождение, руда, минерал	Содержание, г/т	
			селен	теллур
1	2	3	4	5
1	Полиметаллическая	<i>Ахтала:</i> руда	25	10
		халькопирит	90	25
		пирит	64-170	27
		сфалерит	37-160	50
		борнит	156	36
		галенит	110	75
		теннантит	147	63
		<i>Гладзор:</i> руда	4	30-100
		полиметаллическая	70-120	63-130
		галенит	30	35
		сфалерит	17-143	30-55
		халькопирит	25-100	41-45
		пирит	67-170	67-70
		блеклая руда		

1	2	3	4	5
		<i>Какавасар:</i> руда	н/д	30
		галенит	41	44
		пирит	17	30-46
		халькопирит	30	15-43
		сфалерит	20	32
		блеклая руда	30-47	30-67
		айкинит	-	500
		<i>Привольное:</i> руда	8-80	8
		галенит	100	100
		<i>Мовсес:</i>		
		галенит	25-125	-
		<i>Каятех:</i>		
		пирит	52-67	22-46
		галенит	34-53	15-51
		сфалерит	25-44	9-45
		халькопирит	15-53	33-46
		блеклая руда	17-47	51-64
борнит	45	50		
арсенопирит	2	100		
<i>Шаумян:</i>				
галенит	600	-		

1	2	3	4	5	
2	Золотополиметаллическая	<i>Меградзор:</i> руда	3-5	23.6	
		пирит	36	150	
		халькопирит	20	10	
		сфалерит	22	480	
		блеклая руда	100	47500	
		галенит	65	2000	
		алтаит	500	>100кг/т	
		сильванит	2000	>100кг/т	
		петцит	-	>30кг/т	
		<i>Личквас-Тей:</i> руда			
		полиметаллическая	20-40	60-200	
		арсенопиритовая	20	40	
		антимонитовая	26-80	60-600	
		галенит	88	50	
		пирит	39	28	
		сфалерит	-	8	
		<i>Азатек:</i> руда			
		халькопирит	312	36-100	
		пирит	153	53	
		теннантит	150	30	
		галенит	115	90	
тетраэдрит	108	38			
тетраэдрит	100	80			
антимонит	100	80			
сфалерит	85-340	22-30			
буланжерит	40-50	40-50			
	390	75			

1	2	3	4	5
		Сотк; руда: пирит- арсенопиритовая полиметаллическая золото-теллуровая антимонитовая пирит арсенопирит сфалерит халькопирит антимонит галенит блеклые руды теллуrowисмутит алтаит лимонит цирротин	 52 10 70 7 22 150 20 30 15 - 40 500 4 - 40	 140 110 4200 40 130 400 210 150 20 50 400 >100кг/т >100кг/т >100кг/т 10-30
3	Меднорудная	Капан: руда халькопирит пирит борнит сфалерит энаргит галенит халькозин алтаит	17 100 92 136 81 126 117 82 3000	17 64 48 95 1345 656 1453 85 -

Продолжение 4 таблицы П.16

1	2	3	4	5
		<i>Шамлуг:</i> руда	30	16
		пирит	80	30
		халькопирит	42	41
		галенит	110	75
		сфалерит	47	-
		<i>Алаверди:</i> руда	35-53,5	19-45,4
		халькопирит	127-184	35-120
		пирит	90-97	23-140
		<i>Агви:</i> руда	235-300	15-23
		пирит	326	66
халькопирит	328	25		
4	Серно-колчеданная	<i>Алвард:</i>		
		пирит	303	78
		<i>Чибухли:</i> руда	43	45
		пирит	220	51
		<i>Тандзут:</i> руда	101	33
		пирит	185	27
5	Медно-молибденовая	<i>Каджаран:</i>		
		молибденит	212-550	15-70
		халькопирит	88-241	2-187
		пирит	80-140	6-96
		галенит	44-291	27-430
		сфалерит	47	51
		борнит	240	75
		блеклая руда	430	210

1	2	3	4	5
		<i>Агарак:</i>		
		молибденит	237-275	30-81
		халькопирит	114-170	28-40
		пирит	60-96	20-45
		сфалерит	24	37
		галенит	83	106
		<i>Дастакерт:</i> руда медно-молибденовая	20-40	17-53
		молибденит	41-91	22-40
		халькопирит	39-143	28-50
		пирит	70-90	119-341
		сфалерит	26	21
		галенит	120	140
		борнит	140	90
		алабандин	30	1
		<i>Айгедзор (Джиндара):</i>		
		молибденит	328-490	35-76
		халькопирит	115-260	25-121
		пирит	50-250	10-20
		борнит	470	-

Продолжение 6 таблицы П.16

1	2	3	4	5
		<i>Анкаван:</i> руда медно-мышьяковистая	1200	700
		молибденит	237-400	16-170
		халькопирит	114-260	28-60
		пирит	40-192	16-120
		сфалерит	24	37-100
		галенит	83	106
		энаргит	1120	720
		<i>Техут:</i> руда медно-молибденовая	2,4	2,0
		пирит	20	25
		халькопирит	20	27
		молибденит	150	25

проблем промышленного их освоения, промышленной типизации руд, так и при создании научно-технологической базы редкометалльной промышленности (рис. П.3-П.6).

В рудах месторождений серно-колчеданной и медно-рудной формаций содержания селена и теллура колеблются в широком диапазоне и охватывают интервал от сотых (для селена) до тысячных (для теллура) долей процента (рис. П.3). Максимальные содержания селена установлены в пирите, халькопирите и борните, а теллура – в борните, пирите и халькопирите, т.е. имеют почти зеркальный характер. Кривые этих элементов сходятся только на халькозине. Исследованиями установлена положительная корреляционная зависимость для Капанского медного месторождения между селеном, медью и серой, а для Чибухлинского серно-колчеданного месторождения – между серой, селеном и теллуром (Зарьян, 1972, 1984; Чатинян, 1957).

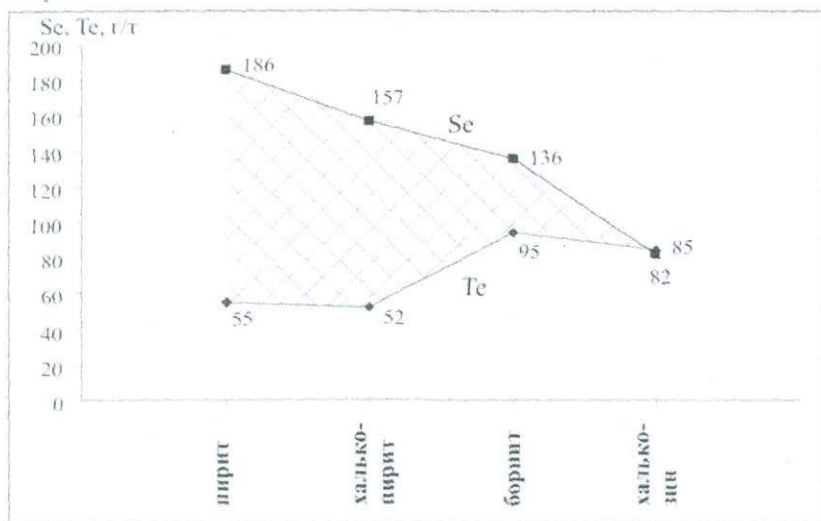


Рис. П.3. Усредненный график интервалов содержаний Se и Te в минералах-носителях месторождений серно-колчеданной и меднорудной формаций.

В рудах месторождений медно-молибденовой формации селен и теллур являются характерными примесями. Содержания селена и теллура в минералах-носителях характеризуются тем, что содержание теллура в молибдените, халькопирите, пирите и борните колеблется в пределах тысячных долей процента и образует восходящую прямую линию, а содержание селена – резко варьирует, концентрируясь в молибдените и борните, и относительно резко падает (содержание) в халькопирите и пирите в интервале от тысячных до сотых долей процента (рис. II.4). Усредненные кривые Se и Te по минералам-носителям в интервале содержаний не пересекаются. Об аналогичных соотношениях селена и теллура (до 5:1) в рудах медно-молибденовой формации отмечено А.С. Фарамазяном и Р.Н.Зарьяном (1964, 1972, 1984) и Г.О.Пиджяном (1967, 1972).

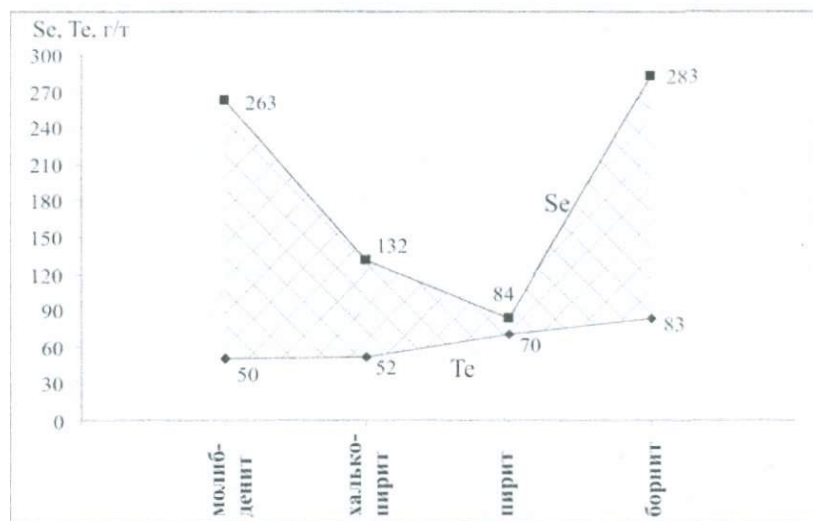


Рис. II.4. Усредненный график интервалов содержаний Se и Te в минералах-носителях месторождений медно-молибденовой формации.

В рудах месторождений полиметаллической и золото-полиметаллической формаций, по данным геохимических исследований, селен присутствует в виде изоморфной примеси в ре-

шетках сульфидов и сульфосолей, а теллур образует теллуриды свинца, висмута, серебра и золота (Зарьян, 1972, 1984). В рудах собственно полиметаллической формации в основных минералах-носителях (халькопирит, сфалерит, галенит) усредненные кривые содержаний Se и Te почти параллельны, причем кривая Se занимает более высокую ступень, хотя интервал содержаний не выходит за рамки тысячной доли процента (рис. II.5). В отдельных случаях содержания селена достигают 150г/т (халькопирит, пирит), а теллура – в пределах 100г/т.

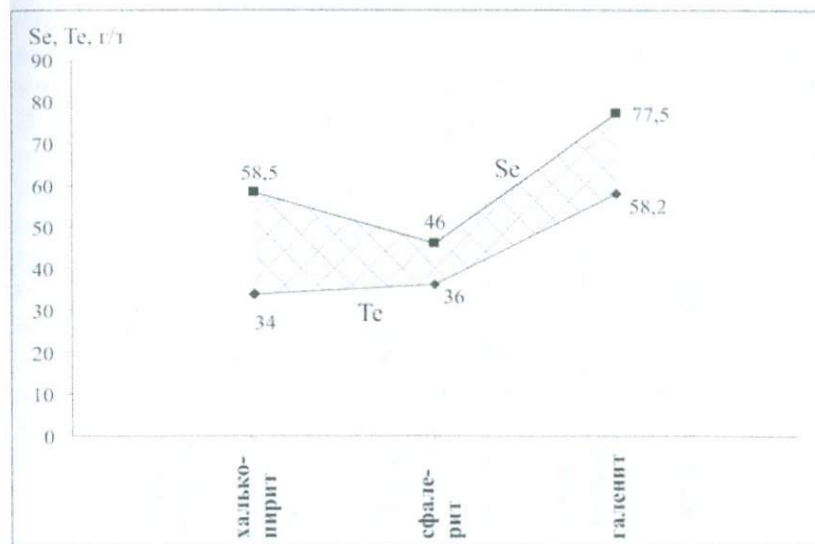


Рис. II.5. Усредненный график интервалов содержаний Se и Te в минералах-носителях месторождений полиметаллической формации.

В рудах месторождений золотополиметаллической формации основными минералами-носителями являются две группы: пирит-халькопирит-галенит-сфалерит и сфалерит-антимонит-блеклые руды (рис. II.6). Усредненные кривые содержаний Se и Te по минералам первой группы почти повторяют график для серно-медноколчеданных руд (рис. II.3), с той лишь разницей, что ин-

тервал содержаний не выходит за пределы тысячных долей процента. По минералам второй группы график повторяет описанное выше характерное соотношение для полиметаллических руд, с той лишь разницей, что максимальные содержания (в антимоните) проявляет теллур. С геохимической точки зрения конфигурация усредненного графика интервалов содержаний Se и Te в минералах-носителях золотополиметаллической формации вполне объяснима, т.к. эти руды характеризуются наличием отчетливо разграниченных геолого(минералого)-технологических и промышленных типов руд.

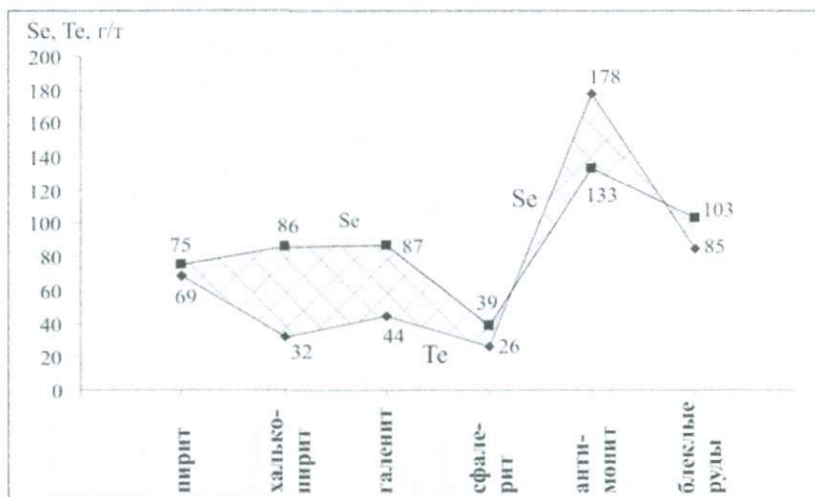


Рис. II.6. Усредненный график интервалов содержаний Se и Te в минералах-носителях месторождений золотополиметаллической формации.

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 3-5г/т (в пределах точности анализа). При флотации руд теллуриды переходят в золо-

тосодержащий концентрат. Среднее содержание Те во флотоконцентрате составляет 348г/т, при его извлечении – 87,43%. Подсчет запасов Те произведен по данным 12 технологических проб. Среднее содержание Те по Центральному участку (Второе, Слепое, Девятое р.т.) составляет 30,6г/т, по Пятому р.т (Аджаридзорский уч.) – 12г/т и по Первому р.т (Северный уч.) – 21,45г/т. Средневзвешенное содержание Те по месторождению – 23,6г/т. Количество запасов по категориям C_1+C_2 – 15,4т.

Объектом первоочередной доразведки может служить Анкаванское рудное поле и отдельные его участки (для селена, теллура и висмута). В коллективном сульфидном концентрате содержания теллура и висмута достигают 100кг/т, а селена в тетрадимитовом (теллуридах) концентрате – 4,4кг/т, теллура – 350кг/т (!). В медно-мышьяковистых рудах содержание селена 1,2кг/т, а теллура – 720г/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 точки зрения, но и с экологической, учитывая, что селен и теллур высокотоксичные элементы неясной биологичности. 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. Высокие показатели извлечений селена и теллура достигнуты в медеплавильном производстве из медьэлектролитных шламов, образующихся при электролизе меди.

В Ереванском ГМИ были разработаны принципиально новые технологии попутного извлечения селена из продуктов переработки молибденовых концентратов и теллура из кислых растворов, образующихся при промывке золотосодержащих концентратов ЗИФ (Гукасян, 2003).

ВИСМУТ, ВАНАДИЙ. Висмут и ванадий широко используются в химической, металлургической и электронной промышленности. Важнейшими областями их применения являются ядерная и

космическая техника. Оценка ресурсного потенциала этих уникальных редких металлов в промышленных рудах Армении имеет важное народнохозяйственное и стратегическое значение в деле создания научно-технической базы редкометалльной экологически чистой промышленности республики.

Висмут широко применяется в химической промышленности, фармацевтике, косметике, металлургии, производстве легкоплавких сплавов, электронике. В химической промышленности висмут используется в составе катализаторов для производства синтетических волокон и в пигментах. В металлургии висмут применяется в качестве добавки в ковкие чугунные отливки и алюминиевые сплавы. В электронике висмут используется в ферритах и керамических конденсаторах. Важнейшие области применения висмута – ядерная и космическая техника, производство специальных эмалей, бронзы, фарфора, стекол.

Висмут – это блестящий металл белого цвета с красноватым оттенком, расширяющийся при затвердевании. Он самый диамагнитный и один из наименее теплопроводных металлов. При обычной температуре висмут устойчив, а при нагревании покрывается тонкой оксидной пленкой. Висмут легко растворяется в концентрированной серной и азотной кислотах, причем на висмут не действуют разбавленная серная и концентрированная соляная кислоты. Растворимые соединения висмута являются сильным ядом. Висмут встречается в самородной форме, а также в виде оксидов, карбонатов, арсенатов, ванадатов и вольфраматов в соединениях с S, Se и Te (Минцер, Теремецкая, Усова, 1997). Кларк висмута в земной коре 0,3г/т.

Сырьевая база висмута основана на висмутсодержащих месторождениях W, Sn, Cu, Pb, Zn и Au, т.к. собственно висмутовые месторождения весьма редки (табл. П.17). Мировые запасы висмута, без стран СНГ, составляют 250 тыс.т, половина из которых сосредоточена в Перу, Китае, Канаде, Австралии, Мексике, Японии, США, Боливии. Годовое мировое производство металлического висмута составляет 6 тыс.т. Основными производителями являются Китай, Перу, Мексика и Япония, а в странах СНГ – Казахстан и Россия. В Казахстане металлический висмут получают на

**Промышленные типы месторождений висмута
(Минеральное сырье. Висмут, 1997)**

Формация	Генетический тип месторождения	Промышленный тип руд	Рудовмещающие породы	Минералы-носители и попутные компоненты	Среднее содерж. Вi в руде, %	Масштаб оруденения	Примеры месторождений (выделены эксплуатируемые)
1	2	3	4	5	6	7	8
I. Висмутовая	<i>Гидротермальный</i>	мышьяково-висмутовый	карбонаты, роговики, гранитоиды	арсенопирит, пирротин, халькопирит, W, Co, Cu	>0,2	до крупного	Уронай (РФ), Чокадам-Булак (Таджикистан), Устарасай (Узбекистан), Тасна (Боливия)
		никель-кобальт-висмутовый	сланцы, вулканогенно-осадочные, гранитоиды	арсениды, Au, U	>0,2	мелкие	Аннаберг (Германия), Пособланко (Испания), Ховуаксы (РФ)
		медно-висмутовый	вулканиды, метаморфиты	халькопирит, галенит, Cu, Pb, Ag	>0,2	до среднего	Тары-Экан (Таджикистан), Мироновское (Киргизия), Сан-Франциско-де-Лос-Андес (Аргентина)

1	2	3	4	5	6	7	8
2. Висмут-содержащая	<i>Грейзеновый, скарновый, гидротермальный</i>	вольфрамовый, оловянный, золоторудный	гранитоиды, терригенные, карбонатные, вулканогенно-терригенные	касситерит, вольфрамит, пирротин, халькопирит, Mo, Cu, Ag	0,001-0,1	до крупного	Караоба (Казахстан), Ильтин, Восток-2, Тырныауз (РФ), Папаскейра (Португалия)
	<i>Скарновый, гидротермальный, колчеданный</i>	свинцово-цинковый	гранитоиды, терригенные, карбонатные, вулканогенно-терригенные	галенит, Sb	до 0,04	до среднего	Верхний рудник, Садон (РФ), Белоусовское (Казахстан), Камнока (Япония)
	<i>Скарновый, колчеданный</i>	медный	гранитоиды, терригенные, карбонатные, вулканогенно-терригенные	пирротин, пирит, халькопирит	0,001-0,05	до среднего	Саяк (Казахстан), Бисби (США), Сибай (РФ)
	<i>Селективно-висмутовый</i>	россыпный	элювий, пролювий, аллювий	-	>200г/м ³	мелкие	Ливичуко (Боливия)
	<i>Комплексный</i>	россыпный	элювий, пролювий, аллювий	Sn, W	>100г/м ³	до крупного	Тасна (Боливия), Одинокое (РФ), Южные провинции Китая

Чимкентском свинцово-цинковом заводе, а в России – на Дальневосточном свинцовом заводе Приморского края. Сырье для висмута в России добывают из 18 месторождений.

Висмут в основном представлен собственными минералами – сульфовисмутитами свинца, меди, серебра: это висмутин, галеновисмутит, козалит, лиллианит, айкинит, матильдит, эмплектит; теллуридами – теллуровисмутит, тетрадимит, редко встречается самородный висмут. Висмут установлен также в виде изоморфной примеси в сульфидах. Известно более 120 минералов висмута, однако практическое значение имеют около 30. Промышленное значение имеют также висмутсодержащие минералы, в особенности галенит. В зоне окисления промышленные скопления висмута связаны с бисмитом, бисмутитом и базобисмутитом.

В большинстве случаев мировые висмутовые и висмутсодержащие месторождения различных формаций по запасам металла характеризуются мелкими и средними масштабами оруденения. По запасам выделяются мелкие (<1 тыс.т), средние, крупные (4-10 тыс.т) и уникальные (>10 тыс.т). В отдельных случаях, при благоприятных горно-геологических и географо-экономических условиях самостоятельный промышленный интерес могут представлять объекты с запасами около 500т, а также с запасами 200-500т при среднем содержании висмута в рудах более 0,3%, т.е. 3000г/т. Минимальное промышленное содержание висмута в рудах – не ниже 0,1%.

По качеству висмутсодержащие руды разделяют на 3 типа: висмутовый (селективный), комплексный и сопутствующий.

К висмутовому типу относят руды, слагающие тела (с содержанием более 0,2% условного висмута, но не менее 0,1% натурального) вне контура промышленных руд основного компонента, но в пределах горного отвода. В этом случае рассчитывается минимальное промышленное содержание. Комплексный тип руд характеризуется содержанием висмута (обычно более 0,05%), существенно влияющим на приведенное к основному компоненту минимальное промышленное и бортовое содержание. При этом расчет основных параметров кондиций выполняется с учетом висмута.

Сопутствующий тип – это руды с содержанием висмута ниже 0,05% (Минеральное сырье. Висмут, 1997).

Для переработки висмутосодержащего сырья применяется технологическая схема, включающая гравитацию, магнитную сепарацию и флотацию. Из вольфрамит-касситеритового концентрата при электромагнитной сепарации основная часть висмута переходит в немагнитный оловянный концентрат. Извлечение висмута на стадии гравитации не превышает 30%. При флотации минералы-носители висмута концентрируются с сульфидами Pb, Cu и Mo. Товарными висмутовыми продуктами являются: висмутовый, свинцовый и оловянный концентраты (табл. II.18).

Висмут характерен для медно-молибденовой, золоторудной, полиметаллической и колчеданной формаций Армении.

На госбалансе Армении числятся запасы по семи месторождениям – Каджаран, Агарак, Личк, Алаверди, Личквас-Тей, Тертерасар и Арманис. Общие запасы висмута составляют 7425,5т, из коих 95% приходится на долю медно-молибденовых руд Каджарана. Основными концентраторами висмута в рудах медно-молибденовой формации являются халькопирит (60-430г/т), галенит (420-670г/т), пирит (20-340г/т) и молибденит (от 10-30 до 230г/т). Из неучтенных запасов наибольший интерес представляют полиметаллические руды Гладзорского, Азатекского, Какавасарского, Привольненского и Каятехского месторождений. В этих рудах содержания висмута достигают: в галените – 100-1000г/т, а в свинцовом концентрате – 2000-10000г/т (табл. II.18).

Исследованиями Г.О. Пиджяна и А.С.Фарамазяна (1972) установлено, что в месторождениях медно-молибденовой формации широко представлены висмутовые минералы – висмутин, виттихенит, эмплектит, самородный висмут, галеновисмутит, теллуrowисмутит, тетрадимит, айкинит и купровисмутит. При этом, как видно из табл. II.18, наиболее высокие содержания висмута концентрируются в халькопирите, молибдените, пирите и галените (Амирян,

Содержание висмута в минералах рудных месторождений Армении
(по данным Г.О.Пиджяна, А.С.Фарамазяна, Н.С.Хачатряна,
Т.О.Амиряна, В.О.Пароникяна и др.)

N/N п/п	Формация, месторожде- ние	Халько- пирит	Молибде- нит	Пирит	Гале- нит	Сфале- рит	Эндо- гит	Руда
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Медно-молибденовая:							
	Каджаран	210	33	23	670	24		
	Дастакерт	430	230	340	570	15		
	Агарак	65	12	46	-	-		
	Анкаван	220	38	30	420	55		
	Джиндара	60	-	85	-	-		
	Айгедзор	145	-	55	-	-		
2.	Полиметаллическая:							
	Гладзор	20			515			55
	Какавасар	78			85	20		125
	Каятех	165			100	20		65
	Привольное				100			55
	Мовсес					30		10
3.	Золотополиметаллическая:							
	Сотк	200	антимонит 1500			200	бл. руды 400	
	Меградзор	25		30	1000	20	бл. руды 30	
	Азатек				650			550
	Марц				20			10
4.	Серно-медно-колчеданная							
	Капан	65	20				300	8
	Шамлуг	30	10					18
	Алаверди	3	10					
	Агви	10	5					3
	Тандзут		20				100	
	Меградзор		10				100	

1972). В рудах месторождений золотополиметаллической формации висмут в основном представлен теллуридами – теллуrowисмутитом и тетрадимитом, хотя и встречаются некоторые из вышеперечисленных минералов. В рудах этой формации максимальные содержания висмута связаны с антимонитом, галенитом, блеклыми рудами, халькопиритом, сфалеритом и пиритом. В рудах серно-медно-колчеданной формации висмут представлен в основном в виде изоморфной примеси, однако встречаются также висмутин, тетрадимит, теллуrowисмутит, виттихенит и эмплектит. При этом концентраторами висмута в рудах этой формации являются халькопирит, пирит и энаргит, причем последний в рудах Капана, Тандзута и Мецдзора.

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-теллуrowисмутитовых рудах содержания основных компонентов намного превышают минимальный порог промышленных руд.

Технология обогащения и металлургической переработки концентратов с получением металлического висмута в мировой практике хорошо разработана. Для переработки висмутсодержащего сырья применяется технологическая схема, включающая гравитацию, магнитную сепарацию и флотацию. Из вольфрамит-касситеритового концентрата при электромагнитной сепарации основная часть висмута переходит в немагнитный оловянный концентрат. Извлечение висмута на стадии гравитации не превышает 30%. При флотации минералы-носители висмута концентрируются с сульфидами Pb, Cu и Mo. Товарными висмутитовыми продуктами являются: висмутитовый, свинцовый и оловянный концентраты (табл. II.19).

Таблица II.19

Обобщенная схема обогащения висмутовых и висмутсодержащих руд
(Минцер, Теремецкая, Усова, 1997)

N/N п/п	Промышленный тип руд	Схема переработки	Висмутсодержащий товарный продукт (концентрат)
1.	Молибденовый	флотация	молибденовый, медный
2.	Вольфрамитовый	гравитация+флотация	висмутовый, свинцовый
3.	Шеелитовый	флотация	висмутовый, медный
4.	Оловянный	гравитация+флотация	оловянный, свинцовый, медный
5.	Золоторудный	флотация	медный
6.	Вольфрамитовый или (и) касситеритовый россыпи	гравитация+электромагнитная сепарация	оловянный, висмутовый

Свинцовые висмутсодержащие концентраты являются наиболее технологичным сырьем для получения висмута, хотя в мире значение медных концентратов огромно. Именно с медеплавильными заводами связано основное количество висмута, получаемого крупными его продуцентами – Японией, Австралией, Канадой. При содержании висмута около 0,03% в медном концентрате 80% его улавливается в пылях электрофильтров, 4% – остается в анодной меди и 16% – теряется с газами. Гидрометаллургией из пылей получают металл с содержанием 93% висмута, из промпродуктов молибденового производства извлекается 96-97% висмута. Висмут является вредной примесью для меди, никеля, свинца, олова и др. и ограничивается по ГОСТ-у тысячными долями.

Не найдены пока эффективные способы выщелачивания висмута в селективные концентраты при обогащении медно-свин-

цово-цинковых руд; сульфиды висмута, обладающие близкими флотационными свойствами с сульфидами свинца и меди, переходят в концентраты основных металлов, из которых извлекается лишь часть содержащегося в них висмута. 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 конверторных пылей с получением коллективного кадмий-висмутового цементата. Технологические показатели извлечения висмута на всех стадиях переработки высокие. Товарным биржевым продуктом является висмут высокой чистоты – >99,99%.

Висмут – металл, относящийся к общетоксичным веществам. Из тяжелых металлов он менее токсичен. Вредное воздействие висмута на растения, животных, а также человека пока не выявлено.

ВАНАДИЙ. Сфера использования ванадия очень большая. Он широко используется в металлургии для легирования чугуна и стали. Такие стали широко применяются в самолетостроении, машиностроении и в военной промышленности. Ванадий используется также в электротехнической, химической, керамической промышленности. При производстве труб для нефте- и газопроводов с толщиной стенок более 1см ванадий – вне конкуренции. Перспективы применения ванадия связаны с использованием его сплавов на основе титана в качестве конструктивных материалов атомных и термоядерных реакторов, в гидросистемах реактивных самолетов. В титановых сплавах для аэрокосмических исследований ванадий незаменим, а в катализаторах и некоторых химических процессах ванадий легко заменяется платиной и никелем. В некоторых сталях ванадий с успехом заменяет ниобий и вольфрам. Обычно мелкие легирующие элементы могут быть заменены ванадием, кроме магния, молибдена, титана и вольфрама. Сплавы ванадия – солван (25-30% V), феррованадий (35-80% V), корван (83-86% V), нитрован (78-80% V) – применяются в качестве присадок в черной металлургии (Минцер и др., 1997).

Ванадий – металл серебристо-серого цвета, в чистом виде ковкий. Обладает парамагнитными свойствами, а при температуре ниже минус 268,7°С – сверхпроводимостью. Соединения V^{2+} и V^{3+} неустойчивы и являются сильными восстановителями. В природе широко распространены соединения V^{5+} . Ванадий характеризуется стойкостью к водным растворам минеральных солей, но легко растворяется в щелочах с образованием ванадатов, а также в плавиковой кислоте, царской водке, а при нагревании – в концентрированных азотной и серной кислотах. Соединения ванадия токсичные. Ванадий имеет геохимическое сродство с Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Al, Co, Ni и относится к группе "переходных элементов", находящихся совместно в природных соединениях. Близость кристаллохимических свойств V^{3+} и Fe^{3+} способствует широкому проявлению ванадия в эндогенных образованиях с литофильными и в меньшей степени сидерофильными свойствами. В зоне гипергенеза ванадий в основном встречается в виде V^{5+} и проявляет органические свойства. Ванадий тесно связан с фосфатами, где легко замещает P_2O_5 . В гидротермальных процессах ванадий проявляет халькофильные свойства (Магакьян, 1955; Вольфсон, Дружинин, 1975; Борисенко, 1984; Борисенко и др., 1998).

Общие мировые запасы ванадия (без России) составляют 47,6 млн.т. (V_2O_5), из которых подтвержденные более 10 млн.т. В ЮАР сосредоточены 52,5% запасов, в Китае – 25,6%, в Австралии – 6,5%, в Новой Зеландии – 4,8%, а в Венесуэле – 1,6%. Ученные запасы ванадия в России сопоставимы с запасами ЮАР и локализованы в титаномагнетитовых рудах магматогенных месторождений Урала (Гусевогорское, Первоуральское, Волковское), а также в бокситах Архангельской области (Иксинское), Марий Эл (Вежаю-Ворыквинское, Верхне-Щугорское и Восточное), Урала (Красная Шапочка, Черемуховское, Ново-Калинское, Тотинское) и Красноярского края (Чадобецкая группа). Запасы ванадия в бокситах малы и составляют 5-6% от общих запасов (табл. II.20).

Промышленные содержания ванадия колеблются от десятых долей до целых процентов V_2O_5 . Минимальное содержание в собственно ванадиевых рудах 0,3-0,7% V_2O_5 , в титаномагнетитах – 0,25, а в оолитовых железных рудах (при попутном извлечении

ванадия) содержится 0,05-0,1% V (Вольфсон, Дружинин, 1975). Кларк ванадия в земной коре 0,02%.

Годовое производство ванадия составляет около 68 тыс.т., из них в России – свыше 40 тыс.т. Ванадий является дефицитным металлом. Основными его экспортёрами являются ЮАР и Финляндия. Крупнейшим – особо крупным – месторождением мира является Гусевогорское (Россия) титаномагнетитовое месторождение с запасами $V_2O_5 > 8$ млн.т.

Большинство месторождений, из руд которых извлекается ванадий – комплексные. Ванадий получают из них попутно с главными полезными компонентами: железом, титаном, ураном, свинцом, цинком, медью, алюминием, фосфором. Около 70% ванадия получают из титаномагнетитовых и ильменит-магнетитовых руд, 25% – из карнититовых, тюямунитовых, роскоэлитовых руд и ванадиеносных глин, а остальная часть приходится на деклуазит-ванадинитовые руды зоны окисления полиметаллических месторождений, нефть (Венесуэла), бокситы, фосфориты, золы углей, горючие сланцы (Рудные месторождения, 1978).

Из ванадиевых минералов промышленное значение имеют в основном сульфиды, силикаты, водные и безводные ванадаты: патронит, роскоэлит (мусковит, богатый ванадием), ванадинит, деклуазит, моттрамит, карнитит, тюямунит, корвусит, ванадий содержащий титаномагнетит. Повышенные содержания ванадия (до 1-2% V_2O_5) наблюдается в эгирине, сфене, гранате, амфиболах, но из них ванадий пока не извлекается.

Основным сырьем ванадия являются железованадиевые руды. Обогащение титаномагнетитовых руд производится по традиционным технологическим схемам. Извлечение ванадия из продуктов переработки титаномагнетитовых руд осуществляется гидрометаллургией и пирометаллургией. Гидрометаллургический способ освоен на фабрике Отанмяки (Финляндия), где в титаномагнетитовых рудах содержание ванадия составляет 0,24%, титана – 7% и железа – 35%. Технологический ванадиевый продукт содержит 90,5% V_2O_5 и 9% – V_2O_4 . Пирометаллургический способ переработки железованадиевых окатышей и агломератов широко применяется в России, в результате которого получают ванадиевые

**Промышленные типы месторождений ванадия
(Минеральное сырье. Ванадий, 1998)**

№/№ п/п	Основной компонент и попутные	Формация месторож- дения	Промышлен- ный тип руды	Минералы- концен- траторы	С о д е р ж а н и е, %			Масштаб орудене- ния	Примеры мес- тоорождений (выделены экс- плуатируемые)
					руда	кон- цен- трат	мине- рал		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Fe Ti, Sc	Магматическая	железородный в пироксенитах и габброидах	титано- магнетит	0,1-1	0,3-1,2	0,3-1,5	особо крупный	Гусевогорское (РФ), Бушвельдский, комплекс (ЮАР) Варамби (Австралия), Лик-Тио (Канада), Тегавус (США), Родсенд (Норвегия)
2.	Fe	Скарновая	известково- скарновый	магнетит	0,02-0,14	0,1-0,3	до 0,35	крупный	Ромераль (Чили)
3.	V Pt, Pd, Au, Ag, U	Гидротермаль- но-метасомати- ческая	метасоматиты альбит-карбонат- слоистые	роскоэлит	1,3-6,2	-	5,6-12	средний	Падминское (РФ)
4.	V	Контактово- метасомати- ческая	ванадиеносные глины	шодерит, монтморил- лонит	0,6	1.0	0,1-12,5	мелкий	Уильсон-Спрингс (США)

Продолжение таблицы П.20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.	Pb Cu, Zn	Окисленных руд	окисленные руды полиметаллических месторождений	деклуазит, ванадинит, купродеклуазит	1,1-1,7	до 10	9,5-12,3	крупный	Берг-Лукас (Намибия), Кабве (Замбия)
6.	Al Ga	Осадочная	бокситы	бемит, гиббсит, магнетит, гематит	0,02-0,1	-	0,02-0,4	средний	Кальинское, Красная Шапочка (РФ)
7.	P U	Осадочная	фосфориты	аморфные фосфаты кальция	до 0,5	0,15	-	средний	Скалистые горы (США)
8.	C Ni, Ge, S, U	Осадочная	нефть высокосернистая		до 0,3	-	до 60 в золе	средний	Мелоис, Моршаль (Венесуэла)
9.	C Ni, Cu, Zn, Mo	Осадочная	битумы		до 0,3	-	до 20 в золе	мелкий, средний	Садкинское, Ивановское (РФ)
10.	U Sc, Re	Инфильтрационная	урановые песчаники	карнотит, поямунит, роскоэлит	0,5-2,8	-	10-11	мелкий, средний	Амброзия-Лэйк (США)
11.	Fe Ti, Co	Метаморфическая	железорудный в габбро и габбро-амфиболитах	магнетит	до 0,24	0,8-1,2	0,8-1,3	мелкий	Кусинское (РФ) Отанмяки (Финляндия)

шлаки: на Чуйском металлургическом заводе содержание V_2O_5 в шлаке составляет 14%, а на Нижне-Тагильском комбинате – до 22%. Из ванадиевых шлаков пирогидрометаллургическим способом получают ванадиевые продукты для выплавки лигатур и непосредственного легирования сталей. Крупнейшим производителем ванадиевых шлаков, пентоксида ванадия и феррованадия является Россия. Химический концентрат ванадия содержит 87-88% оксида ванадия. Извлечение ванадия из шлака в химический концентрат составляет 68-70%. Сухой осадок содержит 90-92% V_2O_5 и 2,5-3,5% MnO .

Определенные сложности имеются при переработке смешанных карнотит-роскоэлитовых руд.

Комплексное использование сырья с попутным извлечением ванадия успешно осуществляется из легковоскрягаемых карнотитовых руд месторождения Рудное (Узбекистан). Уран-ванадиевые руды этого месторождения являются уникальными и не имеют аналогов в мире по вещественному составу и геологическим особенностям. Содержание ванадия (V_2O_5) в рудах составляет 1%, а содержание урана – 0,1%. Это руды смешанного типа (Шаталов и др., 2003). Основные урановые минералы (уранованадаты) представлены карнотитом и тюямунитом. Ванадий представлен трудно-воскрягаемым роскоэлитом, находящимся в сложной ассоциации с оксидами, гидроокислами железа и аминокислотами, что в процессе гравитация+флотация+избирательное измельчение не позволяет получить отвальные хвосты по содержанию V_2O_5 . Поэтому ванадий выщелачивается из роскоэлита в кинетическом режиме и в автоклаве, однако при этом в раствор переходит большая часть железа, что создает трудности при переработке пульпы. Уран и ванадий по комплексной технологии ВНИИХТ (Москва) извлекают из пульпы сорбционным способом с последующим получением товарных оксидов. Технология обеспечивает извлечение в готовую продукцию 97% урана и 80% ванадия (Шаталов и др., 2003).

Структура потребления ванадия в США и России следующая: стали различных марок – 85%, сплавы (главным образом Ti_6Al_4V) – 10%, химическая промышленность – 5%. В некоторых сталях ванадий с успехом заменяет ниобий и вольфрам. Крупнейшим

производителем ванадиевых шлаков, пентоксида ванадия и феррованадия является Россия. Ванадиевые шлаки в России производят на Нижне-Тагильском металлургическом комбинате и Чусовском металлургическом заводе. В шлаках среднее содержание V_2O_5 составляет 12-17%. Сплавы ванадия – солван (25-30% V), феррованадий (35-80% V), корван (83-86% V), нитрован (78-80% V) – применяются в качестве присадок в черной металлургии (Борисенко, Слотвинский-Сидак, Поликашина, 1998).

Промышленные стандарты на металлический ванадий пока не утверждены, однако для лигатур, используемых при выплавке стали, действуют нижеследующие нормы (табл. II.21). Лигатура поставляется в кусках до 4-5кг весом.

Таблица II.21

Нормативные показатели лигатур ванадия, используемых при выплавке стали
(Справочник металлурга по цветным металлам)

Марка лигатуры	Содержание V	Содержание элементов, %					
		примесей не более					
		C	Si	P	S	Al	As
Bg 1	≥ 35	0,75	2,0	0,1	0,1	1,0	0,05
Bg 2	≥ 35	0,75	3,0	0,2	0,1	1,5	0,05
Bg 3	≥ 35	1,0	3,5	0,25	0,15	2,0	0,05

В титановых сплавах для аэрокосмических исследований ванадий незаменим, а в катализаторах и некоторых химических процессах ванадий легко заменяется платиной и никелем. Обычно мелкие легирующие элементы могут быть заменены ванадием, кроме колумбия, магния, молибдена, титана и вольфрама.

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 эксплуатируемого медно-молибденового месторождения составляет 200г/т. Около 80-85% ванадия приходится на магнетит. Среднее содержание магнетита в рудах составляет 1,0% при общем содержании железа 3,5-4,5%. Магнетит в руде тесно связан с гематитом, титаномагнетитом, ильменитом, рутилом и кулсонитом. По нашим данным 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. 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 НИИ черных металлов РФ – 0,45%. Кроме ванадия, в каджаранском магнетитовом концентрате установлено (%): TiO_2 – до 6,1; Mg – 0,2; S – 0,2; P – 0,13; Al_2O_3 – 2,5; SiO_2 – 1,3. На Агаракском месторождении ванадий, как и титан, 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 традиционные руды титаномагнетитовых месторождений. Впервые в мировой практике хвосты обогащения медь-молибден-порфириновых месторождений выдвигаются нами в качестве сырья для получения ванадия. Одновременно магнетитовые концентраты можно использовать для замены высококачественных железных руд при производстве ферромolibдена. Имеющиеся материалы позволяют утверждать, что при технологической и минералого-геохимической обеспеченности можно организовать также производство дефицитного феррованадия (проекты “Ремет” и “Молибден”).

Определенный интерес с точки зрения ванадиеносности представляют магматические месторождения титаномагнетитовых руд (железорудные) Армении. Однако армянские железорудные месторождения, в отличие от мировых геотипов, бедны ванадием и на данной стадии изученности промышленный интерес не представляют (табл. II.22).

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%. По последним данным, содержание V_2O_5 в Сваранцских рудах – 0,13%. По результатам химических анализов мономинеральных проб, по типам руд наиболее богаты ванадием массивные и шлировые титаномагнетитовые разновидности – 0,3-0,4%, прожилково-вкрапленные разновидности – 0,1-0,2%, бедные редковкрапленные титаномагнетитовые разновидности – 0,03-0,05%.

**Содержание ванадия и титана в титаномагнетите
магматических месторождений
(Л.Ф.Борисенко, 1978)**

№/№ n/n	Магматическая формация	Типы руд	Примеры месторождений	Содержание, %	
				Ванадий	Титан
1	2	3	4	5	6
1.	Габбро-диорит-диабазовая	массивные и вкрапленные в габбро и габбро-амфиболитах	Кусинское, Медведевское, Копанское (Урал)	<u>0,31-0,62</u> 0,42	<u>3,36-12,78</u> 5,90
2.	Габбро-пироксенит-дунитовая	шлирово-вкрапленные и массивные в пироксенитах, верлитах, габбро и горн-блендитах	Гусевогорское, Качканарское, Висимское, Волковское, Первоуральское (Урал)	<u>0,05-0,84</u> 0,35	<u>0,61-4,32</u> 1,81
3.	Габбро-моицонит-сиенитовая	вкрапленные в оливинитах, пироксенитах, габбро	Сваранское, Камакарское (Армения)	<u>0,16-0,34</u> 0,22	<u>0,71-2,22</u> 1,46
4.	Габбро-сиенитовая	шлирово-вкрапленные и массивные в оливинитах, перидотитах, пироксенитах, габбро, амфиболитах	Ельть-Озеро (Сев.Карелия) Гремяха-Вырмес (Кола)	<u>0,11-0,45</u> 0,31	<u>2,86-11,64</u> 7,14

Продолжение таблицы П.22

1	2	3	4	5	6
5.	Дифференцированных габбровых и норитовых интрузий	массивные в норитах, анортозитах, габбро, пироксенитах	месторождения Бушвельдского комплекса (ЮАР)	$\frac{0,2-0,98}{0,56}$	$\frac{7,24-9,48}{8,27}$
6.	Габбро-диабазы формации мигматитов амфиболитовой фации и связанных с ними анатектитов	вкрапленные в габбро-диабазы	Пудожгорское, Койкарское (Карелия)	$\frac{0,4-0,73}{0,55}$	$\frac{6,0-13,0}{9,2}$
7.	Анортозитовая	вкрапленные и массивные в габбро, анортозитах, пироксенитах, оливинитах	Кручининское (Забайкалье), Чинейское (Вост. Сибирь), Цагинское (Кола)	$\frac{0,12-0,55}{0,35}$	$\frac{6,2-13,6}{7,45}$
8.	Щелочно-ультраосновная	шпирово-вкрапленные в оливинитах и пироксенитах	Кутда, Бор-Урях, Одихичса (Сибирь), Ковдор, Салма и др. (Кола)	$\frac{0,01-0,274}{0,081}$	$\frac{1,0-12,15}{5,46}$

Следует отметить, что руды Разданского скарнового месторождения на ванадий почти не изучены. По нашим данным, содержание ванадия в магнетитовом концентрате составляет 0,03-0,05% V_2O_5). Обычно руды контактово-метасоматических месторождений относительно бедны на ванадий.

В рудах Капутанского 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 отметить, что руды армянских 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.

Ванадий – высокотоксичный, но жизненно необходимый элемент. Ванадий относится к третьему классу опасности. Наиболее токсичны соединения пятивалентного ванадия (Борисенко и др., 1998). Для теплокровных животных является ядом, т.к. вызывает нарушение кровообращения, обмена веществ, приводит к аллергическим заболеваниям кожи и нарушениям нервной системы. При добыче и обогащении ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд ванадий не представляет существенной экологической опасности.

ГАЛЛИЙ, ГЕРМАНИЙ, ИНДИЙ, ТАЛЛИЙ. Эти элементы имеют много общих физических и геохимических свойств и парагенетически тесно связаны с месторождениями полиметаллической (золотополиметаллической) формации. Это полезные ископаемые, которые широкое промышленное применение получили недавно. В последние годы наблюдается тенденция прироста среднегодового производства и скачкообразное увеличение спроса на них. Это в

первую очередь связано с их потреблением в гелиоэнергетике в связи с открытием высокотемпературной сверхпроводимости, а также другие недавно обнаруженные свойства (легирующие, оптические, медико-биологические и др.)

ГАЛЛИЙ – мягкий, пластичный металл серебристо-белого цвета. При обычной температуре он очень слабо окисляется, но реагирует с хлором и бором, а при сильном нагревании активно соединяется с кислородом, серой и йодом. Воду галлий не разлагает. Галлий растворяется в царской водке, в соляной и серной кислотах, а также в концентрированной хлорной кислоте. Кларк галлия в земной коре 19г/т (Минеральные ресурсы. Галлий, 1998).

Основным сырьем галлия в мире до последнего времени были германий-галлиевые полиметаллические руды месторождения Апекс (США), содержащие 0,039% галлия и 0,079% германия. Сейчас в мире налажено производство галлия преимущественно из бокситов (около 90%) и щелочных эффузивов с содержанием галлия 0,011% (например, месторождение Брохмен, Австралия) (табл. П.23). Общие мировые запасы галлия в бокситах (без СНГ) составляют 414 тыс.т. В России основные запасы галлия сосредоточены в нефелиновых породах и рудах – до 65%, в бокситах – 33%, а в колчеданно-полиметаллических рудах – в пределах 2%. В настоящее время в России 65% галлия производят из бокситов. В Англии ежегодно добывают около 1 тыс.т галлия из углей. Следует учесть, что важным сырьем для производства галлия являются свинцово-цинковые (полиметаллические) руды, хотя и извлечение галлия в цинковый концентрат не превышает 10%. Основная часть галлия уходит в хвосты с алюмосиликатами.

В настоящее время подразделяют промышленные типы месторождений галлия на основные, вторичные и потенциальные (резервные). Основными источниками считаются бокситы, нефелинсодержащие породы (руды), колчеданно-полиметаллические руды. Второстепенные виды сырья используются в небольших масштабах – “железные шляпы” медно-полиметаллических месторождений, угли и сланцы, медные песчаники, фосфатные руды. В настоящее время разрабатываются угли Англии, сланцы с медистыми песчаниками Германии (Мансфельд) и Казахстана (Жезказган)

**Промышленные типы месторождений галлия
(Минеральное сырье. Галлий, 1998)**

№/№ п/п	Тип сырья	Генетический тип месторождения	Содержание галлия в по- родах (рудах), г/т	Минералы- концентраты галлия	Примеры месторождений (выделены эксплуатируемые)
1	2	3	4	5	6
1.	Основной				
1.1.	<i>Бокситы</i>	осадочный	50	-	месторождения Суринама, Индии и США, месторождения Тимана (РФ)
1.2.	<i>Нефелинсодержащие породы и руды</i>	магматический	37 (в концентратах)	нефелин, содалит	Хибинь (РФ)
1.3.	<i>Цинково-свинцово-медные (полиметаллические) руды</i>	гидротермальный	1200-5000	галлит, германит, реньерит, сфалерит, зенгегит, борнит	Цумеб (Намибия), Кипуши (Заир)
1.4.	<i>Колчеданно-полиметалли- ческие и свинцово-цинко- вые руды</i>	гидротермальный	10-320	сфалерит, халькопирит	Апекс (США), Урупское, Золотушинское (РФ), месторождения Японии, Канады, Италии, Австралии

1	2	3	4	5	6
2.	Второстепенный				
2.1.	<i>Зона "железной шляпы" медно-подметаллического месторождения</i>	гипергенный	1100-7000 (в ярозите) 100-150 (в остальных)	ярозит, лимонит, гетит, гематит, плюмбоярозит	Апекс (США)
2.2.	<i>Угли</i>	осадочный	7-8.5	-	месторождения Англии
2.3.	<i>Медистые песчаники и сланцы</i>	осадочный	2-8	-	Мансфельд (Германия), Жезказган (Казахстан)
2.4.	<i>Фосфатные руды</i>	осадочный	1-3	фосфаты	месторождения США
3.	Потенциальный				
3.1.	<i>Алуиты</i>	гидротермальный	10-40	алуит	Загликское (Азербайджан)
3.2.	<i>Редкометалльнозамещающие гранитные пегматиты</i>	пегматитовый	до 1000-2000	сподумен, лепидолит, мусковит, турмалин, амблигонит	Берник-Лейк (Канада), месторождения Кольского п-ова, З. Саян, В. Забайкалья (РФ), Кривого Рога (Украина), Калбы (Казахстан)
3.3.	<i>Оловянные (касситерит- сульфидные)</i>	гидротермальный	до 100 (в концентрате)	касситерит, сфалерит	месторождения Боливии, Синанча (РФ)
3.4.	<i>Титаномагнетитовые и ильменитовые месторож- дения</i>	магматический, метаморфогенный, россыпной (прибрежно- морской)	первые десятки г/т в минералах	ильменит, титаномагнетит, магнетит, ставролит, дистен	Мальшевское (Украина) – россыпи

при среднем содержании галлия 2-8г/т. К потенциальным резервным источникам относятся малореализуемые и складированные виды сырья – алуниты, редкометалльнозамещенные гранитные пегматиты, оловянные титаномагнетитовые и ильменитовые руды.

Следует отметить, что в ближайшие годы потенциальный источник Ga в виде алунитов может стать конкурентоспособным основным источником, т.к. они являются составной частью новой рудной формации – покрова вторичных кварцитов, перспективной на Au(Cu)–U оруденение в крупных масштабах с благоприятными горно-геологическими условиями для открытой разработки. К этой формации относятся Амулсарское, Вардадзорское и другие месторождения Армении.

Собственные минералы галлия в природе встречаются очень редко: это галлит – $CuGaS_2$, зенгеит – $Ga(OH)_3$, майгрюн и корневалит. Эти минералы были обнаружены в рудах германий-полиметаллического месторождения Цумеб (Намибия) и стратиформном медно-кобальтовом месторождении Кипуши (Заир). Исследованиями В.В.Иванова установлено наличие галлия в виде элемента-примеси в более чем 150 минералах, из которых основными носителями являются мусковит, плагиоклазы, хлорит, биотит, магнетит, касситерит и халькопирит. В рудах полиметаллической формации содержание галлия в сфалерите достигает 900г/т, халькопирите – 73г/т, теннантите – 70г/т. Особенно выделяются сфалериты из колчеданно-полиметаллических и свинцово-цинковых месторождений. Отмечаются случаи содержания галлия в сфалерите 0,5%. В германите содержания галлия достигают 0,34-1,85%, бриартите ($Cu_2(FeZn)GeS_4$) – 2,2%, а в ставролите – 0,15%. Металлический галлий получают в основном электролизом щелочных алюминато-галлатных растворов, при степени извлечения 99%. Степень цементации галлия при переработке бедных алюминато-галлатных растворов цементацией алюминия составляет 97-98%. Для получения галлия высокой чистоты (99,9999-99,99999%) применяют комбинированные методы очистки: кислотно-щелочную и вакуумную обработки, электролитическое рафинирование, зонную плавку (Вершковская, Зуева, Прокопчук, 1998).

Производство галлия налажено во Франции, Японии и Нор-

вегии. Во Франции предложен способ извлечения галлия, индия и германия из кислых растворов $ZnSO_4$ посредством фазовых ионообменников с фосфорными группировками с последующим вымыванием галлия содовым раствором. Извлечение галлия более 60%. Для получения чистого галлия (99,999%) из скрапа GaAs и GaP в Японии запатентован эффективный способ термического разложения материала в атмосфере чистого азота.

Основным товарным продуктом галлия является его арсенид, который широко используется для изготовления полупроводниковых соединений (более 90% производства), оптоэлектронных устройств и волоконно-оптических линий связи большой протяженности, боеприпасов точного наведения. Галлий используется также при производстве легкоплавких сплавов для терморегуляторов, припоев "холодной" пайки, в атомной технике и в энергетических ядерных реакторах.

Геохимия галлия в рудах и породах Армении изучена И.Г. Магакьяном, Г.П.Багдасаряном, Г.О.Пиджяном, М.Л. Лачиняном А.Г.Акопяном, Б.М.Меликсетяном и Н.С.Хачатряном.

Галлий является характерным редким элементом формации нефелиновых и щелочных сиенитов. В этом отношении особый интерес могут представлять нефелиновые и щелочные сиениты Тежсарского и Мегринского комплексов. Эти образования (в особенности нефелиновые сиениты Тежсара) в начале 60-х годов прошлого столетия академиком М.Г.Манвеляном рассматривались как сырье для производства алюминия. Были проведены технологические исследования с получением товарной продукции в виде глинозема, портланд-цемента, метасиликата кальция, ереванита, поташа, кремнезема и метасиликата натрия. Хотя и технологическая схема переработки называлась комплексной, однако в ней не предусматривалась возможность попутного извлечения других полезных компонентов, в частности галлия, содержание которого варьировало в пределах 0,01-0,003%, несмотря на то, что в те годы нефелиновые сиениты уже рассматривались как сырье для получения галлия. Запасы этого сырья огромны: в пределах Тежсарского комплекса – 500 млн.т, (Ga – 15000т, Лачинян, 1962), а в пределах Мегринского комплекса – в 4-5 раз больше.

Геохимия галлия в щелочных образованиях Памбакского хребта и Зангезура детально изучена (Пиджян, Акопян, Меликсетян, 1972). Установлено, что галлий в основном накапливается в фельдшпатоидных пегматитах щелочных комплексов, в то же время одноименные минералы Мегринского комплекса обогащены галлием по сравнению с Тежсарским комплексом в 2-10 раз больше (табл. II.24 и II.25). Проведенные исследования показали, что концентрация галлия на последних стадиях кристаллизации щелочного расплава – пегматитового процесса – обусловлена близостью ионных радиусов трехвалентного Ga, Al и Fe. Промышленный интерес

Таблица II.24
**Распределение галлия в формации нефелиновых
и щелочных сиенитов Армении
(Пиджян, Акопян, Меликсетян, 1972)**

N/N n/n	Главные типы пород	Содержание галлия, %	Коэффициент концентрации	
			в щелочных породах	в изверженных породах
1.	Тежсарский комплекс			
	Нефелиновые сиениты	0,0025	0,7	1,4
	Щелочные сиениты	0,0015	0,4	0,8
	Нефелиновые пегматиты	0,01	2,5	5,2
2.	Мегринский комплекс			
	Щелочные сиениты	0,006	1,5	3,1
	Фельдшпатоидные пегматиты	0,01	2,5	5,2

Таблица II.25
**Распределение галлия в минералах нефелин-сиенитовой формации
(Пиджян, Акопян, Меликсетян, 1972)**

N/N n/n	Минералы- носители галлия	Тежсарский комплекс		Мегринский комплекс	
		Нефелиновый сиенит	Нефелиновый пегматит	Щелочной сиенит	Фельдшпатоидный пегматит
1.	Нефелин	0,003	0,01	0,01	0,03
2.	Содалит	0,005	0,02	0,02	0,03
3.	Полевой шпат	0,001	0,003	0,003	0,003
4.	Цеолиты	0,03	0,03	0,03	0,05
5.	Корунд	0,1	0,1	-	0,3

могут представлять нефелиновые сиениты и полевошпатовые концентраты переработки глиноземистого сырья. Следует отметить, что, к сожалению, эти выводы не подкреплены специальными технологическими исследованиями на галлий и поэтому “промышленный интерес” – понятие условное.

Геохимия галлия в рудах полиметаллической формации изучена наиболее полно Н.С.Хачатряном (1973). Галлий в рудах полиметаллической формации Армении самостоятельных минералов не образует и часто встречается в виде изоморфной примеси в основном в сфалерите, реже в галените, пирите и халькопирите.

На госбалансе республики числятся запасы галлия только по Шаумянскому месторождению; по категории C_1+C_2 – 258,9т, при среднем содержании в руде 16,68г/т и в сфалерите (цинковом концентрате) – 140г/т. Определенный промышленный интерес могут представлять руды полиметаллических месторождений Вайка (Гладзор, Азатек, Какавасар) и Алавердской группы (Ахтала, Шамлуг), где среднее содержание галлия составляет в рудах 10-30, в цинковом концентрате – 70-100, иногда до 300, а в свинцовом и медном концентратах – от 5 до 80г/т. Запасы галлия в Ахтале – 9т (Хачатрян, Акопян, 1962).

Для сравнения приводим содержания галлия в сфалеритах из свинцово-цинковых месторождений мира (табл. П.26).

Приведенные данные показывают, что содержание галлия в сфалеритах полиметаллических месторождений различного типа по Армении в принципе соответствует таковым по месторождениям мира. В обоих случаях содержание галлия в сфалеритах из колчеданно-полиметаллических месторождений составляет в среднем 50г/т, в стратиформных месторождениях в карбонатных породах – 15-25г/т, а в низко-среднетемпературных образованиях – 70-109г/т.

При обогащении руды эксплуатируемого Шаумянского месторождения значительная часть галлия извлекается в цинковый концентрат (около 58%), остальная часть переходит в хвосты, т.к. он изоморфно входит в силикаты рудовмещающих пород и метасоматитов.

Небольшие содержания галлия установлены в рудах месторождений меднорудной, медно-молибденовой и золоторудной фор-

**Содержание галлия в сфалеритах из свинцово-цинковых месторождений мира
(Геологический справочник редких металлов, 1989)**

№/№ п/п	Тип месторождения	Страна, регион	Примеры месторождений	Содержание галлия, г/т
1.	Колчеданно-полиметаллический	Рудный Алтай	Лениногорское, Золотушинское, Зырянское	43
		Казахстан, Салаир Финляндия, Швеция Австрия, Италия	Спорино, Текели Оуттокумно, Рентрем Крейцек, Сантандер	27 60 140
	<i>Среднее по типу</i>			50
2.	Стратиформные месторождения в карбонатных породах	Ю.Казахстан	Миргалимсай, Теректы	17
		Кавказ Сибирь Австрия, Италия Польша США	Гумиста Лофатч, Райбл Силезия Джоплин, Галена	30 10 16 28 65
	<i>Среднее по типу</i>			23
3.	Стратиформные месторождения с флюоритом в карбонатных породах	Великобритания	Дербишир, Кумберленд	148
4.	Низкотемпературные месторож- дения в силикатных породах	Кавказ Карпаты Таймыр	Квайса Рахово, Вышково Партизанское	40 50 35
		Средняя Азия Кольский п-ов Великобритания Нигерия	Наугарзан, Такоб Базарное Кордиган Абакалики	140 160 170 170
	<i>Среднее по типу</i>			109

маций (Акопян, Пиджян, 1972). Однако эти руды технологически не изучены, и поэтому нет возможности их технико-экономической оценки в качестве попутного компонента основных полезных металлов.

Апробированная на заводах России рентабельная переработка глиноземного сырья для получения галлия – бокситов и нефелиновых концентратов апатит-нефелиновых руд Хибинского месторождения – свидетельствует о том, что при обосновании комплексного использования сырья нефелиновые сиениты Тежсарского комплекса, рассматриваемые как **потенциальное сырье**, могут быть переоценены как **перспективное сырье** на галлий (при условии проведения специальных минералого-геохимических и технологических работ) и конкурировать с полиметаллическими рудами.

С учетом металлоносности терригенно-угленосных образований Армении при комплексном использовании сырья галлий может представлять промышленный интерес.

Экологическое воздействие металлического галлия на окружающую среду и его биологичность не изучены, хотя галлий признают не токсичным. Вместе с тем ряд соединений галлия с мышьяком (арсениды) являются токсичными, а его сульфаты – ядами замедленного действия. Соединения галлия поражают печень, легкие, кожу и глаза человека (Вершковская, Зуева, Прокопчук, 1998).

ГЕРМАНИЙ – неметалл серебристо-белого цвета, хрупкий, полупроводник, переносится в виде газовой и водной фаз. Будучи гомологом Si и C по IV группе Периодической системы, германий проявляет лито-, халько-, сидеро- и органофильные свойства. Наиболее устойчивы соединения 2^+ и 4^+ -валентного германия. Некоторые его свойства аналогичны Sn, Pb, Zn, Cu, Ag и As, с которыми образует парагенетические ассоциации. В эндогенных условиях устойчивы его металлоорганические соединения, а в экзогенных – проявляет органофильные свойства. Германий на воздухе и в воде стойкий, окисляется при температуре выше 700°C . Со щелочными растворами реагирует слабо; на него не действуют соляная и разбавленная серная кислоты; взаимодействует с хлором, растворяется в царской водке и щелочном растворе H_2O_2 . Кларк

германия в земной коре 1,4г/т (Иванов и др., 1989; Иванов, Мейтов, 1998; Еремеев и др., 1999).

Германий образует собственные минералы; они относятся к редким и представлены сложными сульфидами, оксидами, гидроксидными и водными сульфатами. К наиболее распространенным минералам относятся германит – $Cu_3(Fe,Ge)S_4$ и реньерит – $(Cu,Fe)_3(Fe,Ge)S_4$, аргиродит – Ag_8GeS_6 , стоттит – $FeGe(OH)_6$ (табл. II.27). При этом из 20 основных минералов 13 установлены на месторождениях Кинуши и Цумеб. В виде примеси германий наиболее часто встречается в силикатах и сульфидах, что связано с его геохимическим сходством с Si и Fe и повышенной халькофильностью. Основными минералами-носителями являются сфалерит, халькопирит, магнетит, островные силикаты (топаз, гранат, эпидот), а также кольцевые (турмалин), цепочные (пироксен, амфибол) и слоистые (мусковит, биотит, флогопит) силикаты (табл. II.28).

Основные промышленные типы месторождений объединены в две группы: собственно германиевые месторождения (германий-угольные, германий-сульфидные и германий-сульфосольные) и месторождения с попутным германием (комплексные руды цветных и черных металлов, бурые и каменные угли) (Минеральное сырье. Германий, 1998).

Главными сырьевыми источниками для развитых стран долгие годы остаются уникальные германий-медно-свинцово-цинковые месторождения Цумеб (Намибия) и Кипуши (Заир). По имеющимся данным ежегодно в Бельгию импортируется 3,5 тыс.т германиевых концентратов и порядка 230т германиевого кека. Бельгия является основным поставщиком германия и его продуктов на международном рынке. Экспортерами германия являются также Италия, Германия и Канада. Япония и США импортируют германий из Бельгии, Германии, Италии, частично из Намибии и Нидерландов. Значительное количество германия добывается из цинково-медно-свинцовых месторождений Сен-Сальви (Франция) и стратиформных месторождений США. Достоверных данных о подтвержденных запасах и ресурсах германия нет. Даются противоречивые оценки. Отметим, что по подтвержденным запасам В.В.Иванов и Е.С. Мейтов приводят цифру 2,7 тыс.т, а по данным О.Е. Юшко-

Физико-химические свойства некоторых минералов германия
(Иванов, Юшко-Захарова, 1989; Иванов, Мейтов, 1998)

№/№ п/п	Минерал, источник	Формула, состав, %	Синго- ния	Плотность, г/см ³	Цвет	Типы руд, минеральная ассоциация
1	2	3	4	5	6	7
1.	Аргиродит A. Weissbach, 1886г., Германия: Саксония, Фрейберг; Боливия, Тасмания	Ag_8GeS_6 Ag – 76 Ge – 6 S – 17	ромб. при $t < 600^{\circ}C$	5.6	розовый (анизотропный)	Оловополиметаллический. Серебро самородное, акантит, пираргирит, блеклые руды, пирит, сфалерит, галенит
2.	Гермацит G. Putahl, 1922г., Намибия: Цумеб; Заир: Кипуши, Принц Леопольд; СССР: Уруп, Майкаин	$Cu_3(Fe_{0.5}Ge_{0.5})S_4$ Cu – 47.0-51.0 Fe – 7-8 Ge – 2.7-10.6 S – 29-35 примеси: Zn, Ga, Pb, As, Ag, Mo, Cd, Tl, V, Sb	куб.	4.3	розовый	Германий-полиметалличес- кий. Борнит, энаргит, люцонит, блеклые руды, галлит, сфалерит, галенит, халькопирит, реньерит, бриартит, виттихенит, гринокит, молибденит, сульванит
3.	Реньерит J. Vaes, 1948г., Заир: Кипуши, Принц Леопольд; Намибия: Цумеб; Армения: Дастакерт, Россия: Интернационал	$(Cu,Fe)_3(Fe,Ge)S_4$ Cu – 39.5-44.6 Fe – 13.8-15.2 Ge – 5.9-8.7 S – 30.6-33.3 примеси: Zn, As, Ga	тетр.	4.3	розовый (анизотропный)	Германит, бриартит, галлит, борнит, халькопирит, теннантит, сфалерит, галенит, моусонит

1	2	3	4	5	6	7
4.	Стоттит H.Strunz, 1958г., Намибия: Цумеб	$\text{FeGe}(\text{OH})_6$ $\text{GeO}_2 - 41.7$ $\text{FeO} - 34.8$ $\text{H}_2\text{O} - 21.8$ примеси: $\text{MgO}, \text{CaO}, \text{MnO}$	тетр.	3.6	серый, коричневый	Зона окисления. Замещает германит и реньерит
5.	Аржютит Z.Johan, 1983г., Франция: Аржю	GeO_2 $\text{GeO}_2 - 95.7$ $\text{MnO}_2 - 0.2$ $\text{FeO} - 1.8$ $\text{ZnO} - 2.8$	тетр.	н/опр.	серый	Цинковое месторождение. Сфалерит, касситерит, сидерит, бриартит
6.	Бриартит J.Francotte, 1965г., Заир: Кипуши, Прииц Леопольд; Намибия: Цумеб	$\text{Cu}_2\text{ZnGeS}_4$ $\text{Cu} - 32.0-33.1$ $\text{Fe} - 2.6-9.5$ $\text{Zn} - 7.1-12.2$ $\text{Ge} - 13.7-16.9$ $\text{S} - 32.4-36.1$ примеси: Ga, Sn	тетр.	4.3	кремовый	Германит, галлит, реньерит, теннантит, сфалерит, халькопирит

**Промышленные типы германийсодержащих месторождений
(Минеральное сырье. Германий, 1998)**

№/№ п/п	Месторождения	Вид германие- носности	Минерал- носитель	Кларк концентрации K_k	Масштабы запасов	Примеры месторождений (выделены эксплуатируемые)
1	2	3	4	5	6	7
1.	Германий- угольные	собственный	уголь, углистые породы	50-100	средние, крупные	Павловское, Новиковское (РФ)
2.	Германий- сульфидные	собственный и попутный	реньерит, германит, сфалерит	1000	крупные, средние, мелкие	Кипуши (Заир), Цумеб, Асис (Намбия)
3.	Германий- сульфосольные	собственный и попутный	аргиродит, канфильдит	100	мелкие	месторождения Боливии
4.	Свинцово- цинковые в скарнах	попутный	сфалерит	0,5	мелкие	Алтын-Топкан (Таджикистан)
5.	Олово- сульфидные	попутный	сфалерит, халькопирит	0,5 1	средние, мелкие	месторождения Приморья (РФ)
6.	Медно- молибденовые	попутный	халькопирит	1	мелкие, средние	Каджаран (Армения)

1	2	3	4	5	6	7
7.	Медно-свинцово-цинковые (колчеданно-полиметаллические)	попутный	сфалерит	0,1-10	мелкие	Сен-Сальви (Франция), месторождения Алтая (РФ, Казахстан)
8.	Свинцово-цинковые жильные	попутный	сфалерит	1	мелкие	Садон, Згид (РФ)
9.	Свинцово-цинковые стратиформные	попутный	сфалерит	10	очень крупные	Миргалымсай, Жайрем (Казахстан), месторождения США
10.	Медно-цинково-колчеданные	попутный	сфалерит	1	крупные, средние, мелкие	Гайское (РФ)
11.	Железистые кварциты	попутный	магнетит	5	крупные, средние, мелкие	Яковлевское (РФ)
12.	Железорудные вулканогенно-осадочные	попутный	магнетит	10	крупные, средние, мелкие	Каражал (Казахстан)
13.	Угольные	попутный	уголь	1-5	крупные	месторождения Донбасса (Украина)

Захаровой только в сульфидных концентратах запасы германия превышают 10 тыс.т. Прогнозные ресурсы германия оцениваются по геохимическим данным в пределах 6 млн.т. По учтенным запасам германия в углях, железных и сульфидных рудах страны СНГ занимают первое место в мире. В Российской Федерации запасы германия по типам руд распределяются следующим образом: бурые угли – 47%, коксующие угли – 31,6%, углистые породы – 13,5%, медно-колчеданные и полиметаллические руды – 7,9%. В России германий извлекают из угольного сырья, а в других странах германий попутно извлекают в цветной металлургии. Годовой объем производства германия в пределах 65т. Собственно германиевые месторождения России относятся к германий-угольному типу и представлены Новиковским (Сахалин) и Тарбагатайским (Читинская область) месторождениями, обрабатываемыми открытым способом.

Основным сырьем для производства германия являются руды цветных металлов и угли, в качестве перспективных рассматриваются железные руды (табл. II.28, II.29).

Германий-угольное сырье подвергают циклонной плавке с 90% извлечением германия в возгоны при кратности обогащения 15-16. Товарная продукция представлена возгонами, которые перерабатываются гидро- и пирометаллургическим методами с получением конечного продукта в виде технического GeCl_4 . Извлечение германия в тетрахлорид – 90-93%. При переработке медных германийсодержащих руд получают медно-германиевые концентраты с содержанием Ge 02-04%, а с магнитной доводкой содержание Ge составляет 0,5-1,2%. Из стратиформных полиметаллических месторождений получают германийсодержащие сфалеритовые концентраты. Переработка германиевых концентратов осуществляется с получением тетрахлорида германия (GeCl_4), подвергающемуся дальнейшей очистке от примесей (в основном от As) и гидролизу с промежуточным получением двуокиси германия (GeO_2). Товарная продукция германия представлена в виде германийсодержащей золы, германиевого концентрата, двуокиси германия и монокристаллического германия. Минимальное содержание в золе 90г/т, а в концентрате – 5-64% (Минеральное сырье. Германий, 1998).

Характеристика основных типов германийсодержащего сырья и продуктов их переработки (Иванов, Мейтов, 1998)

№/№ п/п	Типы руд	Схемы обогащения и переработки концентратов	Содержание германия, %	Извлечение, %
1.	Медно-германиевый	флотация, магнитная доводка, плавка, возгонка	0,02-0,04 0,5-1,2; 4-9	75 85-90
		флотация, обжиг, плавка шахтная пиритная	пыль – 3-40 возгоны -70	85-90
2.	Свинцово-цинковый	флотация	цинковый, свинцовый концентраты, пиритные про- дукты – 0,01-0,05	60-80 90
		шахтная плавка агломератов свинцовых концентратов фьюмингование с ис- пользованием пыли бо- гатого германием бурого угля	шлак – 0,61 пыль – 0,06-0,08 десятикратное обогащение	
3.	Каменные угли	сжигание, циклонная плавка, выщелачивание, осаждение, ионный обмен	зола – 0,001-0,1 возгоны – 0,02	80

Экологическая безопасность германия окончательно не оценена. Следует учесть, что он концентрируется с такими супертоксикантами, как свинец, таллий, мышьяк и бериллий. Несмотря на это, германий иногда используется для лечения раковых, иммунных и других заболеваний. Германий относится к общетоксичным элементам III класса.

Геохимия и минералогия германия в рудных формациях Армении детально изучены А.И.Карапетяном (1961-1963, 1972, 1982). Имеются исследования других авторов по геохимии и минералогии германия в отдельных формациях (Лачинян, 1958-1960; Пиджян, Пароникян, Фарамазян, Акопян, Хачатурян, 1972; Хачатурян, 1973). Эти исследования в основном проводились в 50-60-х и начале 70-х годов прошлого столетия, т.е. им свыше 30 лет. Однако проведенные исследования и в настоящее время дают возможность иметь конкретное представление о германиеносности рудных формаций Армении и сделать некоторые выводы об их промышленной ценности. Отметим, что угольные месторождения и месторождения горючих сланцев на металлоносность вообще и германиеносность в частности не изучались и как возможная сырьевая база не рассматривались, хотя имеются в мире разрабатываемые германий-угленосные месторождения, которые в России занимают ведущее место в отрасли. Исследования по металлоносности угольных месторождений и месторождений горючих сланцев в Армении начаты в 2002г. нами в порядке личной инициативы, а в дальнейшем – в рамках потемного госбюджетного финансирования продолжают по настоящее время. Результаты этих исследований приводятся в соответствующих главах настоящей работы.

Рудные формации Армении в целом характеризуются относительно низкими содержаниями германия. На госбалансе запасы германия числятся только по Ахтальскому полиметаллическому месторождению в количестве 9,2т при среднем содержании 5,75г/т. Однако значительные содержания германия установлены и в других собственно полиметаллических месторождениях, а также в месторождениях медно-молибденовой, меднорудной и серно-колчеданной формаций (табл. II.30). Анализ данных таблицы показы-

Содержание германия в главных минералах месторождений
различных рудных формаций Армении
(Карапетян, Пиджян, Пароникян, Фарамазян, Хачатурян, Акопян, 1972; Хачатрян, 1973)

№/№ п/п	Форма- ция	Месторож- дения	Среднее содержание германия, %										
			Пирит	Халько- пирит	Борнит	Халь- козин	Сфа- лерит	Гале- нит	Энар- гит	Теннан- тит	Молиб- денит	Блеклая руда	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1.	Колче- данная	<i>Серно- колчеданное:</i>											
		Тандзут	0.5	1.2	-	-	-	-	6	-	20		
		<i>Медно- колчеданное:</i>											
		Капан	0.5	2.2	3	0.5	12	0.5	32	10			
		Шамлуг	0.5	1.8	-	-	20	0.5	-	15			
		Алаверди	0.5	2.5	-	-	15	0.8	-	-			
		<i>Колчеданно- полиметал- лическое:</i>											
		Ахгала	0.8	3	7-103 ³⁾	-	25	0.6	-	30			
		Шаумян	1.2	1-7	-	-	8-12	1.3	-	5			

³⁾ Пределы средних содержаний германия по разным авторам.

Продолжение таблицы П.30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.	Медно-молибденовая	Каджаран	0.8	2.5	-		8	0.8	40		1.5	20
		Агарак	1	2	-		-	-	-		1.5	-
		Дастакерт	0.7	2.2	4.1		5.6	-	30		0.8	10
		Джиндара	0.7	2.2	2.2		6	-	-		1.2	-
		Анкаван	0.8	3.2	7		8	0.5	100		1	30
		Айгедзор	0.5	2.2	-		8	-	-		1.2	-
3.	Полиметаллическая	Азатек	0.8	6	-		5-14	1.2	-	-		4
		Гладзор	0.5	2.7	-		5.7	1	-	-		4.3
		Какавасар	0.4	0.8-2.7	-		5.8	1	-	-		3
		Мовсес	-	0.7	-		5-15	-	-	-		7
		Привольное	-	3	-		8	0.5	-	-		-
		Марджан	0.5	1.2	3		12-28	0.5	6-10	3		4.5
		Мецзор	-	-	-		3	-	6	-		5

вает, что относительно высокие, но в принципе низкие содержания германия установлены в рудах Шамлугского и Капанского медных, Ахталского и Шаумянского полиметаллических месторождений колчеданной формации; Анкаванского и Дастакертского медно-молибденовых месторождений. Из формации собственно полиметаллических месторождений интерес представляют Азатекское золотосурьмяное, Гладзорское, Какавасарское и Марджанское золотополиметаллические месторождения. Как показывают геохимические исследования, германий парагенетически связан с рудами месторождений полиметаллической формации или с полиметаллической стадией минералообразования месторождений колчеданной или медно-молибденовой формаций. В полиметаллических рудах германий концентрируется преимущественно в сфалерите в виде изоморфной примеси. Г.О. Пиджяном и А.И. Карапетяном в рудах медно-молибденовой и колчеданной формаций Армении определены собственные минералы германия – германит и реньерит (Пиджян, 1960; Карапетян, 1961, 1963, 1982). Следует отметить, что в сфалеритах различных формаций содержание Ge сильно варьирует, наблюдаются также сильные вариации внутри формаций. В сфалерите из месторождений колчеданной формации содержание германия варьирует от 30 (Шаумян) – 100 (Ахтала, Алаверди) до 300 (Шамлуг) – 3000г/т (Капан). В сфалерите из Каджаранского медно-молибденового месторождения содержание Ge достигает 300г/т. Довольно высокие содержания Ge установлены в кварцевых прожилках, пропитанных теннантитом и энаргитом (Анкаван) – 160-360г/т, а в обогащенных интервалах содержание германия в энаргите составляет около 8000г/т, а в блеклой руде – 1500г/т (Карапетян, 1972, 1982). В теннантите Ахталского месторождения содержание достигает 300г/т, а в борните – 320г/т (при среднем – 103г/т). Более низкие содержания Ge (1-10г/т) определены в борните и энаргите Марджанского, галените Шаумянского и Ахталского, халькопирите Шаумянского, Гладзорского, Ахталского, Агверанского и Какавасарского, блеклых рудах Гладзорского месторождений.

Тесная парагенетическая связь Ge со сфалеритом объясняется тем, что дисульфид германия и сульфид цинка образуют пра-

вильные тетраэдры, в которых расстояние между Ge-Zn и Zn-S обеспечивает возможность изоморфного замещения (Брюер и др., 1956). При этом установлено, что до 3,8% германия входит в сфалерит в виде твердого раствора (Малевский, 1963).

По данным А.И.Карапетяна, низкие содержания германия в **колчеданных месторождениях** характерны для ранних – серно-медно-колчеданных стадий минерализации, а относительно высокие концентрации (20-50г/т) характерны для более поздних – медно-мышьяковых и полиметаллических стадий. Это обусловлено не только уменьшением скорости роста кристаллов при понижении температуры растворов, но и постоянным повышением концентрации Ge в остаточном растворе. В связи с повышением при этом восстановительного потенциала среды четырехвалентный катион германия переходит в двухвалентный и замещает двухвалентное железо борнита (Карапетян, 1972, 1982). Следует добавить, что в колчеданных рудах установлена корреляционная связь между германием и галлием, причем при наличии Ge в форме двухвалентного катиона (восстановительная среда) наблюдаются повышенные содержания Ga, а в окисленной среде (четырёхвалентный катион) Ga почти отсутствует.

Данные, приведенные в таблице II.30 показывают, что в рудах **медно-молибденовой формации** повышенные содержания Ge также, как и в рудах колчеданной формации, связаны с медно-мышьяковыми рудами, где основная часть германия входит в состав энаргита в виде изоморфной примеси и в меньшей степени – в состав теннантита. В рудах полиметаллических стадий на периферии медно-молибденовых месторождений содержание Ge не превышает 10г/т. В рудах Анкаванского медно-молибденового месторождения повышенное содержание германия сопровождается относительно высокими содержаниями As и Zn. Положительная корреляция Ge и As обусловлена концентрацией германия в минералах мышьяка – энаргите и теннантите. По мнению А.И. Карапетяна, в условиях образования энаргита (окислительная среда) германий присутствует в растворе в виде четырехвалентного катиона и легко входит в решетку пятивалентного катиона мышьяка, в связи с близостью их ионных радиусов. Образование теннантита

происходит в восстановительной среде, где As восстановлен до трехвалентного катиона, а Ge – до двухвалентного катиона с превышающим ионным радиусом, что затрудняет вхождение Ge в решетку теннантита. В результате, в остаточном растворе увеличивается содержание Ge и создаются благоприятные условия для образования германита и реньерита (Карапетян, 1972, 1982).

Сравнительно высокие содержания германия фиксируются **в гранат-магнетитовых рудах** Разданского и Анкаванского скарновых железорудных месторождений (табл. П.31). Германий преимущественно концентрируется в магнетите и частично в гранате и гематите. В магнетите двухвалентный германий легко изоморфно замещает двухвалентное железо.

Перспективы промышленного освоения сырьевых ресурсов германия тесно связаны с проблемой комплексного освоения сырья и создания завершенного цикла металлургического производства с выходом на товарную продукцию высокого качества. В этом плане интерес могут представить главнейшие рудные формации Армении, несмотря на относительно низкие содержания германия в первичных рудах. Для этого необходимо не только создание научно-технологической и технической базы, но и соответствующей аналитической службы.

ИНДИЙ – металл серебристо-белого цвета, мягкий, ковкий, легко полируемый. Структура тетрагональная граноцентрированная. Самородный индий имеет розовато-белый цвет. Индий типичный халькофильный элемент. Наиболее устойчивая валентность +3; по основности-кислотности индий занимает среднее положение между Fe^{2+} и Fe^{3+} и относится к амфотерным элементам; рН осаждения $In(OH)_3$ из растворов 3,3-4,4. Сходное промежуточное положение индий занимает по величине ионной электроотрицательности с Ga, а по связеобразующим свойствам – с Tl и Cd. Индий реагирует с кислотами, Cl, F и Br, а при нагревании – с O и S, индифферентен к азоту и водороду. По строению атомного ядра индий сходен с Sn и Cd, а по кратности порядковых номеров и атомных масс индий сходен с Fe, Zn, Pb, Cd и Ag, с которыми он в природных условиях ассоциирует. Среди металлов размер атома индия один из самых крупных, чем, по-видимому, объясняется его

тенденция к "накоплению в поздних производных природных процессах" (Иванов, Юшко-Захарова, 1989; Минеральное сырье. Индий, 1997). Кларк индия в земной коре 0,07г/т.

Индий образует ограниченное количество собственных минералов – 4 сульфида, гидроксид и самородный индий. Известные минералы индия не имеют самостоятельной промышленной ценности: самостоятельных руд и месторождений не образуют. По крайней мере до сих пор таковые не известны.

Первые собственные минералы индия обнаружены недавно – в 1963-1964гг. К ним относятся индит, рокезит, сакураит, джалиндит (табл. II.32).

Характерной особенностью собственных минералов индия является их чрезвычайная редкость, ультрамикроскопический размер и их проявление преимущественно в обогащенных индием и оловом рудах и породах. В последние годы обнаружены микровключения состава $Zn_3CdIn_2S_7$, $ZnCdIn_2S_5$ и $CdIn_2S_4$ в связи с деятельностью высокотемпературных fumaroles Курильской гряды. Основными минералами-носителями индия являются сфалерит, халькопирит, касситерит и галенит (табл. II.33).

Выше мы отметили, что собственных месторождений индия пока не обнаружено. В качестве попутного компонента индий представляет промышленный интерес в рудах свинцово-цинковых, оловянно-колчеданных и в меньшей степени в колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений (табл. II.33 и II.34). По масштабам запасов индия месторождения подразделяются на весьма крупные – 500т, крупные – 200-500т, средние – 50-200т и мелкие – менее 50т. Крупными месторождениями являются разведанное Холодинское свинцово-цинковое и эксплуатируемое Смирновское жильное оловянно-свинцово-цинковое месторождения, а весьма крупным является Филизчайское разведанное полиметаллическое месторождение в терригенных (песчано-сланцевых) толщах. Промышленные типы индийсодержащих месторождений в странах СНГ приводятся в табл. II.34 Наиболее высокие средние содержания (свыше 200г/т) индия в сфалеритах установлены на месторождениях в сильно измененных силикатных породах – Актюз (Средняя Азия) – 528г/т, Калининское (Забайкалье) – 800г/т и на месторож-

**Содержание германия в рудах и магнетитах железорудных месторождений Армении
(Карапетян, 1972)**

г/т

№/№ п/п	Генетический тип, месторождения Руда, минерал	Магматический		Контактово- метасоматический			Гидротермаль- ный		Метаморфо- генный		Осадоч- ный
		Сва- ранц	Кама- кар	Раз- дан	Ахав- надзор	Кохб (Цаке- ридон)	Або- вян	Гетик	Мег- рад- зор	Арза- кан	Агарцин
1.	Руда	1,5	1,3	5,5	1,3	2,7	0,7	2,1	0,9	0,8	1,8
2.	Магнетит	1,1	1,0	5,4	0,6	1,6	0,8	1,8	0,8	0,8	1,8

Физико-химические свойства минералов индия
(Иванов, Юшко-Захарова, 1989)

№/№ п/п	Минерал, источник	Формула, состав	Син- гония	Плотнос- ть, г/см ³	Цвет	Типы руд, минеральная ассоциация
1	2	3	4	5	6	7
1.	Индий В.В.Иванов, 1964г. Восточное Забайкалье	In	тетр.	7,3	розово- белый	Грейзенизированные и альбитизированные граниты; свинец самородный
2.	Индит	FeIn ₂ S ₄ In-59,3 S-31,8 Fe-8,8	куб	4,5	серый	Касситеритовые руды, замещается джалиндитом; арсенопирит, халькопирит, пирит, мимезит – Pb ₃ (AsO ₄)·Cl
3.	Рокезит P.Picot, 1963г. Шарье, Франция; I. Sutherland, 1969г., США, Маунт-Пле- зант, Нью-Брансуик; М.А.Яренская, 1970г.; Казахстан; В.М.Качаловская, 1973г. Кавказ, Уруп; Д.Цонев, 1985г., Болгария; Burke E., 1980, Швеция, Лан- гбон, Вергслаген	CuInS ₂ Cu – 25,8-27,2 In – 44,3- 49,8 S – 24,8- 27,6	тетр.		серый, голубо- ватый	Медно-оловянные руды; борнит, халькопирит, халькозин, ковеллин
4.	Сакураит А.Kato, 1965г., Япония, Икуно	(Cu, Zn, Fe) ₃ (In,Sn)S Cu – 21-23 Zn – 10-14 Fe – 5-9 In – 17-23 Sn – 4-9 S – 30-31 примесь Ag	тетр.	4,4	Красно- то-зелено- вато-серый	Медно-оловянные руды; станнин, сфалерит, халькопирит, касситерит, матильдит, данаит, кварц, кальцит
5.	Джалиндит А.Д.Генкин, 1963г. Малый Хинган, Джалиндинское	In(OH) ₃ теорети- ческий состав: In ₂ O ₃ - 83,7 H ₂ O - 16,3	куб	4,3	темно- серый	Касситеритовые руды, замещает индит

**Основные минералы-носители индия в комплексных индийсодержащих рудах
(Минеральное сырье. Индий, 1997)**

№/№ п/п	Минералы-носители Типы руд	Среднее содержание индия, г/т					
		сфалерит	галенит	халькопирит	пирит	касситерит	станнин
1.	Свинцово-цинковый: залежи и жилы в сильно измененных породах	365-800	10				
	залежи и жилы в слабо измененных породах	80-400	5				
	стратиформные в карбонатных породах	5	1				
2.	Медно-свинцово-цинко- вый (колчеданно-поли- металлический)	6	1	12			
3.	Медно-цинковый (колчеданный)	23		11	2		
4.	Олово-силикатно- сульфидный	670		250		23	950
5.	Медно-молибденовый	9			2		

**Промышленные типы индийсодержащих месторождений стран СНГ
(Минеральное сырье. Индий, 1997)**

№/№ п/п	Тип месторождения, породы	Промышленный тип руд	Основные полезные компоненты	Содержание индия, %	Масштаб оруденения	Примеры м-ний (выделены эксплуатируемые)
1	2	3	4	5	6	7
1.	Свинцово-цинковый					
1.1.	<i>Докембрийский колчеданно-полиметаллический в метаморфических толщах</i>	полиметаллический	Pb, Zn, Cu	0,64	крупный	Холоднинское (РФ)
1.2.	<i>Фанерозойский колчеданно-полиметаллический:</i>					
1.2.1.	<i>В вулканогенно-осадочных толщах</i>	полиметаллический	Pb, Zn, Cu	2,7	до среднего	Зареченское (РФ), Белоусовское, Шемонаихинское (Казахстан), Хандаза (Узбекистан)
1.2.2.	<i>В терригенных толщах</i>	полиметаллический	Pb, Zn, Cu	6,0	от среднего до весьма крупного	Текели (Казахстан), Филизчайское (Азербайджан)
1.3.	<i>Стратиформный в карбонатных и терригенно-карбонатных породах</i>	свинцовый и свинцово-цинковый	Pb, Zn, (BaSO ₄)	1,4	до крупного	Жайремское, Караайлинское, Миргалимсайское (Казахстан)
1.4.	<i>Метасоматические залежи в известняках и скарнах</i>	свинцово-цинковый	Pb, Zn	8,0	до среднего	Николаевское, Центральное (РФ), Алтын-Топкан (Таджикистан)

1	2	3	4	5	6	7
2.	Жильный	свинцово-цинковый и оловянно-свинцово-цинковый	Pb, Zn, (Sn)	25,3	мелкий	Садонская гр., Смирновское, Красногорское (РФ)
3.	Медно-колчеданный	медный и медно-цинковый сульфидный	Pb, Zn, (S)	3,8	до весьма крупного	Гайское, Учалинское, Сибайское, Молодежное Николаевское (РФ)
		серно-колчеданный	S	2,0		
4.	Оловорудный, в т.ч.					
	4.1. Коренные					
	4.2. Россыпные	касситеритовый	Sn	0,044	мелкий	
5.	Золоторудный	золото-полиметаллический	Au (Zn, Pb, Cu, Ag)	8,0	мелкий, средний	Майкани, Айпис (Казахстан), Шаумянское (Армения)
6.	Медно-молибденовый	медно-молибденовый	Cu, Mo	0,2	мелкий	Каратаская гр. (Казахстан)
7.	Вольфрамовый	шеелитовый	WO ₃ , Sn, Zп	5,7	мелкий	Майхуринское (Таджикистан)
8.	Плавикошпатовый	цинк-флюоритовый	Zn CaF ₂	48,4	средний	Воздвиженское (РФ)

дениях в слабо измененных силикатных породах – Зарница (Якутия) – 250г/т, Ахобинское (Приморье) – 200г/т, Покровское (Забайкалье) – 200г/т, Пршибрам (Зап. Европа) – 450г/т и Ойцуми (Япония) – 300г/т.

Сведения о сырьевых ресурсах и производстве индия очень противоречивые, а порой отсутствуют, что, по всей вероятности, связано не только с тем, что индий – это новый сильно дефицитный металл, используемый в электронике, производстве сплавов, волоконной оптике и производстве люминофоров и ИК-детекторов и др., но и с небольшими масштабами его сырьевых источников. Следует учесть, что сырьевые ресурсы индия в настоящее время лимитируются ресурсами Zn, Sn, Cu и Pb. По ориентировочным данным запасы индия (без стран СНГ) составляют порядка 26-30 тыс.т. За последние годы важным источником сырья в мире стали медно-цинковые руды. В таких развитых странах, как Германия и Япония, доля руд медно-цинковых колчеданных месторождений в общем балансе производства индия превышает 20%, хотя и эти руды по сравнению со свинцово-цинковыми и оловянными рудами относительно бедны, но в них содержание индия постоянно и держится в пределах 0,5-10г/т. Годовой выпуск индия постоянно растет и по ориентировочным данным составляет от 60-70т до 200т. Основными производителями индия являются США, Канада, Бельгия, Италия, Нидерланды, Германия, Заир, Мексика, Перу.

В отличие от основных производителей индия, использующих свинцово-цинковые и оловянные руды, в России и странах СНГ минерально-сырьевая база индия в основном представлена медно-колчеданными (медно-цинково-колчеданными) индийсодержащими месторождениями, с которыми связаны около 49,2% запасов и 55,7% добычи индия. В России эти цифры составляют соответственно 55 и 58%. Наиболее крупные запасы индия подсчитаны на Учалинском, Подольском, Юбилейном (до 300-500т) и Гайском (до 850т) месторождениях. В странах СНГ с оловянными индийсодержащими месторождениями связаны 19,4% запасов и 16,4% добычи, а в России соответственно 25 и 21,4%.

Основными оловорудными месторождениями являются Первоурминское и Депутатское с запасами индия 400-500т, а также

Одинокое и Терихтяхское россыпные касситеритовые месторождения. На долю месторождений кварц-касситеритовой и касситерит-сульфидной формаций приходится 7,5% запасов индия.

Технология получения индия обычно состоит из трех стадий: получение индиевого концентрата с содержанием индия не ниже 1-2%, получение черного индия и рафинирование чистого металла (99,999-99,998% In). Обычно для перевода индия в раствор используют метод выщелачивания серной кислотой. Содержание индия в сернокислотных растворах колеблется от 0,1 до 10г/л, в зависимости от исходного продукта. Во Франции разработан способ извлечения индия из сернокислотных растворов органической фазой, отличающийся высокой селективностью и позволяющий извлечь даже следы индия (<100мг/л). В Японии освоена жидкостная экстракция индия, галлия и алюминия октилфенилфосфорной кислотой.

Около 70% мирового производства индия получают из цинковых концентратов, содержащих 28% индия. Отходы пирометаллургического производства содержат: пыли печей коксования брикетов – 30% индия от исходного, черновой свинец от ректификационной очистки цинка – до 12% и ретортные остатки – 15%. При гидрометаллургии источниками извлечения индия служат возгоны вельц- или фьюминг-процесса. Крупнейшим производителем в мире является завод "Трейл" (Канада) с годовой производительностью 35т индия.

В Норвегии источником получения индия служат отходы никельного производства (никелевый штейн), а в Китае индий извлекают из медных руд.

Индийсодержащие продукты стран СНГ перерабатываются на заводах России. На Беловском цинковом заводе освоена пирометаллургическая схема, а на остальных – гидрометаллургический способ. Сквозное извлечение индия на Челябинском заводе составляет 56,6-75,0%, а на заводе "Электроцинк" с медно-хлорными кеками теряется от 3,4 до 9,1% индия. Сквозное извлечение индия при гидрометаллургии оловянного сырья составляет от 25 до 53% и в среднем – 31%. В свинцовом производстве в возгоны извлекаются до 40-55% индия, при среднем содержании индия в пылях

150-200г/т.

В последние годы на Челябинском заводе внедрен физико-химический метод получения индиевого порошка высокой чистоты (Ин-00) с применением распыления расплавленного индия сжатым воздухом. Разработанная технология позволяет снизить содержание примесей Tl, Cd, Zn, Fe до $(1-6) \cdot 10^{-4}\%$, а также Al, Pb и Sn (Казанбаев и др., 2003).

Широкое применение индий получил в Японии (больше 50% производства) и США (28%). В основном индий используется в электронике – 55%, в фотоприборах – 11%, в полупроводниках и легкоплавких сплавах – до 16%. Индий используется в стоматологии, германиевых транзисторах, для поглощения тепловых нейтронов, в ИК-детекторах и др. Около 50% индия в настоящее время используется в виде индий-оловянных оксидов и оксидов с бором в качестве покрытий против запотевания стекол автомашин и в строительных стеклах для регулирования температуры помещения.

Индий – токсичный элемент (II-III классы опасности). Предельно допустимая концентрация (ПДК) In_2O_3 в воздухе рабочей зоны – $4\text{мг}/\text{м}^3$, а среднесуточная ПКД индия в воздухе населенных мест – $0,005\text{мг}/\text{м}^3$.

Индий является одной из распространенных примесей, имеющей промышленное значение в рудах Шаумянского и Ахтальского месторождений полиметаллической формации. На госбалансе числятся запасы только по этим двум месторождениям, причем на долю Шаумянского месторождения приходится 94% запасов. По госбалансу запасы индия на Шаумянском месторождении по категории C_1+C_2 составляют 162,3т, при среднем содержании индия 10,96г/т, а по Ахтальскому месторождению всего по категории C_2 – 9,7т, при среднем содержании индия 7,15г/т. Баланс индия по продуктам обогащения при полупромышленных испытаниях руд Шаумянского месторождения (1975г.) имеет следующий вид: содержание в золотополиметаллической руде – 13г/т, в медном концентрате – 4г/т при извлечении – 0,7%, в свинцовом концентрате – 12г/т при извлечении 2,1%, в цинковом концентрате – 66г/т при извлечении 57,6%, в пиритном продукте – 3г/т при извлечении 2,3%, а в отвальных хвостах – 6г/т при извлечении 37,7%.

При промышленных испытаниях золотосодержащих руд Соткского месторождения (1979г.) на Араратской золотоизвлекательной фабрике были получены следующие данные по содержанию индия в технологических продуктах (г/т): руда – 7,3; гравиконцентрат – 14,8; флотоконцентрат – 43,1; хвосты контрольной флотации – 4,2; питание сорбции – 7,0; смола 149/1 – 55,7; хвосты обезвреживания – 7,4.

Прогнозные ресурсы индия в 3-4 раза превышают балансовые запасы.

Индий собственных минералов в армянских рудах не образует. Индий довольно часто встречается в рудах полиметаллических месторождений. Интерес представляют руды Марджанского, Какавасарского, Азатекского, Гладзорского, Мовсесского месторождений. Практический интерес могут представлять руды Личквас-Тейского месторождения, в цинковых концентратах которого содержание индия доходит до 200г/т. Обычно при обогащении, как уже было отмечено выше, индий извлекается в цинковый концентрат – 28%, в медный – 26%, в свинцовый – 2%, пиритный – 9%, а в хвостах – 35%. По технологической схеме, разработанной в Армнипроцветмете (Раганиян, 1975), из шаумянских руд в цинковый концентрат извлекается 46% индия, в медный – 24,5%, а в свинцовый – 11%. Этим обоснована экономическая целесообразность извлечения индия из руд Шаумянского месторождения.

Основными минералами-концентраторами индия в полиметаллических рудах Армении являются сфалерит, халькопирит и галенит (табл. II.35).

Несколько иные данные по содержанию индия в сфалеритах месторождений различных рудных формаций приводят сотрудники ИГН НАН РА (табл. II.36).

Отметим, что по имеющимся данным, в рудах меднорудной (Анкадзор, Агви, Алвард) и железорудной (Агарцин, Сваранц, Кохб) формаций содержание индия не превышает несколько граммов на тонну (Хачатрян, 1973; Пиджян, Акопян, 1972).

Формы вхождения индия в решетку сфалерита и халькопирита из армянских руд исследовал Н.С.Хачатрян на основании спектральных и химических данных, а также минералого-геохими-

Содержание индия в концентратах полиметаллических руд Армении
(Лачинян, 1959; Хачатрян, 1973)

N/N п/п	Месторож- дение	Цинковый концентрат		Медный концентрат	
		Zn, %	In, г/т	Cu, %	In, г/т
1.	Ахтала	50	7	13	3,6
2.	Какавасар	44,5	33	20,4	48
3.	Чирахлу	54	50	-	-
4.	Мазра	58,5	30	-	-
5.	Марджан	55	91	-	-
6.	Шаумян	61,5	45	30	275 (до 550)
7.	Азатек	43,8	11	-	-
8.	Маймех	-	200	30	240

Содержание индия в сфалеритах различных
месторождений Армении

N/N п/п	Формация	Месторож- дение	Содержание индия, г/т
1.	Полиметаллическая	Гладзор	10
		Азатек	30
		Чирахлу	45
		Мовсес	30-100
		Марджан	30-100
		Ахтала	10-100
2.	Медно-молибденовая	Каджаран	24
		Дастакерт	15
		Анкаван	30
		Айгедзор	30
3.	Золотополиметаллическая	Меградзор	30
		Шаумян	80

ческих исследований. Он своими исследованиями подтверждает схему, предложенную В.В.Ивановым (1966).



A – Zn^{2+} или Fe^{2+} , B – Cu^+ , Ag^+ и другие, при этом индий может занимать место как цинка, так и железа (Хачатрян, 1973).

Эта схема также подтверждена А.Ю.Малевским (1967).

Н.С.Хачатрян предлагает принять также схему В.В.Иванова о вхождении индия в халькопирит в виде



при этом компенсация валентности осуществляется за счет замены эквивалентной части оксидного железа на закисное.

Таким образом, приведенный материал (возможно, неполноценный) по минерало-геохимическим особенностям и технологической изученности числящегося на госбалансе республики индия в рудных формациях свидетельствует о том, что руды полиметаллической формации могут рассматриваться как перспективное сырье на получение попутного индия – высокодефицитного металла. К сожалению, такие полиметаллические месторождения, как Шаумян, Ахтала, Сотк, Личквас-Тей, Тертерасар, в рудах которых индий представляет промышленный интерес, в настоящее время интенсивно обрабатываются частными фирмами и в их товарной продукции индий не учитывается и не оплачивается. На этих объектах очень низка комплексность использования сырья, что во многом обусловлено как отсутствием завершенного металлургического цикла, так и крайне низким уровнем аналитической службы и техники на рудниках и перерабатывающих предприятиях. При лицензировании таких объектов, по которым на госбалансе числятся редкие металлы, государство должно обязать недропользователя обеспечить извлечение всех числящихся полезных компонентов или оплачивать их рыночную стоимость, а не проводить "чистку" баланса месторождения.

ТАЛЛИЙ – серебристо-белый металл высокой токсичности. Металлический таллий мягкий, ковкий, легко окисляется и быстро темнеет на воздухе, легкоплавкий и легко взаимодейст-

вующий с галогенами; при нагревании взаимодействует с серой и фосфором. В природе встречается одновалентный и трехвалентный таллий, что и обуславливает его литофильные и халькофильные свойства. Трехвалентный таллий легко переходит в одновалентный, который по величине ионных потенциалов очень близок к щелочным металлам и подобно им образует многочисленные бесцветные соли, полисульфиды и полиодиды. Металлический таллий хорошо растворяется в азотной кислоте, но с растворами щелочей не реагирует. По данным В.В. Иванова и О.Е. Юшко-Захаровой, таллий при низких P и t (до 233°C) имеет структуру с гексагональной плотнейшей упаковкой, а при высоких – граноцентрированную кубическую. Промежуточной структурой ($t > 233^{\circ}\text{C}$) является объемноцентрированная кубическая (Иванов, Юшко-Захарова, 1989; Иванов, Видякин, 1998).

Собственные минералы таллия очень редки и промышленного значения не имеют. Известно 36 минералов таллия. Они содержат одновалентный таллий и относятся в основном к сульфосолям и арсеносолям; известны один сульфат, один арсенат и два оксида. Собственные минералы таллия установлены в очень малых количествах в рудах Карлинского (Невада, США), Алшарского (Македония), Ленгенбахского (Швейцария), Скрикерумского (Швеция), Илимаусакского (Ю.Гренландия) золотомышьяковых и мышьяково-сурьмяных месторождений. Отдельные минералы таллия установлены в рудах Талнаха, Галкая (РФ), Жа-Ру (Франция), Абута (Япония), Раджпура-Дариба (Индия) и др. Из собственных минералов таллия наиболее распространенными являются: круксит, галхаит, врбаит, лорандит, авиценнит (табл. II.37). В природе таллий часто встречается в виде соединений с S, As, Sb, Se, Te, O, Fe, Pb, K и др. элементами. Основными минералами-носителями таллия являются силикаты, сульфиды и окислы. В настоящее время практическое значение имеют только некоторые рудообразующие сульфиды – галенит, сфалерит, дисульфиды Fe (пирит, марказит, мельниковит), халькопирит, сульфосоли свинца и меди (табл. II.38).

Мы уже отметили, что собственные минералы таллия промышленного значения не имеют. Таллий является типичным по-

**Физико-химические параметры основных минералов таллия
(Минеральное сырье. Таллий, 1998)**

№/№ п/п	Минерал: источники	Формула, состав, %	Сингония	Плотность, г/см	Цвет	Типы руд; минеральная ассоциация
1	2	3	4	5	6	7
1.	Круксит A.Nordenskiold, 1869г., Швеция, Скрикерум	Cu₇TlSe₄ Cu – 44,2-46,6 Ag – до5,1 Tl – 16,9-18,6 Se – 30,9-33,9 примеси – Fe	Монокл.	7,4	Белый	Медный; селениды
2.	Галхаит B.C.Груздев, 1972г., Якутия, Галхая; T.Chen, 1982г., США, шт. Невада, Гетчел	Cu₃Hg₉TlAs₈S₂₄ Hg – 47,6-50,2 As – 15,8-23,6 S – 19,3-22,6 Tl – 0,46-2,9 примеси – Cu, Zn, Fe, Sb, Se	Куб.	5,8	Светло-серый, голубоватый	Мышьяково-сурьяно- ртутный; метациннабарит, киноварь, антимонит, диккит, гетчелит, вакабаяшиллит
3.	Врбаит B.Jezek, 1912г., Македония, Алшар; W.Nowacki, 1968, Швейцария, Ленгенбах; L.Baric, 1981г., Македония, Алшар	Tl₄Hg₃Sb₂As₈S₂₀ Tl – 27,5-28,2 Hg – 20,4-20,5 As – 20,5 Sb – 8,2-9,2 S – 22,1	Ромб.	5,3	Белый, голубоватый	Сурьяно- мышьяковый; реальгар, аурипигмент, лорандит

1	2	3	4	5	6	7
4.	Лорандит J.Krenner, 1895г., Македония, Алшар; Graeser, 1967г., Швейцария, Ленгенбах	TlAsS Tl – 58,7-59,7 As – 2,4-22,3 S – 18,4-19,3	Монокл.	5,5	Белый, голубоватый	Сурмяно- мышьяковый; реальгар, аурипигмент
5.	Авиценнит Х.Н.Карпова, 1958г., СССР, Зирабулакские горы	Tl₂O₃ Tl ₂ O ₃ – 88,8 Fe ₂ O ₃ – 4,5 примеси – Sb, Pb	Куб.	10,4	Коричнево- черный	Гематит-кальцитовая жила; гематит, кальцит
6.	Карлинит A.Radtke, 1975г., США, шт. Невада, Карлин	Tl₂S Tl – 92,9 S – 7,2	Триг.	8,6	Белый, голубоватый	Известняки; лорандит, аурипигмент, кварц

**Среднее содержание таллия в минералах-носителях и рудах
основных типов таллийсодержащих месторождений
(Минеральное сырье. Таллий, 1998)**

N/N n/n	Типы руд	Минерал- носитель	Среднее содержание, г/т
1.	Стратиформные свинцово-цинковые в карбонатных породах	сфалерит галенит дисульфид Fe	80 9 150
	в силикатных породах	сфалерит дисульфид Fe галенит	10 120 7
2.	Свинцово-цинковые жильные в измененных породах	галенит	10
	скарновые залежи в силь- ноизмененных породах	галенит	7
3.	Колчеданные медно-цинковые и серно- колчеданные	сфалерит халькопирит дисульфид Fe	8 5 5
4.	Мышьяково-ртутно-сурьмяные	дисульфид Fe	10-200
5.	Золотомышьяковые	дисульфид Fe	10-200
6.	Редкометалльные граниты, пегматиты и грейзены	полевые шпаты, слюды	10-35
7.	Марганцовые вулканогенно- осадочные	пирролюзит псиломелан	5 20

путным компонентом комплексных колчеданно-полиметаллических, стратиформных свинцово-цинковых и золотомышьяковых и мышьяково-сурьмяных руд (табл. II.39). В странах СНГ известны 28 месторождений с учтенными запасами таллия, из них 14 месторождений находятся в России (около 64,4% от общих), но по добыче составляют не более 4,5%. 95% таллия добывается на свинцово-цинковых (в т. ч. стратиформных) месторождениях Казахстана.

В России, после колчеданно-полиметаллических месторождений, второе место по запасам и первое по объемам добычи

**Промышленные типы таллийсодержащих месторождений стран СНГ
(Минеральное сырье. Таллий, 1998)**

№/№ п/п	Тип месторождения, породы	Промышленный тип руд	Основные полезные компоненты	Содержание таллия, г/т	Масштаб оруденения	Примеры м-ний (выделены эксплуатируемые)
1	2	3	4	5	6	7
1.	Свинцово-цинковый <i>1.1. Докембрийские и фанерозойские колчеданно-полиметаллические в метаморфических, вулканогенно-осадочных и терригенных толщах</i>	полиметаллический	Pb, Zn, Cu	20,3	до весьма крупного	Зареченское, Корбалихинское, Холоднинское (РФ), Орловское, Риддер-Сокольное, Николаевское, Текели (Казахстан)
	<i>1.2. Стратиформные в карбонатных и терригенно-карбонатных породах</i>	свинцовый и свинцово-цинковый	Pb, Zn, BaSO ₄	18,0	от среднего до весьма крупного	Жайремское, Миргалымсайское (Казахстан)
	<i>1.3. Метасоматические залежи в известняках и скарнах</i>	свинцово-цинковый	Pb, Zn	1,2	мелкий	Алтын-Топкан, Чал-Ата (Таджикистан)
2.	Медно-колчеданный	медный и медно-цинковые сульфидные серно-колчеданный	Cu, Zn, S S	4,6 4,8	до крупного	Гайское, Урупское, Левихинское (РФ)

таллия занимают медно-колчеданные месторождения, где среднее содержание таллия колеблется от 1,6г/т (Новоежевское) до 23г/т (Джусинское) и составляет в среднем по группе 6г/т. Аналогичная картина складывается и для ведущих мировых производителей таллия. Подтвержденные запасы таллия по оценке Горного бюро США на начало 2000г. по цинковым рудам (при среднем содержании 2,4г/т) составляют 644т металла, из них в США – 118т, а извлекаемые запасы таллия составляют 377т, из коих в США 32т.

Мировая добыча таллия (без стран СНГ) находится в пределах 15-16т в год. Достоверной статистики по производству таллия в мире нет. Производство зависит от спроса. Основными производителями таллия являются Канада, Мексика, Австралия, Япония, Бельгия и Казахстан. Таллий, содержащийся в импортируемых цинковых и свинцовых концентратах, не фиксируется (скрытый импорт по терминологии В.В. Иванова, 1989). За последние годы произошли значительные изменения в списке стран производителей и потребителей, что связано с новыми областями применения таллия.

В России таллий производят преимущественно из таллийсодержащих медных и медно-цинковых руд. Эти руды перерабатываются на Гайской, Среднеуральской и Кировоградской фабриках методом коллективно-селективной флотации с получением товарных продуктов в виде медных, цинковых и пиритных концентратов. На Урупской ОФ используется метод прямой селективной флотации с получением медных и пиритных концентратов.

В настоящее время таллийсодержащие полиметаллические и серно-колчеданные руды, в которых сконцентрировано более 96% общих запасов таллия (при среднем содержании 22,3г/т), практического интереса не представляют, т.к. таллий из них не извлекается. 90% производства таллия производится из медных и медно-цинковых руд (около 4% общих запасов) со средним содержанием таллия 4,6г/т.

На Чимкентском свинцовом заводе (8,5-10т в год) и Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате производство металлического таллия осуществляется попутно с производством свинца и цинка. Товарным продуктом таллия является порошок

сульфата таллия и металлический таллий в виде прутков, слитков и проволок высокой чистоты – от 99,9 до 99,9999%.

Таллий широко используется в электронике и оптике (до 70%) в виде оксисульфида таллия (“таллофид”), а также в некоторых сплавах с целью повышения их антикоррозионных свойств. Таллий используется в фармацевтической промышленности (до 10%), производстве красителей и термопар, при электролизе меди, приготовлении тяжелых жидкостей и т.д. Новыми областями применения таллия являются его сплавы с йодистым цезием, используемые в ядерной физике, детекторах для телескопов, усилителях для химических лазеров и сверхпроводников (Минеральное сырье. Таллий, 1998).

Таллий имеет широкое распространение в рудах Армении. В настоящее время запасы таллия учтены в госбалансе только по Ахталскому полиметаллическому месторождению в количестве 21,2т (при среднем содержании 16,4г/т), что само по себе, учитывая мировые запасы и производство металла в год, достаточно убедительная цифра. Этим запасы таллия в рудах Армении не исчерпываются. Сравнительно высокие содержания таллия – 40-55г/т (при среднем 14-22г/т) – установлены в золото-свинцово-сурьмяных рудах Азатекского месторождения. Исследованиями установлено, что с рудными минералами связано около 50% содержания таллия, остальная часть, по-видимому, концентрируется в породообразующих минералах в изоморфной смеси с натрием и калием (Хачатрян, 1973). Из рудных минералов основными носителями-концентраторами являются антимонит, сфалерит, галенит и буланжерит. Следует учесть, что полиметаллические месторождения Вайкской области Армении – Гладзор, Азатек, Какавасар и примыкающий к ним ряд проявлений – являются перспективными объектами в качестве потенциального сырья на получение таллия. Содержание таллия в этих рудах установлено в широких пределах и составляет в среднем 3,5-5г/т.

Объектами для первоочередного изучения могут быть стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатах (Мовсес) и в терригенно-вулканогенных породах (Привольное), а также некоторые гидротермальные золото-серно-колчеданные и золото-

полиметаллические месторождения андезитовых вулканогенных поясов (Марджан, Марц, Гандзут, Чибухли). Отметим, что по имеющимся данным содержание таллия в этих рудах колеблется в пределах от 100 до 1000г/т (Пиджян, Акопян, 1972).

Содержания таллия установлены в мономинеральных пробах и в галенитовых, сфалеритовых, халькопиритовых и пиритных концентратах Шаумянского, Гладзорского, Какавасарского, Марцигетского месторождений. Относительно низкие концентрации таллия в свое время рассматривались как неперспективные собственные месторождения, без учета комплексного использования сырья и попутного его извлечения.

Технологические исследования, проведенные в 1960-1970гг. на армянских рудах, показали, что при обогащении полиметаллических руд 55% таллия переходит в силикатные хвосты, а 20% – в пиритный концентрат; в свинцовый концентрат переходит 15%, в цинковый и медный – по 5%. Для сравнения ниже приводится баланс таллия по продуктам обогащения при переработке полиметаллических руд на Гайской и Среднеуральской обогатительных фабриках (табл. II.40).

Таблица II.40

**Баланс таллия по продуктам обогащения на обогатительных фабриках колчеданных месторождений
(Иванов, Юшко-Захарова, 1989; Иванов, Видякин, 1998)**

N/N п/п	Обогатительная фабрика	Содержание в руде, г/т	Товарный концентрат	Содержание в к-те, г/т	Извлечение в концентрат, %
1.	Гайская	6,0	Медный	9,7	13,65
			цинковый	23	2,34
			пиритный	6,9	23,86
			отвальные хвосты	5,2	60,17
2.	Среднеуральская	3,4	Медный	4,4	9,61
			пиритный	2,5	35,17
			цинковый	8,0	5,31
			отвальные хвосты	3,5	49,91
Итого по медным и медно-цинковым рудам		5,8	Медный	9,2	13,4
			цинковый	1,9	2,51
			пиритный	6,1	24,47
			отвальные хвосты	5,1	59,62

Данные, приведенные в таблице, показывают, что, **во-первых**, на базовых ОФ перерабатываются таллийсодержащие руды с низкими содержаниями, **во-вторых**, более 50% таллия уходит в отвальные хвосты, и, **в-третьих**, максимальные концентрации таллия наблюдаются в цинковых концентратах (от 1,3 до 4-кратного). Сопоставляя эти данные с данными по армянским рудам, следует заключить, что отбраковка армянских полиметаллических руд на таллий было преждевременным и недальновидным шагом со стороны первых исследователей тридцатилетней давности. К этому следует добавить, что высокие содержания таллия определены в нефелиновых сиенитах Тежсарского массива. В нефелине и полево-шпате из щелочных сиенитов содержание таллия составляет 60г/т, а в нефелиновом концентрате – 30г/т (Пиджян, Акопян, 1972).

Относительно низкие содержания таллия (в пределах нескольких граммов на тонну) установлены в железных рудах различного генетического типа (Кохб, Агарцин, Раздан, Сваранц, Баверисар и др.).

Таким образом, анализ имеющегося материала по таллиеносности рудных формаций Армении дает нам основание пересмотреть укоренившиеся представления об их промышленной бесперспективности и предложить возобновление специальных минералого-геохимических и технологических исследований в первую очередь на обрабатываемых и детально разведанных и подготовленных к промышленному освоению золотополиметаллических и золото-свинцово-сурьмяных месторождениях на новом аналитическом и технологическом уровне, в комплексе с индием, галлием и германием.

Глава 2. РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ В УГЛЕСЛАНЦЕВЫХ КОМПЛЕКСАХ АРМЕНИИ

При рассмотрении золотоносности (благороднометалльности) и ураноносности терригенно-углесланцевых комплексов (р.1, гл. 1.2; р.3, гл. 3.2) нами приводится и анализируется имеющийся литературный материал по редким металлам и их парагенезис с Au и U. Рассматриваются многокомпонентные ассоциации, их геохи-

мические и генетические особенности концентрации в углеспанцевых комплексах. Поэтому, во избежание повторений, здесь мы ограничимся некоторыми замечаниями, которые дополняют материал, изложенный в указанных главах.

Начиная с середины 50-х годов прошлого столетия, многие исследователи утверждали, что с углеродистыми сланцами ассоциируют месторождения так называемой **“пятиметалльной формации”** – U, V, Co, Ni, Mo. В последующем детальные работы многих исследователей показали, что список редких элементов в углеспанцевых комплексах сильно расширился, видоизменился и пополнился. Общая картина редкометалльной специализации оказалась крайне сложной. Среди рудных компонентов, концентрирующихся и извлекаемых из черных сланцев, были установлены: Au, Cu, Ag, U, V, W, Pb, Zn, МПГ и др. Характерно, что рудные ассоциации металлов в углеродистых сланцах тесным образом связаны с металлогенией регионов, более того, В.Н. Холодов утверждает, что в некоторых случаях углеродистые сланцы являются своеобразным **индикатором металлогенической специализации провинции**. Развитие меденосных эффузивов в протерозое района оз.Мичиган отражается в виде появления меденосных сланцев Нонсач (США), а золоторудная специализация ультраосновных компонентов в зеленокаменных поясах архея вызывает массовое развитие золотоносных углеродистых сланцев в древнейших слоях Земли (Холодов, 2006).

Различные ассоциации химических элементов в углях, связанные с органической и неорганической частью углей разных районов мира, довольно полно описаны Я.Э. Юдовичем (1978). Сравнение их между собой позволило наметить ряд типоморфных для углей элементов-примесей. Оказалось, что к ним можно отнести: Cu, Be, Zr, Pb, Ca; B, Sc, Y, TR, Al; Ge, Ti, Zr; V, Sb, As, P; Cr, Mo, U, S, Cl, F; Co, Ni, Fe. Все эти элементы отличаются высокой способностью образовывать прочные соединения с органическим веществом. Накопление элементов-примесей в черных сланцах является не простым химическим их извлечением из растворов органическим веществом, а сочетанием механического и биохимичес-

кого совместного осаждения разных по происхождению компонентов (Холодов, 2006).

Н.М. Страхов и соавторы (1959), изучив в Боковском и Должанском районах поведение элементов-примесей в морских, переходных и континентальных аргиллитах, алевролитах и песчаниках среднего карбона, пришли к выводу о слабой концентрации элементов-примесей в разных типах пород и об их упорядоченном распределении в ряду песчаник-алеврит-аргиллит-известняк. По данным Ф.Я. Сапрыкина с соавторами (1973), повышенные содержания в углях Донбасса по сравнению с вмещающими их породами имеют только Mo (5,7г/т), Pb (30г/т), Ge (3,8г/т). Содержания остальных элементов во вмещающих породах в несколько раз превышают их содержания в углях (с небольшими отклонениями). Интересные данные были получены А.Н. Большаковым и С.В. Пивоваровым (1974) по результатам 20-ти химических элементов из отложений нижнего, среднего и верхнего карбона юго-западного Донбасса. Ими была опробована толща в 6000м и отобрано 1060 проб. Анализ фактического материала показал, что максимальные колебания во вмещающих породах испытывают Pb, Zn, Mg и Ga, и в целом для исследованного района типично **не упорядоченное** (как указывали Н.М. Страхов и его соавторы), а **пестрое** распределение элементов-примесей.

Важный шаг в познании геохимии углевмещающих пород и углей Донбасса сделал Ф.Ф. Таранушич (2003), который исследовал поведение элементов-примесей в углях Восточного Донбасса. Им было обосновано: распределение элементов-примесей в углях зависит **не от фациальной** их принадлежности, а **от структурно-тектонического и металлогенического положения**. Было установлено, что на фоне крупных поясов выделяется ряд более мелких геохимических аномалий в углях и угленосных отложениях. Эти закономерности свидетельствуют о широком эпигенетическом перераспределении химических элементов в углях и вмещающих их толщах, причем не исключается участие в этом процессе гидротермальных растворов.

В конце прошлого века в геохимической литературе большое внимание стало уделяться проблеме возникновения ассоци-

аций химических элементов в черных сланцах. Исследованиями Дж. Пирсона (1971), Д. Уильямса (1975), Л.Я. Кизильштейна (1983) и Я.Э. Юдовича (2001) *делается попытка подвести чистую химическую базу под процессы взаимодействия металлов с органическим веществом и объяснить прочность связей между металлом и ОВ простыми свойствами растворов* (Холодов, 2006). В результате появилась концепция жестких-мягких кислот и оснований (ЖМКО). Недостатком этой концепции по В.Н. Холодову является:

1. В этих построениях сила кислоты определяется не степенью диссоциации в %-ах, как это делается в классической химии, а интегральной “**константой мягкости**”, учитывающей полярность и электроотрицательность ионов.

2. Подвижность электронов определяется “жесткостью” или “мягкостью” поведения частиц в растворе.

3. Прочие металлоорганические соединения образуются только в случае взаимодействия однотипных кислот и оснований – жестких с жесткими, мягких с мягкими.

4. Степень изученности органического вещества в черных сланцах в большинстве случаев не позволяет выделить более или менее индивидуализированные органические соединения.

На основании этих и целого ряда других замечаний В.Н. Холодов заключает, что эта “интересная гипотеза повисает в воздухе” (Холодов, 2006).

По данным В.Н. Холодова, на протяжении всего процесса торфо- и углеобразования взаимоотношение углей и элементов-примесей трансформируется дважды. *На первом этапе* торфообразования и гумификации торфяники, бурые и отчасти каменные угли накапливают в себе гуминовые кислоты и становятся мощными концентраторами типоморфных химических элементов. В это время под действием поверхностных грунтовых вод в торфяниках и углях образуются высокие концентрации редких, цветных и радиоактивных элементов. *На втором этапе*, вследствие углефикации и потери огромных масс воды, газов и битумоидов, угли становятся источником и активным участником перераспределения химических элементов в угленосных толщах. Именно в это время образу-

ются редкометалльные угленосные формации – уникальные ритмически построенные геологические тела, в которых среди углей и вмещающих их осадочных и вулканогенно-осадочных пород распространены концентрации Ge, Zr, B, Sr, V, U, Ni, Co, Cr, Pb, Zn, W, реже Li, Te, Se, Sc, Ti, TR, Ag и Sn. Считается, что именно эпигенетическим перераспределением компонентов в угленосных формациях в значительной мере связаны концентрации элементов-примесей (Холодов, 2006).

Геохимия редких элементов в терригенно-углесланцевых комплексах Армении не изучена. Нами предпринята первая попытка такого исследования на материале 50-ти спектральных анализов, охватывающих довольно большой отрезок времени – триас-юра-эоцен-миоплиоцен. Фактически армянский регион относится к так называемым “многоэтажным” или “многоярусным” углесланцевым комплексам по примеру Кузбасса и Печорского бассейна (Россия), где углеобразование охватило девон, карбон, пермь и даже юру. В Мичиганском бассейне (США) известны угленосные пласты, залегающие среди толщ карбона и перми, а в Новой Зеландии угленакпление происходило в юре и в третичное время.

Геолого-структурные особенности закономерностей накопления углесланцевых комплексов Армении рассматриваются нами в другой работе, поэтому здесь этот вопрос не затрагивается.

Считаем нужным вначале рассмотреть вопрос о возможных геохимических режимах в палеоводоемах Армении, где происходило накопление терригенно-углесланцевых комплексов. Для более точной диагностики условий осадконакопления углесланцевых комплексов в палеоводоемах В.Н. Холодов и Р.И. Недумов (1991, 2005) предложили объединить палеоэкологический и геохимический методы наблюдений и использовать в качестве индикатора сероводородного заражения отношение содержаний Mo/Mn в осадке или в породе. Основанием применению молибденового модуля послужило то обстоятельство, что молибденит (MoS_2) – главная форма осаждения этого элемента в присутствии H_2S – отличается от многих сульфидных минералов максимальной энергией кристаллической решетки. В отличие от молибдена марганец трудно образует сульфиды, имеет ярко выраженную поливалентность (Mn^{+2} ,

Mn^{+3} , Mn^{+4} , Mn^{+5} , Mn^{+6} , Mn^{+7}), а высшие окислы MnO_3 и Mn_2O_7 являются ангидридами кислот. Эти свойства обеспечивают растворимость Mn в кислой сероводородной среде, поэтому илы анаэробных бассейнов содержат сравнительно невысокое количество Mn. Таким образом, при сероводородном заражении наддонных морских вод молибден в форме молибденита интенсивно осаждается на дно, тогда как поступление марганца в осадок ограничивается его растворением в наддонных водах (Холодов, Недумов, 2005). Применение молибденового модуля (Mo/Mn) позволяет, по мнению В.Н. Холодова и Р.И. Недумова, довольно определенно оценить газовый режим палеоводоемов, в которых происходили процессы осадконакопления: сотые доли этого отношения типичны для аноксидной среды, Тысячные – для кислородной. Следовательно, если величина молибденового модуля в сланцах высокая, то это свидетельствует о существовании в этих полеоводоемах наддонного сероводородного заражения, а при низких величинах, наоборот – сланцы были сформированы в морском палеоводоеме с типичным кислородным режимом и высокой гидродинамической активностью водных масс.

Согласно А.Е. Ферману (1933) и А.А. Саукову (1951), энергия кристаллической решетки^{*)} изменяется следующим образом:

	U (эки) – энергия кристаллической решетки
Молибденит, MoS_2	2766
Пирит, FeS_2	1132
Сфалерит, ZnS	858
Галенит, PbS	717

^{*)} Энергия решетки – количество энергии, которая высвобождается при построении кристаллической решетки соответственно из ионов, атомов или молекул; но обычно говорят лишь об энергии решетки ионных кристаллов. Последняя вычисляется по формулам Борна и др. Простейшая формула А.Ф. Капустинского: $U = 256,1$ килокалорий на 1 моль. Приблизительная оценка возможна с помощью эквов (Ферман, 1933), при умножении суммы эквов $\times 11,1$ – в электрон-вольтах, а при умножении эквов $\times 256$ – в килокалориях (Геол. Словарь, 1960).

Ниже в таблице П.41 приводятся молибденовые модули терригенно-углесланцевых комплексов Армении.

Таблица П.41

Молибденовые модули терригенно-углесланцевых комплексов Армении
(по данным анализов спектральной лаборатории ЦНИГРИ)

N/N n/n	Месторождение, комплекс	Относительный возраст комплекса	Молибденовый модуль (Mo/Mn)	Условия осадконакопления, режим
1.	Джерманис	триас	0,04	сероводородный
2.	Иджеван	средняя юра	0,0087	слабый доступ кислорода
3.	Шамут	средний эоцен	0,023	сероводородный
4.	Антарамут	верхний эоцен	1,036	резко выраженный сероводородный
5.	Нор-Аревик	миоцен	0,035	сероводородный
6.	Джаджур	плиоцен-квартер	0,923	резко выраженный сероводородный

На основании данных таблицы П.41 можно сделать вывод, что величина молибденового модуля терригенно-углесланцевых комплексов Антарамута и Джаджура свидетельствует о существовании в этих разновозрастных палеоводоемах верхнего эоцена и миоплиоцена резко выраженного наддонного сероводородного заражения. Наоборот, Иджеванский среднеюрский комплекс формировался в морском палеоводоеме с кислородным режимом, а среднеэоценовый комплекс Шамута и триасовый Джерманиса формировались в условиях ограниченного доступа кислорода. По сравнению с модулями Майкопского (р.Кубань), Караджалгинского (р.Суркуль), Древнечерноморского (Черное море) и современного черноморского комплексов (Холодов, 2006), комплекс Джерманиса также, как и перечисленные, формировался в условиях сероводородного заражения, а Шамутский комплекс по аналогии с Новогрозненским (р.Сулак) комплексом – также в условиях сероводородного заражения. Здесь следует отметить, что вышеприведенный молибденовый модуль характерен для северо-западного участка

Джерманисского комплекса, в то время как специальные химические анализы юго-восточного участка показали резко выраженный максимум по молибдену – 0,13%. С учетом серии анализов молибденовый модуль близок к 2, так что условия осадконакопления имели резко выраженный сероводородный режим (это более древние – нижнетриасовые образования).

Установлено, что процесс образования сернистого железа – дисилицида железа FeS_2 (а не FeS или соединений типа пирротина $FeSn$, где $1 < n < 2$) происходит по следующей реакции в условиях щелочной или нейтральной среды (Смирнов, 1955).



По мнению А.З. Юровского, сульфат железа FeS_2 образуется в результате взаимодействия сульфатов щелочных и щелочноземельных металлов с солями и гидроокисью железа в процессе углеобразования, а воспроизводство сероводорода из сульфатов обусловлено жизнедеятельностью сульфатредуцирующих микросеробактерий в условиях восстановительной и щелочной среды. В сульфатредуцирующих бактериальных колониях возникают центры-ячейки (гнезда), насыщенные сероводородом, в которых, в условиях просачивания через перекрывающие породы железосодержащих растворов, происходит интенсивный процесс образования FeS_2 в углях. Процесс образования FeS_2 во многом обуславливается физико-механическими параметрами пород, перекрывающих угольные пласты, т.е. литологическим составом терригенно-угленосного разреза, чем и определяется их дренажная способность для просачивания железосодержащих метеорных вод. Исследованиями показано, что песчаники и песчанистые известняки по своим физико-механическим параметрам являются более водопроницаемыми породами и обеспечивают более высокую проницаемость для железосодержащих растворов, в отличие от глинистых пород, которые, насыщаясь водой, становятся водоупорными и не пропускают растворы. Этим в основном определяется степень сернистости (пиритости) подстилающих угольных слоев.

Уровень сернистости в угленосных отложениях обычно

определяется содержанием в них пирита (Юровский, 1968). Однако часто сера бывает связана не только с пиритом, но и с другими сульфидами, а также карбонатами и силикатами, что при таком подходе может исказить реальную картину. Учитывая то обстоятельство, что в угленосных отложениях Армении пирит занимает главенствующую роль по сравнению с другими серосодержащими соединениями, в нашем случае искажения реальной картины не ожидается, и количество пирита в целом будет определять степень сернистости углистых образований. С этой целью в ИГЕМ РАН (г.Москва) были проведены аналитические исследования по определению содержаний S и Fe в пробах основных угольных месторождений Армении. По данным анализов нами произведен пересчет количества пирита, а также количества серы и железа, связанных с пиритом. Пересчет произведен с использованием пересчетных коэффициентов для расчета количества минералов по содержанию минералообразующих элементов в пробах. Результаты пересчета приводятся в таблице П.42 Данные табл. П.42 дают основание отметить следующее:

1. По содержанию пирита выделяются три группы углей и углистых сланцев с резким преобладанием пиритной серы:

а) Содержание пирита $>5\%$, при среднем содержании $6,25\%$. Максимальные содержания пирита $7,3-7,35\%$. Это угли и глинистые сланцы Шамута (пробы 75, 76, 77) и углистый сланец Иджевана (71). Это высокосернистые угленосные отложения. Содержание серы в этих пробах варьирует в пределах $3,05-5,2\%$, при среднем $3,8\%$.

б) Содержание пирита $>2,5<5\%$ при среднем $2,6\%$. Максимальные содержания пирита $2,63-2,65\%$. Это угли Нор-Аревика (78) и углистые сланцы Иджевана (72) и Антарамута (74). Это умеренно сернистые отложения. Содержание серы в них $1,34-1,42\%$, при среднем $1,39\%$.

в) Содержание пирита $<1\%$. Это углистые сланцы Антарамута (73) с содержанием пирита $0,77\%$, при среднем содержании серы $0,41\%$. Это слабосернистые углистые сланцы.

**Пересчет количества серы и железа, связанных с пиритом в
угленосных отложениях Армении *)**

N/N п/п	Месторожде- ние	Номер пробы	Состав породы	Содержание, %			Количество, %			
				S	Fe	пири- та	серы		железа	
							в пири- те	не связан. с пири- том	в пири- те	не связан. с пири- том
1	Иджеван	71	Угл. сланец	3,13	2,65	5,7	3,05	0,08	2,65	-
		72	Угл. сланец	1,42	6,11	2,65	1,42	-	1,23	4,87
2	Ангарамут	73	Угл. сланец	0,41	3,23	0,77	0,41	-	0,36	2,87
		74	Угл. сланец	1,34	3,42	2,51	1,34	-	1,17	2,25
3	Шамут	75	Угл. сланец	3,05	2,85	5,7	3,05	-	2,65	0,20
		76	Уголь	5,2	3,4	7,31	3,91	1,29	3,4	-
		77	Угл. сланец с глиной	3,93	3,91	7,35	3,93	-	3,42	0,49
4	Нор- Аревик	78	Уголь	1,41	3,16	2,63	1,41	-	1,22	1,93
		79	Угл. грави- концентрат	4,67	10,02	8,73	4,67	-	4,06	5,96
		80	Угл. грави- концентрат	0,18	26,01	0,34	0,18	-	0,16	25,85
5	Джерманис	81	Угл. грави- концентрат	0,53	9,16	0,99	0,53	-	0,46	8,7
6	Джалкур	82	Уголь	2,81	4,08	5,25	2,81	-	2,44	1,63
		83	Угл. грави- концентрат	7,18	2,69	5,78	3,09	4,09	2,69	-

*) Пересчет произведен с использованием пересчетных коэффициентов для расчета количества минералов по содержанию минералообразующих элементов в пробах.

Выделенные группы пород по сернистости отличаются друг от друга морфоструктурными особенностями форм выделений пирита. Для углей первой группы (а) характерны компактные **многоячейстые** колонии, для второй группы (б) – **многообразное сочетание оолитов-шариков**, и, наконец, для третьей группы (в) – **тонкопрожилковые и вкрапленные выделения пирита**. По-видимому, в первых двух группах роль микроорганизмов высока, чем и обусловлена морфометрия их форм выделения и биогенное (органогенное) происхождение.

2. В углях содержание пирита колеблется в широких пределах и составляет 2,63 (Нор-Аревик, 78) — 7,31% (Шамут, 76), при среднем содержании 5,1%. Содержание серы варьирует в пределах 1,41-5,2%, при среднем значении 3,14%. Причем только в углях Шамута (76), при содержании общей серы 5,2%, с пиритом не связаны только 1,29% серы (т.е. 25%), а железо полностью связано с пиритом. В углях Нор-Аревика и Джаджура, наоборот, сера полностью связана с пиритом, а железо, не связанное с пиритом, составляет 61% (от 3,16%) и 40% (от 4,08%) соответственно.

3. В угленосных сланцах, за редким исключением (Иджеван, 71), сера полностью связана с пиритом, а железо, не связанное с пиритом, составляет в сланцах Иджевана (72) 80%, Антарамута (73,74) — 77,5%, а Шамута (75,77) — 10%. Это обусловлено тем, что в угольных сланцах Иджевана и Антарамута значительная часть железа связана с магнетитом, гематитом, гидроокислами железа и другими железосодержащими минералами (камасит, поликсен), а также с карбонатами, силикатами и органическими соединениями. Отметим, что высокие содержания железа, не связанного с пиритом, установлены также в угленосных сланцах Нор-Аревика (данные ГМИ) и в меньшей степени Джерманиса, которые нашли свое отражение в гравиконцентрах (79, 80, 81).

4. Почти вся сера в угленосных отложениях Армении связана с пиритом. Исключение составляет Иджеван — 71 (сланец), где с пиритом не связаны 2,6% серы, Шамут — 76 (уголь) — 25% и Джаджур — 83 (гравиконцентрат) — 57%. Это, по-видимому, связано с наличием сульфатов Cu, Fe и Ba, переходящих в концентрат. Химические анализы ИГЕМ РАН подтверждают значительное их количество в угленосных отложениях и концентратах.

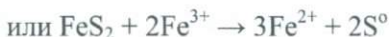
В зоне гипергенеза окисление пирита в терригенно-угленосных отложениях идет по общеизвестной схеме сульфидных месторождений (Угленосные формации и их генезис, 1973). Характерной особенностью этого процесса является то, что продукт окисления пирита — Fe^{3+} — снова вступает в реакцию с пиритом. Окисление пирита трехвалентным железом, известное как прямое действие в бактериальном окислении, протекает по реакции (3).

Обычно в зоне гипергенеза в условиях воздушно-водяного

окисления протекает следующая реакция:



Закисный сульфат FeSO_4 неустойчив в условиях слабой кислотности и наличия кислорода и переходит в окисный железный сульфат $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. В нейтральных или слабокислых растворах $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ также неустойчив и гидролизуеться, образуя серную кислоту и гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Последняя, дегитратизируясь, в конечном итоге образует минералы группы лимонита – лимонит dead look. Серная кислота в зоне окисления не оказывает существенного влияния на пирит. Сульфат железа активен по отношению к пириту, и в условиях отсутствия свободного кислорода образуется значительное количество элементарной серы, которая хотя и малоустойчива и быстро окисляется, но может быть вовлечена в процесс воспроизводства сероводорода из сульфатредуцирующих микроорганизмов:



Наличие элементарной серы в углях является одним из основных подтверждающих факторов возможности течения реакции (1).

Исследованиями установлено, что скорость реакции окисления пирита (и марказита) во многом определяется участием в этих процессах микроорганизмов *Thiobacillus thiooxidans* и *Thiobacillus ferrooxidans*. Нейтральная и щелочная среда благоприятно действует на их жизнедеятельность (Юровский, 1968). При этом наблюдается определенная специализация микроорганизмов. Бактерия *ferrooxidans* окисляет сернокислотное закисное железо до окисного, а выделяющаяся при этом энергия расходуется бактериями на восстановление органических веществ своего тела из двуокиси углерода. При окислении серы до сульфидов выделяющаяся энергия используется бактериями *thiooxidans* для обеспечения своей жизнедеятельности. При совместном действии обеих микроорганизмов на пирит образуется свободная серная кислота, и в раст-

ворах резко снижается рН, что сдерживает их жизнедеятельность.

Экспериментальными исследованиями установлено также, что окисление пирита хемолитотрофным штаммом *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* стимулируется концентрацией Fe^{3+} , и скорость окисления заметно возрастает, однако при концентрациях более 1,0г/л окисление пирита ингибируется (Варданян, 2007). Следовательно, в природных условиях существует оптимальный режим соотношения концентрации Fe^{3+} и количества пирита, при котором происходит реакция (3), т.е. в природе происходит процесс само-регулирувания.

Таким образом, фактический материал по терригенно-угленосным отложениям Армении свидетельствует о том, что морфоструктурное и текстурное многообразие пирита имеет генетическую основу. По морфогенетическим особенностям выделяется сингенетический и эпигенетический пирит. Эпигенетический пирит представлен различными морфометрическими формами органогенных оолитовых псевдоморфоз пирита по микросеробактериям, гидрогенных (гидрогенно-хемогенных) образований вдоль полостей трещиноватости, часто в ассоциации с органогенными образованиями и, наконец, в редких случаях – гидротермальными кварц-пиритовыми или пиритовыми (сульфидными) тонкими прожилками на участках проявления даек и дайкообразных рвущих тел средне-кислого состава с наложенными хемогенно-органогенными образованиями. Хемогенно-органогенный пирит не гидротермальный, а инфильтрационный, т.е. экзогенный. Он образуется в условиях просачивания через перекрывающие слои угольного разреза железосодержащих метеорных вод в сульфатредуцирующие микросеробактериальные колонии-центры.

В таблице П.43 приводятся результаты спектрального анализа (ЦНИГРИ) на 30 элементов образцов терригенно-углесланцевых комплексов Армении.

По данным таблиц П.42 и П.43 можно сделать следующие общие выводы относительно распределения элементов-примесей в терригенно-углесланцевых комплексах Армении с учетом режима осадконакопления в палеоводоемах:

1. Резко выраженный сероводородный режим по модулю молибдена установлен для верхнеэоценового Антарамутского и плиоцен-четвертичного Джаджурского палеоводоемов осадконакопления.

Для **Антарамутского комплекса** установлено следующее долевое участие ведущих элементов-примесей от общей суммы их содержаний: Ti – 56%, As – 19,6%, Ba – 7,3%, Pb – 3,6% (86,5%), остальные примеси: > 2% - Cu, Mo, Mn и >1% - Cr, Zr, V, Zn.

Для **Джаджурского комплекса**: Ti -77,9%, As – 12,5%, Ba – 2,7%, Pb – 1,2%, Cu – 1,2 (95,5%), остальные примеси: > 1% - Zr, V, Zn, Mn, Cr, Ga, Mo, Ni и < 0,2% - Se, Sr, Y.

Как видно, на месторождениях Антарамут и Джаджур проявляется следующая характерная ассоциация ведущих элементов-примесей.

Ti – As – Ba – Pb – Cu

2. Сероводородный режим установлен для триасового Джерманисского, среднеэоценового Шамутского и миоплиоценового Нор-Аревикского палеоводоемов осадконакопления.

Для **Джерманисского комплекса** установлено следующее долевое участие ведущих элементов-примесей от общей суммы их содержаний: Ti – 71,6%, Mn – 14,8%, Ba – 3,2% (89,6%), остальные примеси: < 2% - Zn, Zr, Cu, Cr, Pb и <1% - Ni, V, Mo.

Для **Шамутского комплекса**: Ti – 85,5%, Mn – 7%, Ba – 1,2%, Zr – 1,1% (94,8%), остальные примеси: <1% - Zn, V, Ni, Cr и <0,5% - Cu, Pb.

Для **Нор-Аревикского комплекса**: Ti – 42,6%, Mn – 27%, Pb – 11,6%, Cu – 5,3%, Ba – 4,6% (91,1%), остальные примеси: > 1% - V, Zn, Ni и < 1% - Mo, Cr, Y, Zr, Co.

Следовательно, на месторождениях Джерманис, Шамут и Нор-Аревик проявляется следующая характерная ассоциация ведущих химических элементов-примесей:

Ti – Mn – Ba – Pb – Cu – Zr

**Распределение основных элементов-примесей в разновозрастных
терригенно-углесланцевых комплексах Армении**

Среднее содержание элементов
Процентное содержание элемента
от суммы содержаний элементов-примесей, %

Элементы-примеси	Терригенно-углесланцевые комплексы, содержание эл.		
	Джерманис, триас	Иджеван, ср. юра	Шамут, ср. эоцен
Ti	<u>0,322</u>	<u>0,094</u>	<u>0,487</u>
	71,56	28,48	85,53
Mn	<u>0,067</u>	<u>0,161</u>	<u>0,040</u>
	14,8	48,79	7,02
Ba	<u>0,0143</u>	<u>0,0068</u>	<u>0,007</u>
	3,18	2,06	1,2
Zn	<u>0,0071</u>	<u>0,032</u>	<u>0,005</u>
	1,58	9,7	0,88
Zr	<u>0,0061</u>	<u>0,0044</u>	<u>0,0062</u>
	1,36	1,33	1,09
Cu	<u>0,0058</u>	<u>0,0186</u>	<u>0,0028</u>
	1,29	5,64	0,49
Cr	<u>0,0057</u>	<u>0,0018</u>	<u>0,0032</u>
	1,27	0,55	0,56
Pb	<u>0,0051</u>	<u>0,002</u>	<u>0,0026</u>
	1,13	0,6	0,46
Ni	<u>0,0044</u>	<u>0,001</u>	<u>0,0039</u>
	0,98	0,30	0,68
V	<u>0,0041</u>	<u>0,0016</u>	<u>0,0045</u>
	0,91	0,48	0,79
Mo	<u>0,0026</u>	<u>0,0014</u>	<u>0,0009</u>
	0,59	0,42	0,16
As	-	-	-
Y	<u>0,0016</u>	<u>0,0008</u>	<u>0,0014</u>
	0,36	0,24	0,25
Co	<u>0,0014</u>	-	<u>0,001</u>
	0,30	-	0,18
Ga	<u>0,001</u>	<u>0,0004</u>	<u>0,0008</u>
	0,2	0,12	0,14
Ge	-	<u>0,0002</u>	-
	-	0,06	-
Nb	<u>0,0013</u>	<u>0,0002</u>	<u>0,0006</u>
	0,29	0,06	0,11
Sc	<u>0,007</u>	<u>0,0006</u>	<u>0,0013</u>
	0,14	0,18	0,23
Сумма	<u>0,45</u>	<u>0,33</u>	<u>0,57</u>
	99,91 ¹⁾	99,01	99,77

Элементы-примеси	Терригенно-углесланцевые комплексы, содержание эл.		
	Антарамут, в. эоцен	Нор-Аревик, плиоцен	Джаджур, плиоцен-квартер
Ti	<u>0,226</u>	<u>0,079</u>	<u>0,500</u>
	55,91	42,59	77,89
Mn	<u>0,009</u>	<u>0,050</u>	<u>0,0026</u>
	2,07	26,95	0,4
Ba	<u>0,032</u>	<u>0,0085</u>	<u>0,0172</u>
	7,27	4,58	2,68
Zn	<u>0,0057</u>	<u>0,0025</u>	<u>0,004</u>
	1,30	1,35	0,62
Zr	<u>0,006</u>	<u>0,004</u>	<u>0,0056</u>
	1,36	0,54	0,87
Cu	<u>0,0103</u>	<u>0,0098</u>	<u>0,0074</u>
	2,34	5,28	1,15
Cr	<u>0,0061</u>	<u>0,0015</u>	<u>0,0014</u>
	1,39	0,81	0,22
Pb	<u>0,0157</u>	<u>0,0215</u>	<u>0,0074</u>
	3,57	11,59	1,15
Ni	<u>0,0017</u>	<u>0,002</u>	<u>0,0022</u>
	0,39	1,08	0,34
V	<u>0,0057</u>	<u>0,0033</u>	<u>0,0054</u>
	1,30	1,52	0,84
Mo	<u>0,0094</u>	<u>0,0018</u>	<u>0,0024</u>
	2,14	0,94	0,37
As	<u>0,086</u>	-	<u>0,08</u>
	19,55		12,46
Y	<u>0,0014</u>	<u>0,0013</u>	<u>0,0012</u>
	0,32	0,70	0,19
Co	<u>0,0007</u>	-	<u>0,0002</u>
	0,16		0,03
Ga	<u>0,0004</u>	<u>0,001</u>	<u>0,0019</u>
	0,08	0,54	0,29
Ge	<u>0,002</u>	<u>0,0004</u>	<u>0,0004</u>
	0,45	0,19	0,06
Nb	<u>0,0006</u>	<u>0,0008</u>	<u>0,0002</u>
	0,11	0,40	0,03
Sc	<u>0,0009</u>	<u>0,0005</u>	<u>0,0008</u>
	0,07	0,40	0,19
Сумма	<u>0,44</u>	<u>0,19</u>	<u>0,64</u>
	100	99,46	99,84

Анализы выполнены в спектральной лаборатории ЦНИГРИ (г.Москва).
Аналитик И.В. Григорьева.

^{*)}Остальные – это незначительные содержания Be, Bi, Sr, Ag. Спектральным анализом в пробах не обнаружены Gd, Hf, Sb, Sn, Ta, Tl, W, V, Yb.

3. Слабый доступ кислорода установлен для среднеюрского Иджеванского палеоводоёма осадконакопления.

Здесь установлено следующее долевое участие ведущих химических элементов-примесей от общей суммы их содержаний: Mn – 48,8%, Ti – 28,5%, Zn – 9,7%, Cu – 5,6% (92,6%), остальные примеси: > 2% - Ba и > 1% - Zr, < 1% - Pb, Cr, V, Mo, Ni, Sr.

Следовательно, для этого комплекса характерна следующая ассоциация ведущих элементов-примесей:



В лаборатории рентгенофлуоресцентного анализа ИГЕМ РАН (г.Москва) проводились дополнительные количественные анализы 14 проб на 16 элементов (PHILIPS Analytical X-Ray, аналитики Марченко и Якушев). Пробы отбирались из углей, углистых сланцев и продуктов технологического передела – углистых гравитационных концентратов и шлаков газификации углей. Определялись Cr, Sc, V, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Nb, Ba, Pb, As, Cl, Ga (табл. II.44).

Кроме того, в ИГН НАН РА проводились 15 спектральных анализов на содержание Si, Al, Mg, Co и Fe (аналитик Погосян К.А.) в углесланцевых комплексах Армении. Анализами установлено содержание Fe во всех комплексах в пределах 1-3%. Фракционный анализ образцов показал повышенное содержание магнитной фракции во всех комплексах. Например, по данным химических анализов (ЗАО ГМИ, аналитик К.В. Минасян), содержание Fe в гравиконцентрате угля нораревикского комплекса составляет 13%, из них сульфидная часть составляет 5%, а содержание S составляет 5,24%, из коих 4,58% - сульфидная часть. Содержание Cu – 0,52%, из них сульфидная часть – 0,514%. С учетом результатов спектральных анализов ЦНИГРИ, можно констатировать, что во всех комплексах содержание Fe и Ti постоянно высокое, поэтому следует подчеркнуть уникальную **особенность армянских терригенно-углесланцевых комплексов по содержанию Fe и Ti**. Общими для всех комплексов являются также, как уже было отмечено, повышенные содержания **Ba** и **As**.

**Усредненные результаты количественного спектрального анализа
образцов углеланцевых комплексов Армении
(ИГЕМ РАН, г.Москва)**

Среднее содержание элементов
Процентное содержание элемента
от суммы содержаний элементов-примесей, %

Элементы-примеси	Название и возраст комплекса		
	Джерманис, триас	Иджеван, ср. юра	Шамут, ср. эоцен
Cr	<u>0,0106</u>	<u>0,074</u>	<u>0,0069</u>
	0,50	2,30	2,36
Sc	<u>0,0014</u>	<u>0,0044</u>	<u>0,0028</u>
	0,07	1,36	0,95
V	<u>0,0124</u>	<u>0,0132</u>	<u>0,0134</u>
	0,59	4,12	4,6
Co	<u>0,0041</u>	<u>0,0006</u>	<u>0,0020</u>
	0,20	0,17	0,7
Ni	<u>0,0067</u>	<u>0,0046</u>	<u>0,0074</u>
	032	1,44	2,55
Cu	<u>0,0500</u>	<u>0,0230</u>	<u>0,0168</u>
	2,38	7,20	5,78
Zn	<u>0,1278</u>	<u>0,0095</u>	<u>0,0111</u>
	6,08	2,96	3,83
Rb	<u>0,0113</u>	<u>0,0038</u>	<u>0,0067</u>
	0,54	1,19	2,29
Sr	<u>0,0126</u>	<u>0,0311</u>	<u>0,0222</u>
	0,6	9,73	7,63
Zr	<u>0,0209</u>	<u>0,0208</u>	<u>0,0103</u>
	1,0	6,49	3,54
Nb	<u>0,0013</u>	<u>0,0009</u>	<u>0,0010</u>
	0,06	0,28	0,34
Ba	<u>0,0426</u>	<u>0,0561</u>	<u>0,0254</u>
	2,03	17,56	8,65
Pb	<u>1,5037</u>	<u>0,0048</u>	<u>0,0046</u>
	71,57	1,502	1,58
As	<u>0,2561</u>	<u>0,1231</u>	<u>0,1257</u>
	12,19	38,5	43,26
Cl	<u>0,0130</u>	<u>0,0147</u>	<u>0,0273</u>
	0,65	4,60	9,38
Ga	<u>0,0147</u>	<u>0,0019</u>	<u>0,0074</u>
	0,70	0,59	2,55
Сумма элементов	2,1009	0,3199	0,2910

Элементы примеси	Название и возраст комплекса		
	Ангарамут, в. эоцен	Нор-Аревик, плиоцен	Джаджур, плиоцен- квартер
Cr	<u>0,0031</u> 1,34	<u>0,0062</u> 0,86	<u>0,0059</u> 0,95
Sc	<u>0,0016</u> 0,70	<u>0,0013</u> 0,18	<u>0,0024</u> 0,60
V	<u>0,0283</u> 12,20	<u>0,0131</u> 1,82	<u>0,0155</u> 2,51
Co	<u>0,0025</u> 1,08	<u>0,0068</u> 0,95	<u>0,0025</u> 0,4
Ni	<u>0,0032</u> 0,38	<u>0,0049</u> 0,68	<u>0,0076</u> 1,23
Cu	<u>0,0132</u> 5,70	<u>0,1615</u> 22,48	<u>0,0247</u> 4,00
Zn	<u>0,0158</u> 6,82	<u>0,1531</u> 21,31	<u>0,0220</u> 3,56
Rb	<u>0,0123</u> 5,31	<u>0,0042</u> 0,58	<u>0,0027</u> 0,44
Sr	<u>0,0348</u> 15,02	<u>0,0175</u> 2,44	<u>0,0329</u> 5,33
Zr	<u>0,0223</u> 9,62	<u>0,0476</u> 6,62	<u>0,0174</u> 2,82
Nb	<u>0,0015</u> 0,65	<u>0,0004</u> 0,06	<u>0,0012</u> 0,19
Ba	<u>0,0366</u> 15,80	<u>0,0385</u> 5,36	<u>0,0039</u> 0,63
Pb	<u>0,0053</u> 2,29	<u>0,1625</u> 22,62	<u>0,0343</u> 5,56
As	<u>0,0282</u> 12,17	<u>0,0861</u> 12,0	<u>0,4297</u> 69,61
Cl	<u>0,0210</u> 9,06	<u>0,0127</u> 1,77	<u>0,0122</u> 1,98
Ga	<u>0,0020</u> 0,86	<u>0,0021</u> 0,29	<u>0,0024</u> 0,39
Сумма элементов	0,2317	0,7185	0,6173

К тому же с железом связаны платиноиды (Алоян, Г. Алоян, 2003).

Таким образом, следует отметить уникальную постоянную ассоциацию для армянских терригенно-углесланцевых комплексов **Fe – Ti – Ba – As**, несмотря на их разновозрастность и “многоэтажность” (многоярусность). С учетом вышеизложенного, можно отметить, что в разновозрастных терригенно-углесланцевых комплексах Армении установлены нижеследующие характерные ассоциации химических элементов-примесей:

Джерманис: Mn –Pb– Zn – Cu	Fe, Ti, Ba, As
Иджеван: Mn – Zn – Cu– Sr	
Шамут: Mn –Zr –Sr – V – Zn	
Антарамут: Pb – Sr – V – Zn	
Нор-Аревик: Mn – Pb- Cu– Zn	
Джаджур: Pb – Cu – Sr	

В заключение считаем нужным привести сравнительное сопоставление ассоциации ведущих 10 (11) элементов-примесей в углях Нор-Аревикского и Джаджурского комплексов с продуктами их технологического передела по результатам спектрального анализа на 16 элементов (табл. II.45).

Таблица II.45

**Сопоставление ассоциаций ведущих химических элементов-примесей
в углях и продуктах их технологического передела
(анализы ИГЕМ РАН, г.Москва)**

Месторождение, комплекс	Сырье, продукт	Ассоциации 10 ведущих химических элементов-примесей
Нор-Аревик	уголь, угольный гравиконцентрат	Pb-Cu-Zn-As-Zr-Ba-Sr-V-Go-Ni/Cr
		Cu-Pb-Zn-As-Zr-Sr-V-Co-Cr-Ni/Rb
Джаджур	уголь, шлам газификации	As-Ba-Pb-Sr-Cu-Zn-Zr-V-Ni-Cr
		Pb-As-Zn-Cu-Sr-Ba-Zr-Cr-V-Ni

Таким образом, для разновозрастных терригенно-углесланцевых комплексов Армении в целом характерна ассоциация 10 (11)

ведущих химических элементов-примесей в различных процентных соотношениях. За редким исключением их отличие заключается в долевом участии каждого конкретного химического элемента в составе углесланцевого комплекса, что отражает возраст, структурно-геотектоническое и металлогеническое положение комплекса и общий геохимический фон вмещающих пород и района в целом.

Дальнейшие более детальные исследования должны быть направлены на установление первопричин сходства и различий между руководящими (ведущими) химическими элементами-примесями в установленных ассоциациях.

Следовательно, приведенные выше данные о редкометалльности (металлоносности) разновозрастных терригенно-углесланцевых комплексов Армении, с учетом данных об их золото-платиноносности и возможной ураноносности (р.1 и р.3), дают нам основание рассматривать их как золото-уран-редкометалльное сырье, что открывает новые перспективы по рациональному использованию этого уникального **рудно-энергетического сырья**.

2.1. Галлий и германий в углесланцах

В ранее опубликованных работах нами обоснована перспективность терригенно-углесланцевых комплексов Армении на **золото-уран-редкометалльное** оруденение, что открывает новые возможности по рациональному и комплексному использованию этого уникального рудно-энергетического сырья. Кроме того, установлена единая характерная особенность армянских терригенно-углесланцевых комплексов по высокому содержанию железа (до 8-10% в углесланцах, 18-20% - в концентратах) и титана (до 1-3%), несмотря на их разновозрастность (многоэтажность) и принципиально различные геодинамические условия осадконакопления.

Наиболее важными элементами-примесями являются Mn, Ba, Pb, As, Zn, Cu, в меньшей степени - Sr и Zr (Алоян Г., 2008; Алоян, Алоян Г., 2008). Однако этим ресурсный потенциал комплексов не ограничивается. Важное значение, по аналогии с веду-

щими геотипами мира, имеют элементы-примеси Ga и Ge, характеризующиеся амфотерными свойствами*.

В настоящей главе приводятся новые аналитические данные по геохимическим особенностям концентрации галлия и германия в терригенно-углесланцевых комплексах Армении с учетом их роли в основных геотипах мира. Спектральные анализы проведены в ЦНИГРИ (г. Москва, аналитик И.В. Григорьева) на 50-ти представленных пробах из различных разновозрастных комплексов.

Галлий в углесланцевых комплексах. Содержание Ga в углях сильно варьирует от 0,1 до 300г/т при фоновых содержаниях 5-10г/т. Среднее содержание Ga в каменных углях составляет 2,3г/т, в бурых углях – 5,8г/т, а в торфах – 2,8г/т, в торфообразующих растениях – 1,0г/т. Галлий обнаружен в углях всех бассейнов мира. В добываемых ежегодно в Англии углях (Йоркширский, Нортурберлендский и Кентский бассейны) содержится около 1 тыс. т галлия при среднем содержании 7-8,5г/т. В горючих сланцах стран СНГ содержание Ga колеблется в пределах 1-100г/т при среднем содержании 10г/т. Среднее содержание Ga в прибалтийских кукурситах 7,5г/т, а в углях Кашпировского месторождения – 9г/т (Вершковская, Зуева, Прокопчук, 1998).

Концентрация Ga обычно происходит **сингенетично** с торфообразованием на стадиях седиментогенеза и раннего диагенеза, как и при накоплении германия. Поступление галлия в бассейн торфонакопления происходит преимущественно в форме механической взвеси (коллоидной) и частично - водорастворимой. Накопление галлия происходит в основном в двух формах: минеральной и органической, в зависимости от формы миграции галлия и физико-химических условий бассейна торфонакопления.

Общеизвестна парагенетическая связь Ga с Al. В осадочных образованиях Ga ведет себя как малоактивный мигрант и в основ-

*) Амфотерность (от греч. *amphoter* – и тот, и другой) - способность некоторых элементов в различных условиях (основных, кислотных, щелочных) проявлять различные (лито-, халько- и сидерофильные) свойства. Эти элементы обычно называются амфолитами. К ним относятся V, Ga, Ge, P, Al, W, Co, Ni, Sn, Pb, Sb, Ti, Be, In, Nb, Re, Se, Ta, Te, Au, Ag, Th.

ном уступает алюминию. Эта связь сохраняется в тех углях, где основным концентратором Ga является минеральное вещество. С увеличением зольности углей предполагается, что роль минеральных компонентов, как накопителей Ga, возрастает. Эта тесная парагенетическая связь Ga с Al в терригенно-угленосных отложениях часто нарушается, в основном за счет повышения роли органического вещества как концентратора, что приводит к изменению характера его концентрации в углях.

В настоящее время установлены три типа распределения галлия в ископаемых углях (Клер, Ненахова, Сапрыкин и др., 1988).

Первый тип. Концентрация галлия в минеральной части углей предопределяется его переносом в бассейн накопления в составе терригенно-глинистого материала, где он довольно прочно маскируется в кристаллических решетках алюмосиликатов за счет изоморфного замещения им алюминия. В этих углях содержание минерального вещества увеличивается от легких к более плотным фракциям. Значение минеральных компонентов в концентрации галлия неодинаково. Среди минеральных компонентов основными концентраторами галлия являются глинистые минералы. Карбонаты Fe и Ca, а также сульфиды Fe не являются накопителями Ga (фракции, обогащенные пиритом, имеют сравнительно низкую концентрацию). Характерными примерами являются угленосные бассейны Приморья (РФ) и Казахстана.

Второй тип. К этому типу углей относятся угли, в которых распределение галлия приурочено как к минеральной, так и к органической частям угольного вещества. Содержание галлия в углях этого типа возрастает с увеличением плотности выделяемых фракций, а в золах углей – снижается. Этот тип углей довольно распространен (Донецкий бассейн Украины, Забайкалье, Сахалин и Приморье РФ). Следует отметить, что в углях второго типа распределение галлия относительно равномерное, хотя концентраторами являются различные группы органических и минеральных микрокомпонентов. Концентрация галлия в минеральной части сосредоточена в глинистых материалах, а в органической части – в гелифицированных микрокомпонентах (коллинитах), легких по плот-

ности фракций. К этому типу относятся и основные углесланцевые комплексы Армении.

Третий тип. Накопление галлия в органическом веществе происходит путем основного химического процесса – сорбции галлия гелем гуминовых кислот из водных растворов. При разделении органического вещества по удельному весу установлено, что галлий не накапливается в битумах, чем и обусловлен тот факт, что формы соединения галлия определяют формы вхождения галлия в самих ископаемых топливах. В органической части углей галлий находится не в форме простых гумитов, а в основном в форме комплексных (внутрикомплексных) соединений. В углях этого типа содержание галлия уменьшается в плотных фракциях, т.е. механизм концентрации противоположный к тем углям, где накопление галлия связано с минеральной частью. Здесь наибольшие концентрации галлия установлены в гелифицированных микрокомпонентах низких плотностей. Характерными примерами являются угольные бассейны острова Сахалин РФ и Донбасса Украины.

Относительно зависимости между концентрацией Ga и петрографическим составом углей имеются противоречивые данные как в поддержку этой связи, так и отрицания избирательной концентрации. Имеется обширная литература на эту тему. Следует отметить, что в литературе отсутствуют данные относительно поведения Ga в постдиагенетической стадии углеобразования, хотя нет оснований полностью исключать возможность вторичного обогащения угля галлием за счет сорбции Ga углями из подземных вод, содержащих галлий в водорастворимой форме. В этом случае, как предполагается, будет иметь место селективное обогащение с накоплением Ga в минеральной части углей. Это подтверждается экспериментальными и фактическими данными. В настоящее время нет четкой картины по закономерностям его концентрации; не имеется конкретных данных о концентрации Ga в углях в зависимости от возраста и стадии углефикации (как, например, по германию), не установлена зависимость накопления Ga от геоструктурного положения угленосных формаций, а также отсутствуют четкие данные по концентрации Ga в зависимости от тектоногенетических геоструктурных типов. Однако, по мнению некоторых

исследователей, можно констатировать, что наибольшие концентрации Ga приурочены к угленосным формациям молодых подвижных платформ и краевых прогибов.

В зависимости от условий технологического процесса, при переработке углей галлий распределяется по различным продуктам – в золе и в шлаке (при сжигании в окислительной среде), в системе дымоходов в летучих продуктах (при сжигании в условиях недостатка воздуха), коксе и каменноугольных смолах (при коксовании углей). Из обогащенных продуктов переработки углей получают галлиевые концентраты, содержащие до 2,0-2,7% галлия. В дальнейшем концентраты проходят гидро- и пирометаллургическую переработку. Перечистка концентратов осуществляется щелочным способом (Вершковская и др., 1998). Галлий широко применяется в электронике, волоконной и инфракрасной оптике, высококачественной технике.

Германий в углесланцевых комплексах. Германий относится к числу элементов, которые образуют высокие концентрации в органической части угля (торфа), и в основном активно накапливается на сорбционных барьерах из продуктов разложения органического вещества растительного происхождения. Основным концентратором Ge являются гуминовые кислоты (гелифицированное вещество). Характерной особенностью геохимического поведения германия в зоне гипергенеза является его тенденция к накоплению в бурых и каменных углях, лигнитах и в осадочных железных рудах. Считается, что носителями германия в углях являются первично не окисленные компоненты органической части углей – в основном витрен.

В углях германий находится в виде металлоорганических соединений, а в природных сорбентах (в глинах, в гидроокислах железа и др.), т.е. в минеральной части - в сорбированном состоянии в виде силиката, германата или силикогерманата.

Исследованиями установлено, что концентрация германия происходит преимущественно **сингенетично** угленакоплению на стадии седиментогенеза и диагенеза за счет продуктов поверхностного выщелачивания и их сноса в бассейн торфонакопления. Характер распределения германия в осадочных образованиях в значи-

тельной мере определяется формой миграции его в поверхностных водах. Изучение геохимического поведения германия в углесланцевых отложениях показало, что основной формой миграции германия в поверхностных водах являются растворы, и, следовательно, германий является активным элементом. В меньшей степени происходит **эпигенетическое** накопление германия в процессе его перераспределения или привноса в условиях гидротермальных (эксгальционных) изменений и вторичного окисления, в особенности в зонах тектонических нарушений. На данной стадии изученности установлено, что биогенного накопления германия не происходит. Кроме того, морские условия неблагоприятны для концентрации сингенетического германиевого оруденения, т.к. мигрированный с речным стоком Ge оседает с коллоидами и терригенным материалом без концентраций. Во многих морских организмах (прибрежный планктон, прибрежные губки и др.) германий не обнаружен. Содержание германия в углях обычно неравномерное и колеблется в широких пределах: от десятых долей до 2-3 тысячных г/т сухого угля. В подавляющем большинстве содержание германия в углях находится в пределах 2-3г/т, а в отдельных случаях составляет от 3-25г/т до 100г/т. Среднее фоновое значение Ge в месторождениях стран СНГ составляет, по разным авторам, от 1,5 до 7г/т, а для остальных месторождений мира – 1-10г/т. Отметим, что среднее содержание Ge в углях Англии составляет 7г/т (а в лигнитах – до 1800г/т), в углях США – от 1,6 (Великие Северные равнины) до 5,8г/т (Аппалачи), в углях Южной Африки – от 0,4 до 15,6г/т, в углях Чехии – от 190г/т (Соколовский басс.) до 1200г/т (Хебский басс.), а в товарных рядовых углях России – 0,8г/т (Иванов, Мейтов, 1998). В горючих сланцах обычно содержание Ge низкое. Например, в прибалтийских кукерситах – 1,2г/т, в сланцах Кашпировского месторождения – 1,9г/т, в сланцах Байсунского месторождения выявлены локальные мощные аномалии германия в палеогеновых сланцах (“Байсунский феномен”), достигающие 88г/т. Это имеет эпигенетическую природу и связано с окислением керогена горючих сланцев в зоне тектонического нарушения (Юдович, Кетрис, 1994).

Степень метаморфизма угля предопределяет формы находж-

дения и среднее содержание германия. Так, четко установлено, что германиеносность угля зависит от степени его метаморфизма: высокие накопления германия в антрацитах и тощих углях не установлены. Наиболее германиеносными являются угли более низких степеней метаморфизма (длиннопламенные, газовые и жирные) (рис. II.7). Формы нахождения германия с петрографическим составом угольных пластов не связаны; высокие содержания германия концентрируются преимущественно в гелифицированных компонентах и прежде всего в витрине и фюзене (Клер и др., 1988).

Германий в углях часто является основным полезным компонентом, и потому такие месторождения рассматриваются как комплексные германий-угольные. В большинстве случаев Ge является попутным компонентом, в особенности в углях для коксования. Исследованиями установлено геохимическое родство Ge, U и Mo.

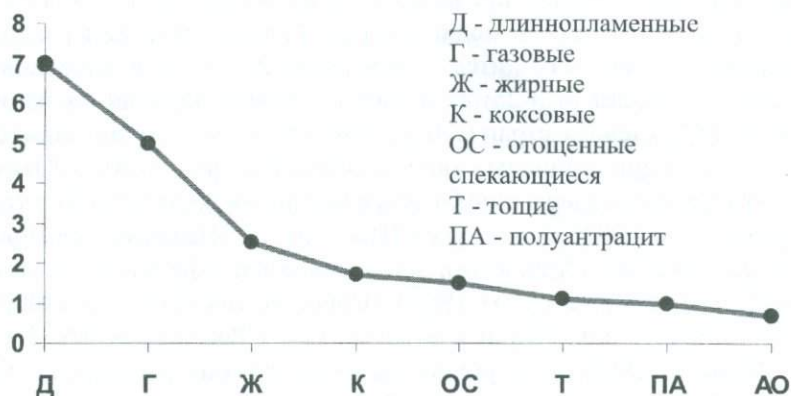


Рис. II.7. Зависимость среднего содержания Ge в углях Донбасса от степени метаморфизма.

По учетным запасам германия в углях страны СНГ занимают первое место в мире. В Российской Федерации запасы германия по типам руд распределяются следующим образом: бурые угли - 47%, коксующие угли - 31,6%, углистые породы - 13,5%, медно-

колчеданные и полиметаллические руды – 7,9%. В России германий извлекают из угольного сырья, а в других странах германий попутно извлекают в цветной металлургии. Годовой объем производства германия - в пределах 65т. Собственно германиевые месторождения России относятся к германий-угольному типу и представлены Новиковским (Сахалин) и Тарбагатайским (Читинская область) месторождениями, обрабатываемыми открытым способом.

Подобно тому, как развитие геохимии черных сланцев стимулировалось преимущественно интересом к урану, так и развитие геохимии углей обязано главным образом интересу промышленности к германию.

Угли германий-угольных месторождений для извлечения германия (шихта при зольности не более 30%) сжигаются в слоевых топках. Эта технология обеспечивает 80-90% извлечения Ge, а содержание в неуловимых выбросах - 0,05-0,02%. В дальнейшем промпродукт проходит циклонную плавку, выщелачивание, осаждение и ионный обмен. Процесс характеризуется высокой производительностью. Готовая продукция передела представлена возгонами, которые перерабатываются гидро- или пирометаллургическими методами. Конечная продукция представляет собой технический тетрагидрид германия (GeCl_4) при извлечении Ge из возгонов 90-93%. Технический GeCl_4 содержит ряд примесей, из которых наиболее трудноудаляемой является As. Для очистки применяются экстракция серной кислотой, дистилляция и ректификация или комбинированные методы (Иванов, Мейтов, 1998).

Германий широко используется в инфракрасной и волоконной оптике, ядерной энергетике, в полупроводниках, в медицине и металлургии.

Месторождения углесланцевых комплексов Армении на металлоносность вообще и германиеносность в частности не изучались, хотя в мире имеются разрабатываемые германий-угленосные месторождения, которые в России и в Англии занимают ведущее место в отрасли.

Аналитические исследования показали, что содержания галлия и германия в терригенно-углесланцевых комплексах Армении низкие, хотя и сопоставимые с их средними содержаниями в

ведущих геотипах. В триасовом (Джерманис), среднеэоценовом (Шамлуг) и плиоценовом (Нор-Аревик) отложениях **германий** не установлен. Если учесть разновозрастность этих комплексов и одинаковый сероводородный режим осадконакопления (модуль $Mo/Mn = 0,023-0,04$), то можно предположить, что последний является одним из ведущих факторов, отрицательно влияющих на концентрацию германия. В то же время, однако, относительно высокие концентрации германия (20г/т) установлены в углях Антарамута (верхний эоцен), формировавшихся в условиях резко выраженного сероводородного режима ($Mo/Mn > 1$), а минимальные концентрации германия (2г/т) наблюдаются в углях Иджевана (средняя юра), формировавшихся в условиях свободного доступа кислорода ($Mo/Mn = 0,0087$), и углесланцах Джаджура (4г/т) (плиоцен-картер), формировавшихся в условиях резко выраженного сероводородного режима ($Mo/Mn = 0,923$) (Алоян Г., 2008).

В зоне окисления германий хорошо растворяется метеорными и грунтовыми водами и транспортируется в растворах, а в отдельных случаях (или на различных стратиграфических уровнях) встречаются локальные геохимические барьеры, препятствующие процессу растворения и миграции или способствующие восстановлению германия, т.к. сульфиды германия (GeS_2 и GeS) могут образоваться под воздействием сероводорода на кислые растворы, содержащие ионы Ge^{4+} и Ge^{2+} . Это возможный механизм, т.к. в зоне гипергенеза концентрация Ge происходит в условиях слабоумеренной кислой восстановительной обстановки над зоной супергенеза (под зоной окисления), а в приповерхностных условиях – в обстановке окисления (щелочного) – германий легко выщелачивается и, в принципе, присутствует в ничтожном количестве или вовсе отсутствует (Жукова, 1964).

В зоне гипергенеза германий присутствует преимущественно в четырехвалентной форме и в редких случаях (Цумб, Ю. Африка) встречается в двухвалентной форме, т.к. последняя гораздо лучше растворима в воде. К тому же основная форма нахождения германия в зоне гипергенеза рассеянная, сорбированная; германий редко образует самостоятельные минералы и замещает изоморфно железо (германит – $Cu_3(Fe, Ge)S_4$; реньерит – $(Cu, Fe)_3$

(Fe, Ge)S₄; стоттит – (Fe, Ge) (OH)₆).

Следует отметить также, что парагенетическая ассоциация Ge, U и Mo в армянских углесланцевых комплексах слабо проявляется. Ассоциация U-Mo наиболее характерна для триасового Джерманисского комплекса, хотя концентрация германия в нем пока не установлена.

Максимальные концентрации галлия установлены в углях Джаджура (19г/т), а минимальные (4г/т) – в углях Иджевана, Антарамута и Нор-Аревика. Условия осадконакопления этих комплексов характеризуются различными режимами молибденового модуля (Mo/Mn), и потому нет определенной зависимости концентрации галлия от сероводородного режима. Кроме того, учитывая традиционную парагенетическую связь Ga и Al, о чем было сказано выше, отметим, что четкой корреляционной связи в армянских углесланцевых комплексах не устанавливается. Однако отметим, что в углесланцевых комплексах Иджевана, Шамута и Антарамута установлена повышенная концентрация Al (до 10%) при минимальной концентрации галлия (4-8г/т). В то же время в углях Нор-Аревика концентрация галлия минимальная и связана с органической частью при минимальных содержаниях Al, а в комплексе Антарамута германий концентрируется в минеральной части при тех же минимальных содержаниях (4г/т), однако содержание Al достигает 7,5%.

Нами рассмотрены некоторые особенности распределения и избирательной концентрации Ga и Ge в терригенно-углесланцевых комплексах Армении и сделана первая попытка сравнительного анализа роли минеральных и органических частей в их концентрации. Установлено, что кривая распределения редких элементов с амфотерными свойствами (Ga, Ge и V) в целом совпадает с кривой литофильных (Ba, Be, Sr, Zn, Nb, Rb, Sc, Y), т.е. с кривой минеральной части, хотя на отдельных стратиграфических уровнях совпадает с тенденцией кривой органического вещества (ОВ). Отметим лишь, что их пики наблюдаются в эоцене и плиоцене. Ge установлен в комплексах средней юры, верхнего эоцена и верхнего плиоцена при аномальной концентрации в верхнем эоцене (Антарамут), а содержания Ga равномерно низкие по всем стратиграфическим уровням, кроме аномального верхнего плиоцена

(Джаджур). Среди этой группы наблюдаются повышенные равномерные содержания ванадия (75-80% от суммы элементов) по всем стратиграфическим уровням, что и определяет характер кривой их суммарного распределения, т.к. он концентрируется в минеральной части.

Таким образом, концентрация галлия и германия в терригенно-углесланцевых комплексах Армении имеет место как в минеральной, так и в органической частях угольного вещества, преимущественно на эоценовом (верхнеэоценовом) стратиграфическом уровне, что хорошо коррелируется с данными ведущих геотипов мира.

В этом плане особый интерес представляет Вайоцзорское проявление германия, которое локализуется в пачке углей и углефицированных песчаников, глин и мелкообломочных конгломератов общей мощностью 25-30м. Оруденелая пачка прослеживается на поверхности 1500м и оконтуривается в свите терригенно-карбонатных отложений эоцена. Оруденелая пачка значительно пиритизирована. По данным А.А. Асатряна, среднее содержание германия на поверхности составляет 58,4г/т при резких вариациях содержаний от 4 до 208г/т. При этом 30% проб имеют содержание Ge от 90 до 208г/т, 30% - в пределах 5г/т, а остальные 40% - в пределах 15-20г/т. Углистые прослои имеют линзообразные и гнездообразные морфологические формы; они маломощные (0,25-0,30м) и часто перемежаются с песчаниками, глинами, известняками и конгломератами. Для прослоев угля характерна довольно интенсивная вкрапленность оолитовидного пирита. Общая площадь рудопроявления - 1,5км².

Следует отметить, что, по примеру многих геотипов мира, армянские терригенно-углесланцевые комплексы могут рассматриваться как комплексное сырье на Au, Ag, Pt, V, Fe, Ti, U, и Y, а в отдельных случаях - на Ba, Mn, Sr и Nb. В этом плане показательны данные по углям Кузбасса. Исследования показали, что они представляют интерес с точки зрения комплексности (Красков, Салохов, 2007). В настоящее время извлекаются Ge, V, Ti, Zr и могут представлять интерес для извлечения Ga, Y, Sr, Nb, Be, W, а также Cu, Pb, Zn, и Ba.

Все вышеизложенное свидетельствует о том, что геохимические особенности концентрации редких элементов (в том числе галлия и германия) изучены крайне слабо, и необходимо проведение дальнейших специализированных исследований с учетом их металлоносности.

Глава 3. РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В НОВЕЙШИХ КИСЛЫХ ВУЛКАНИТАХ АРМЕНИИ (риолиты-обсидианы-перлиты)

При рассмотрении золотоносности (благороднометалльности) нерудных формаций Армении мы в качестве примера привели данные по новейшим вулканическим образованиям южных и юго-восточных склонов горы Арагац. Мы привели материалы по титаномагнетитовым вулканическим пескам, кислым туфам и частично по шлакам. Золотоносность базальтов рассматривается в другой работе. Вопросы геохимии редких и “рудных” элементов в новейших вулканитах Армении наиболее детально рассмотрены в основополагающей статье Б.М. Меликсетяна и С.Г. Карапетяна (1981)^{*)}. Это огромный и очень богатый комплексный материал, обоснованный аналитическими исследованиями ведущих специализированных лабораторий России и Армении.

В настоящей главе нами полностью использованы материалы Б.М. Меликсетяна и С.Г. Карапетяна без изменений с соблюдением их авторских прав. Конечно, было бы желательно эту статью полностью включить в монографию в установленном в таких случаях порядке, но мы остановились на варианте конспектного изложения статьи с авторскими выдержками. Использование этих материалов дает нам основание акцентировать внимание геологической общественности Армении на новейшие (верхнеплиоцен-четвертичные) вулканические образования как уникального рудно-строительного сырья многоцелевого назначения XXI века. Следует учесть, что данные Б.М. Меликсетяна и С.Г. Карапетяна свидетель-

^{*)} Меликсетян Б.М., Карапетян С.Г. Геохимия редких и рудных элементов в новейших кислых вулканитах Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1981, N4, с. 28-48.

ствуют о рудном потенциале кислых риолитов, обсидианов и перлитов, а наши данные, изложенные выше (р. I, гл. 1.3), – о благороднометалльности кислых туфов, вулканических песков и шлаков, т.е. рассматривается почти весь комплекс кислых образований новейшего вулканизма Армении с точки зрения их металлоносности. Мы ограничились изложением данных по юго-восточным отрогам г.Арагац, а Б.М. Меликсетян и С.Г. Карапетян охватили геохимическими исследованиями крупные и сложные по структуре куполовидные вулканы Артени, Гутансар, Атис, Спитакасар, Хорапор, Мец и Покр Сатанакар, Базеник и др., т.е почти все основные виды кислых вулканитов Армении в ряду **риолит-обсидиан-перлит**.

Во многих отраслях народного хозяйства широко применяются новейшие (верхнеплиоцен-четвертичные) кислые вулканиты Армении. Высокие технологические свойства и огромные ресурсы (свыше десятков млн. км³) риолитов, перлитов и обсидианов нашли особое применение в качестве сырья многоцелевого назначения, а также в строительной индустрии и в уникальных сферах. Повышенный интерес к этому виду оригинального сырья объясняется тем, что по данным геохимических исследований, в ряду риолит-обсидиан-перлит установлены относительно высокие концентрации редких и рудных^{*)} (по определению Б.М. Меликсетяна и С.Г. Карапетяна) элементов. Исследованиями установлено, что рудные элементы формировались в условиях значительной роли флюидной фазы, что дает возможность изучить эволюцию рудно-магматических систем, в особенности рудоносность кислых вулканических формаций.

Общеизвестны высокие концентрации в кислых вулканических стеклах Дальнего Востока, Забайкалья и Кавказа Cs – 1700-4230г/т, Rb – 1500г/т и Li - 635г/т. Интересные данные имеются по содержаниям циркония (1924г/т), ниобия (280г/т) и бериллия (500-

^{*)} Авторы статьи используют это выражение с целью подчеркнуть их промышленную значимость. Рудными считаются и редкие металлы. Обычно используется понятие “рудный минерал”. Однако считаем целесообразным оставить терминологию авторов без изменения и лишь отметим, что в понятие “рудные” входят черные, цветные, благородные и редкие металлы.

600г/т) в перлитах. По мнению Б.М. Меликсетяна и С.Г. Карапетяна, во многом перлиты по концентрации редких элементов и летучих компонентов сравнимы с гранитными пегматитами (Ширинян, Карапетян и др., 1963; Шатков, Гушин, 1969; Ширинян, Карапетян, 1971; Ляхович, 1976; Маракушев, Яковлева, 1980; Меликсетян, Карапетян, 1981).

Установлено, что в близповерхностных условиях процесс эволюции кислой магмы сопровождается интенсивной дегазацией и ликвацией – дифференциацией на богатые и обедненные водой и летучими стеклами. В изученном ряду риолит-обсидиан-перлит имеет место понижение SiO_2 , Na_2O , CaO , MgO и суммарного железа с одновременным возрастанием содержания Al_2O_3 , K_2O , а отношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ равны 0,9-1,3; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 1,2-1,7$. “Эти процессы флюидно-магматической ликвации приводят к перераспределению редких и рудных компонентов в сосуществующей триаде риолит-обсидиан-перлит” (Меликсетян, Карапетян, 1981).

Б.М. Меликсетян и С.Г. Карапетян, рассматривая закономерности распределения редких и рудных элементов в вулканических стеклах, выделяют следующие основные ассоциации элементов:

1. Ассоциация халькофильных элементов, характеризующаяся резко выраженным коэффициентом концентрации: **Pb, Mo, Bi, Sb, As, Hg, Cd, Ag, Au.**

2. Ассоциация редких элементов (**W, Ba, Cs, Hf, Th, U**) и летучих (**B, S, Cl**), встречающаяся в вулканических стеклах с умеренным коэффициентом концентрации (1,5-3).

3. Ассоциация сидерофильных и редкоземельных элементов (**La, Ce, Eu, Yb**), а также **Cu, Zn, P, F**, встречающаяся в вулканических стеклах в значительно малых – нижекларковых концентрациях (0,3-0,9).

4. Ассоциация микроэлементов, содержащаяся в кислых стеклах примерно в кларковых концентрациях (**Rb, Sr, Li, Sn, Ga, Ge**).

Выделенные ассоциации элементов характерны как для вулканических стекол Северного Кавказа, так и других регионов СНГ и мира.

Новый фактический аналитический материал позволяет установить достаточно отчетливо явление дифференциации редких и рудных элементов в ряду риолит-обсидиан-перлит. Парные отношения концентрации редких элементов перлит/обсидиан, обсидиан/риолит и перлит/риолит дают основание Б.М. Меликсетяну и С.Г. Карапетяну сделать ряд важных заключений.

1. В перлитах, по сравнению с риолитами, наблюдается относительная концентрация Be, Cs, Co, Nb, Y, Mo, W, Ga, As (1,5-2 раза), **Ag, Au, S** (3-12 раза), а по сравнению с обсидианами в 3 и более раз Be, Cs, Co, Nb, Y, Sc, Mo, W, AS, Au, F, S.

2. В перлитах, по сравнению с риолитами, наблюдается уменьшение относительной концентрации Sr, Ti, Cr, Yb, B, V, Ni (1,5-2 раза), а остальные элементы сохраняют стабильность.

3. В паре перлит/обсидиан максимальные концентрации дают Cs, Be, Co, Y, Mo, W, Au, F, S, а минимальные – Sr, Ti, Ni, Cr, Cl, Zn, Sb.

4. В паре обсидиан/риолит изменчивость для большинства элементов меньше, чем в паре перлит/риолит, и особенно в паре перлит/обсидиан.

По мнению Б.М. Меликсетяна и С.Г. Карапетяна, подобные соотношения указывают на концентрацию ряда элементов в водосодержащих стеклах (перлитах) в большей мере U, Cs, Nb, Be, Y, W, Mo, F и пониженные концентрации Sr, Ti, Ni, Cr, Cl, B. Возрастание растворимости воды в кислых расплавах (в апикальных частях магматических камер) приводит к ликвации (расслоению) переохлажденных стеклоподобных расплавов на обсидиан и пароводонасыщенный перлит, сопровождающейся разделением редких элементов, геохимически тесно связанных с K, Al, OH, F, Cl, S, накапливающихся в перлитах, в частности Mo, W, U, Nb, Be, Cs, F, Y и др.

Установлено также, что риолиты более обогащены магнетитом, ильменитом, манганоильменитом, рутилом, сфеном, цирконом, апатитом, ортитом, монацитом, гранатом альмандинового состава. Обсидианы и в особенности перлиты характеризуются относительным обогащением сульфидами – халькопиритом, галенитом, сфалеритом, реальгаром, аурипигментом, молибденитом, кино-

варью, арсенопиритом и антимонитом. Весьма характерной особенностью обсидианов и перлитов является обнаружение в них самородных элементов – Cu, Pb, Zn, Sn, Bi, Au, Ag, и Hg с гранатом спессартитового состава. Появление самородных элементов Б.М. Меликсетян и С.Г. Карапетян объясняют особыми условиями формирования вулканических стекол – быстрому охлаждению и резко выраженному восстановительному режиму.

Отмечается также высокая концентрация редких элементов, что связывается с высокой изоморфной емкостью кристаллических решеток и способностью сорбционного рассеяния. Об этом свидетельствуют содержания “редкометалльных элементов-примесей в ильмените и магнетите (Li, Mn, Nb, Zr, Y, Mo, Sn, Bi, Ag), а также в рутиле, сфене, гранате, апатите, цирконе и в сульфидных аксессуарах (Be, Ag, Au, As, Hg, Sb, W и др.)...Главная масса (75-80%) малых петрогенных и радиоактивных элементов находится в дисперсном состоянии в стекловатой массе, а значительная масса (30-40%) редких и металлогенных элементов (в сорбционном состоянии или в виде дисперсных микровключений) – в порах совместно с летучими компонентами. Эти процессы мобилизации элементов с высокой летучестью соединений отчасти протекают после эруптивной фазы, при сравнительно низких температурах” (Меликсетян, Карапетян, 1981).

Касаясь геохимических аспектов возможного образования новейших кислых вулканитов, Б.М. Меликсетян и С.Г. Карапетян, на основании огромного фактического материала, выдвинули новую идею об образовании новейших кислых вулканитов. Ранее предполагалось, что “генерация кислой магмы могла происходить в результате переплавления в нижней части кристаллического фундамента, представленного докембрийской полиметаморфической гнейсово-кристаллосланцевой серией фации альмандиновых амфиболитов регионального метаморфизма” (Ширинян, Карапетян, 1971; К. Карапетян, 1972; Наседкин, 1975; Агамалян, 1976).

По мнению Б.М. Меликсетяна и С.Г. Карапетяна, “исходные кислые магмы, возможно, возникли путем магматического замещения глубинными флюидами на непрерывно возрастающем геотермическом фронте поднимающихся мантийных оливин-ба-

зальтовых и андезито-базальтовых расплавов плиоцен-четвертичного возраста, отличающихся также высоким содержанием таких некогерентных элементов, как Rb – 9,9г/т, Mo – 1,65г/т, Sn – 4,5г/т, Nb – 10г/т, Li – 7г/т, U – 2,72г/т. Бесспорно также участие в кислотном петрогенезисе мантийных окисленных флюидов калиевой природы – агентов палингенеза, с соответствующей геохимической специализацией в отношении некогерентных щелочнометалльных, радиоактивных и редких элементов.” (Меликсетян, Карапетян, 1981). Этими исследованиями установлено, что геохимическая специализация кислых вулканитов очень близка к специализации орогенных – олигоцен-миоценовых порфирировидных гранитоидов Анкаван-Сюникской зоны, что свидетельствует о единстве их петрогенезиса за счет неоднократно гранитизированных “глубинных горизонтов гнейсово-метаморфического субстрата, при участии мантийных калиевых флюидов с аналогичной геохимической специализацией. Как для указанных гранитоидов (гранит-адамеллит-гранодиорит), так и для рассмотренных куполовидных вулканов, характерна антидромная эволюция” и далее:

“1. Формирование кислых риолитовых магм происходило в нижних горизонтах метаморфического слоя, на фронте высокого температурного градиента, под влиянием гранитизирующих ювенильных калиевых флюидов, обогащенных некогерентными элементами.

2. Дифференциация редких элементов в ряду риолит-обсидиан-перлит с обогащением водонасыщенных стекол некогерентными элементами и летучими компонентами обусловлена явлениями флюидально-ликвационного расщепления магматического расплава” (Меликсетян, Карапетян, 1981).

Весь вышеизложенный материал дает нам основание отметить следующее:

1. Наибольший интерес с целью возможного промышленного освоения в XXI веке представляют две ассоциации: ассоциации халькофильных и редких элементов.

Ассоциация халькофильных (металлогенных) элементов имеет почти равномерное распределение в ряду риолит-обсидиан-перлит с резко выраженным коэффициентом концентрации и пред-

ставлен следующими элементами: Pb, Mo, Bi, Sb, As, Hg, Cd, Ag, Au. Данные, приведенные в таблицах, прилагаемых к статье Б.М. Меликсетяна и С.Г. Карапетяна, в основном обосновывают наибольшую перспективность данной ассоциации. Однако данные по Au вызывают сомнения, т.к. авторы статьи в таблице 9 приводят коэффициент концентрации (КК) золота в группе металлогенных элементов, равный 70, а наши расчеты по приводимым данным в таблицах 4 и 9 дают цифру 0,75, что имеет принципиальное значение, т.к. кларковое содержание золота по А.П. Виноградову равно 0,04г/т. Сомнение вызывает также КК висмута и некоторых других элементов. Следует уточнить эти данные, т.к. содержание благородных металлов (в т.ч. МПП) могут сыграть приоритетную роль в оценке перспективности этой ассоциации.

Ассоциация редких элементов, представленная W, Ba, Cs, Hf, Th и U, встречается также во всех кислых продуктах и характеризуется КК=1,5-5. Здесь особый интерес представляют радиоактивные элементы U, Ra, Th и K, анализы которых выполнены в ИГЕМ АН РФ (г.Москва). В целом, КК Th и Ra и в особенности U возрастает от риолита и обсидианов к перлитам. Высокой радиоактивностью характеризуются риолиты+обсидианы+перлиты Цахкуняцкой группы и перлиты Атиса (и риолиты), Гутансара и Гехасара. В перлитах содержания радиоактивных элементов составляют: U – 9-16г/т, Th – 14,2-28г/т, Ra – в пределах 2-6 10^{-10} %, K – 3,4-4,3%. Необходимо проведение специальных минералого-геохимических исследований в полном объеме в пределах вулканических аппаратов с повышенным радиоактивным фоном.

2. В перлитах и обсидианах наблюдается относительная концентрация Be, Cs, Co, Y, Mo, W, Ga, Nb, As, что может быть предметом совместного изучения с благородными металлами. Приоритетность исследований должна быть отдана перлитам.

3. Для возможных технологических исследований важное значение имеет изучение форм нахождения металлов в кислых продуктах новейшего вулканизма Армении. В первом приближении можно отметить, что в риолитах часто встречаются минералы группы железа; в обсидианах и в особенности в перлитах – преимущественно сульфидные минералы, а также, что очень важно,

самородные металлы Cu, Pb, Zn, Sn, Bi, Au, Ag и Hg. Относительно высокие концентрации редких элементов обусловлены высокой изоморфной емкостью кристаллических решеток и способностью сорбционного рассеяния.

Важно отметить, что главная масса (75-80%) малых петрогенных (Li, Be, Rb, Cs, Sr, Ba, K, Na) и радиоактивных (U, Th, Ra) элементов находится в дисперсном состоянии в стекловатой массе, а значительная часть (30-40%) редких и металлогенных элементов находится в виде сорбционного состояния или в виде дисперсных микровключений в порах совместно с летучими компонентами. Следует, в первую очередь, определить технологические возможности комплексного извлечения полезных компонентов, а в дальнейшем составить специальную программу работ по выделению обогащенных геологических блоков для дальнейшего детального изучения и подсчета запасов с целью их промышленного освоения.

Выполненные исследования Б.М. Меликсетяна и С.Г. Карапетяна по геохимическим особенностям новейших кислых вулканитов в ряду риолит-обсидиан-перлит имеют не только важное научное, но и огромное прикладное значение в деле резкого расширения ресурсного потенциала редкометалльного, благороднометалльного и радиоактивного сырья республики.

Следует сожалеть, что отсутствуют пробирные анализы по благородным металлам, что не дает возможности более реально оценить их ресурсный потенциал. К тому же геохимические исследования не сопровождались минералого-технологическими исследованиями с целью комплексного извлечения той или иной группы (парагенезиса) металлов, учитывая их дисперсное состояние в стекловатой массе.

Глава 4. РЕДКОМЕТАЛЛЬНОСТЬ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ

4.1. Гидроминеральные ресурсы как потенциальное сырье на редкие щелочные металлы

Комплексное изучение и использование минеральных ресурсов РА и их технологической продукции является сложной и многогранной задачей, имеющей очень важное народнохозяйственное значение. Речь идет не только о сырьевых ресурсах коренных месторождений, но и гидроминеральном сырье, которое крайне слабо изучено, однако имеет большие перспективы с точки зрения экологически чистых и доступных схем извлечения полезных компонентов. Необходимо отметить, что минеральные воды Армении полезны не только в лечебных целях и в сфере пищевой промышленности, но и в связи с содержанием ряда ценных микроэлементов.

Геохимия редких металлов и технология их извлечения из руд коренных месторождений медной, медно-молибденовой, золотополиметаллической и железорудной промышленных формаций изучена достаточно хорошо. Однако редкие металлы, будучи в виде примесей, извлекаются из рудного сырья республики только попутно с основными элементами (золотом, серебром, медью, цинком, свинцом, молибденом), ввиду отсутствия в настоящее время автономных цехов с технологическими схемами для прямого извлечения редких элементов. Как следствие, редкие металлы в рудах коренных месторождений рассматриваются как попутные и при металлургической переработке концентратов извлекаются частично или вовсе не извлекаются, что приводит к значительным убыткам.

С этой точки зрения большой интерес представляют гидроминеральные ресурсы, известные на территории республики, которые содержат ряд редких металлов, имеющих стратегическое значение и высокие стабильные цены на мировом рынке. Предварительными исследованиями выявлено, что в отличие от коренных месторождений, на основе гидроминеральных ресурсов возможно

создать автономное производство редких металлов, в число которых входят такие элементы, как германий, бор, рубидий, литий, цезий, стронций. Извлечение из гидроминерального сырья редких щелочных металлов не представляет трудной задачи при использовании метода селективной экстракции (Бойцов и др., 1999).

Исследования показывают, что природные минерализованные воды содержат высокие концентрации некоторых редких элементов. В настоящее время установлены содержания лития (600-1200 мг/л), рубидия (30-60 иногда до 950 мг/л), цезия (10-15 мг/л), стронция (8000-10000 мг/л), что является надежной базой для организации промышленного производства. Имеются геологические предпосылки, чтобы ожидать наличия в промышленных концентрациях таких элементов, как рений, германий, кадмий, гафний, скандий, галлий, таллий и ряд других (Солодов, 1968; Балашов, 1974).

Особый интерес представляют редкометалльные **гидротермальные хлоридные воды** в областях современного и кайнозойского вулканизма. По химическому составу это калиево-натриевые гидрокарбонатные воды, обогащенные щелочными элементами. Воды этой формации в основном распространены в районах повышенной современной вулканической активности – в Новой Зеландии, Японии, Эквадоре, США (шт. Вайоминг, Невада, Калифорния), Исландии, Италии и т.д. (Голева, 1977; Балашов 1977). Они являются одним из наиболее древних промышленных типов вод. В Италии они являются источником бора. Имеются сведения, что за десятилетие прошлого столетия из парогидротерм Тосканы добывалось до 15 тыс. т в год различных химических продуктов, в т.ч. 4,4 тыс. т борной кислоты, 4-5 тыс. т буры, 620т хлористого аммония и другие аммиачные и углекислые продукты (Жоган, Названова, 1974).

С магматической активностью кайнозойского возраста Альп, Динарид, Карпат и других регионов мира связаны редкометалльные **хлоридно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные кальциево-натриевые воды**.

В осадках, отлагаемых горячими источниками Новой Зеландии, зафиксированы содержания драгоценных металлов в коли-

чествах, сопоставимых с богатыми коренными месторождениями, а в отложениях фумарол установлены содержания Pb и Cu (до 1%), Zn и As (0,3%), Sn (0,5%) и H_3BO_4 (0,3%). В водах Японии дополнительно установлен германий (0,002-0,17 мг/л), галлий (0,11-72 мг/л), селен (0,005 мг/л).

Промышленное извлечение лития и в более ограниченном количестве рубидия и цезия производится в Китае, Японии, Новой Зеландии, Италии и в других развитых странах. Научно-исследовательские работы проводятся во Франции, Исландии, Канаде, Чили, Индии.

Значительные ресурсы щелочных металлов содержат ряд известных минеральных и термальных вод в странах СНГ. Стоит упомянуть о возможности извлечения из минеральных вод Якутии и Казахстана лития, цезия и рубидия (с суммарным содержанием солей 120-130 мг/л), даже при их среднем содержании 0,15 мг/л, по технологии ГЕОХИ РАН (Бойцов и др., 1999).

В качестве сорбентов применяют различного состава природные и синтезированные цеолиты. Считается наиболее перспективным использование для извлечения цезия, рубидия и стронция клиноптилолита и морденита, однако предпочтение отдается мордениту.

Армянскими учеными разработана сорбционная технология извлечения редких щелочных металлов из минеральных терм (Анкаван, Азатаван), обеспечивающая селективную сорбцию цезия и рубидия на сульфокатионит марки КУ-2-8 и лития и стронция на карбоксильные катиониты марки КБ-4 и КБ-4П-2. Высокие емкости катионита ФЦН-71 по цезию и рубидию – 8,8 мг/г и катионита КБ-4П-2 по литию и стронцию - 43,4 мг/г обеспечивают решение прикладных задач сорбционной технологии с извлечением более 99% (Халатян, Арутюнова, 2000).

4.2. Минеральные воды Армении как сырье для редких щелочных металлов

Для обоснования целесообразности проведения целенаправленных систематических исследований по изучению гидромине-

рального сырья Армении, как потенциального ресурса на редкие щелочные металлы, ниже приводятся общие сведения о запасах и производстве, областях применения, промышленные типы руд и месторождений, способы обогащения и металлургического передела с получением чистых металлов лития, рубидия и цезия.

Литий. Металлический литий^{*)} – серебристо-белый металл, быстро тускнеющий на воздухе вследствие образования нитрида (Li_3N) и оксида лития. Металл мягкий и пластичный, режется ножом, прессуется и прокатывается, в том числе в проволоку. Металлический литий парамагнитен. Литий, как легкий (атомная масса 6,941) щелочной металл, проявляет весьма высокую химическую активность. В природных условиях литий одновалентный и в основном находится в трех формах: собственные минералы, изоморфная примесь в других минералах и **растворимые соединения в природных водах**. Преобладающее количество лития находится в рассеянном состоянии. Fe, Mg и Al по размеру ионного радиуса близки к литию и часто изоморфно замещаются им.

Литий имеет широкое применение. Структура мирового потребления имеет следующий вид: производство алюминия, стекла и керамики – 63% (карбонат лития - 48% и 15% минеральные концентраты); консистентные смазки - 20% (гидроксид лития); кондиционирование, очистка воздуха и газов - 9% (соли лития); катализаторы для получения синтетического каучука - 2% (бутил-литий); фармацевтика и другие области применения - 1%.

Мировые подтвержденные запасы лития (без стран СНГ) составляют около 20 млн. т Li_2O , а ежегодное производство – 20 тыс. т. Наиболее крупные запасы сосредоточены в поверхностной и близповерхностной рапе (Боливия - 66%, Чили – 17%). Запасы лития в пегматитовых рудах составляют в США - 5%, Канаде – 4,5%, Заире - 4%, Австралии - 2% и Зимбабве – 1,3%. Наиболее крупными производителями литиевых концентратов являются США - 42%, Чили - 21% и Австралия - 18%, а литиевых соединений - США, Германия и Япония. Основные потребители лития – США, Япония и страны ЕЭС. Россия занимает одно из ведущих мест по запасам лития, на ее долю приходится 96% запасов лития в странах СНГ (Украина, Казахстан, Узбекистан, Белорусия, Туркмения).

Промышленные типы месторождений – редкометалльные гранитные пегматиты и рапа соляных отложений и озер. Наибольшее значение имеют последние. Промышленный минерал лития – сподумен ($\text{Li}_2\text{AlSi}_2\text{O}_6$),

^{*)} Общие сведения по литию, рубидию и цезию приводятся по данным “Справочник. Литий. Рубидий и цезий. Минеральное сырье.” М., ЗАО Геоинформмарк, 1998-1999. Авторы: Клеменцкий А.А., Линде Т.П., Юшко Н.А., Шадерман Ф.И.

лепидолит ($\text{KLi}_{1,5}\text{Al}_{2,5}\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{F}\cdot\text{OH})_4$) или ($\text{K}_2\text{Li}_3\text{Al}_5\text{Si}_6\text{O}_{20}(\text{F}\cdot\text{OH})_4$) - 4%, петалит ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$) - 4%, амбигонит, эквиптит, циннвальдит. Извлечение лития из руд составляет 76-90% при содержании в концентрате 4,6-7% Li_2O_5 . Перерабатывают литиевые концентраты гидрометаллургическим способом.

Промышленная поверхностная и межкристалльная сульфидно-хлоридная рапа содержит от 0,4 до 0,2% Li_2O , а также соединения К, Na, Mg, В, Br, Р, Са, Rb. Литиевые соли получают из рапы попутно при ее переработке на соду, сульфаты, хлориды и бромиды Na, К и Mg, бор и борную кислоту, а также другие полезные компоненты. Огромные запасы и относительно простая технология извлечения солей лития из высокоминерализованных растворов с использованием естественного и искусственного выпаривания делает их высокорентабельным источником высоколиквидного лития. В этом промышленном типе сконцентрировано 75% запасов и 45% добычи лития.

Из рапы добыча осуществляется открытым способом. Рапа представляет собой высококонцентрированный соляной раствор (рассол) озерных водоемов или высохших озер. Ее подразделяют на поверхностную, покрывающую твердые донные осадки, и межкристалльную, которая подпитывает донные осадки, образуя пласто- и линзообразные залежи. Добычу рапы осуществляют откачкой в специальные пруды – сборники рапы, откуда она поступает на дальнейшую переработку. Откачку межкристалльной рапы производят из колодцев, пробуренных в слое соли, или из неглубоких (7-30 м) скважин.

Извлечение лития из природных рассолов проводят несколькими методами, в зависимости от содержания кальция. Извлечение металла из низкокальциевых поверхностных и неглубоко погребенных рассолов осуществляют после концентрирования рассолов и осаждения нерастворимых соединений (карбонатов, фторидов и фосфатов). Извлечение лития из существенно кальциевых глубокозалегающих хлоридных рассолов производят методом ионного обмена на синтетических неорганических сорбентах в основном на основе $\text{Al}(\text{OH})_3$, MnO_2 . В Армении Э.С. Халатяном разработана технологическая схема с применением природных цеолитов Армении.

Товарная продукция литиевого производства представлена неорганическими (карбонат, хлорид, гидроксид, фторид) и органическими (бутиллитий) соединениями, металлическим литием различных марок и его сплавами с Al, Mg и другими металлами.

Рубидий и цезий. Рубидий и цезий – тяжелые редкие щелочные металлы. Это химически активные металлы серебристо-белого цвета, имеющие самые низкие температуры плавления и кипения: 39/687 °С и 29,7/688 °С соответственно. На воздухе они быстро окисляются. При взаимодействии с атмосферным воздухом, кислородом, водой или льдом воспламеняются или взрываются. Рубидий и цезий в твердом состоянии одновалентны. Преимущественная форма нахождения тяжелых редких

щелочных металлов – изоморфная примесь в основном в калиевых (слюдах и полевых шпатах), реже в редкометалльных минералах (Rb – в поллуците, Cs – в берилле). Среди природных вод наиболее обогащены рубидием и цезием термальные воды современных вулканических областей (в среднем 2,6 и 1,2 мг/л соответственно) и глубокозалегающие хлоридные рассолы артезианских бассейнов (до 20 и до 3 мг/л соответственно).

Рубидий и цезий широко используются для изготовления фотоэлектрических приборов, фотоэлементов, в производстве различных газоразрядных электрических устройств и выпрямителей, используются при разработке прецизионных стандартов частоты и времени, в измерительной технике. Рубидий и его соединения используются в химической (катализаторы и промоторы в реакции органического и неорганического синтеза), в медицинской (как спотворные и болеутоляющие препараты) и в пищевой (для стерилизации пищевых продуктов) промышленности.

Рубидий и цезий используют при разработке магнитогидродинамических генераторов, термоэмиссионных преобразователей энергии, в качестве теплоносителей высокотемпературных турбоэнергетических установок. Цезий широко применяется в ионных двигателях для космических кораблей, в биотехнологии, в электронике, электротехнике, в детекторах ядерного излучения, волоконно-оптических системах связи, оптических кристаллах. По областям применения цезия 66% приходится на новые технологии, 23% - на электронную технику и 11% - на химическую промышленность.

Цезий и рубидий высокотоксичные элементы. Запасы рубидия в мире (без стран СНГ) составляют около 170 тыс. т Rb_2O_3 в лепидолитах из редкометалльных пегматитов. Наиболее крупные запасы сосредоточены в Зимбабве - 59% (Бикита), Намибии - 29% (Карибиб), США - 7% (Блэк Хиллс), Канаде - 3% (Берник-Лейк), Мозамбике – 0,3%.

В калийно-магниевых соляных отложениях Франции (Эльзас), Германии (Стасфурт, Роненберг) и США (Карлсбад) содержится около 27 тыс. т рубидия. Добыча рубидиевого сырья осуществляется в основном в Канаде. Россия по запасам рубидия и цезия занимает первое место как в мире, так и в странах СНГ (99% запасов): Вороньегундровское, Гольцовое, Вишняковское, Хибинское и Верхнекаменское месторождения. Из них эксплуатируется только Хибинское месторождение. На долю калийно-магниевых солей приходится 40% (Верхнекаменское месторождение).

Мировые запасы цезия (без стран СНГ) составляют более 300 тыс. т, из них с поллуцитом и лепидолитом связаны 200 тыс. т, т.е. 66,7%. Цезий и рубидий в основном проявляются совместно.

Ведущим производителем цезиевых и рубидиевых продуктов являются США с годовой производительностью порядка 3 т рубидия и 6,8 т цезия. Цезиевые продукты производят также Англия, Германия и Канада. В России производство цезия осуществляется из поллуцитового концентрата, импортируемого из Канады, а производство рубидия - из отходов цезиевого производства.

Промышленные типы рубидийсодержащих и цезийсодержащих месторождений представлены редкометалльно-пегматитовым и апатит-нефелиновым, а для рубидия также карналлитовым типами. Рубидий и цезий не образуют собственных месторождений.

Рубидий рассеян в кристаллических структурах преимущественно калиевых минералов. Благодаря близости ионных радиусов калия и рубидия между ними легко осуществляются изоморфные замещения. Выделяются четыре собственных минерала рубидия – рубидиевый микроклин, лепидолит, мусковит и фенгит. Промышленное значение имеют в основном лепидолит, реже – циннвальдит ($\text{KLiFeAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{F}_2$). Кроме того, рубидий замещает цезий (до 1,2% Rb_2O) в поллуците ($\text{CsAlSi}_2\text{O}_6 \cdot n \text{H}_2\text{O}$), а также в повышенных количествах в пегматитовых рудах встречается в берилле (до 4,2%), альбите (до 0,39%), турмалине (до 0,05-0,1%), а в апатит-нефелиновых рудах – в нефелине, а также в карналлите – $(\text{KRb})\text{Cl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Цезий склонен к образованию собственных минералов. Известны 15 минералов цезия, но промышленное значение имеют поллуцит (20-36,1% Cs_2O), сподумен (до 0,02%), циннвальдит (0,03-0,04%), мусковит (0,01-0,02%), лепидолит (0,1-0,5%), берилл (2,5-7,5%), микроклин (до 0,2%) и нефелин (0,0005-0,001% Cs_2O).

В настоящее время ни одно коренное месторождение не разрабатывается специально для добычи цезиевого или рубидиевого сырья. Рубидий и цезий извлекают попутно из поллуцитового, лепидолитового, сподуменового и бериллиевого концентратов.

К комплексному цезий-рубидийсодержащему типу сырья относятся слюдяные (лепидолитовые, биотитовые) концентраты, попутно получаемые при флотационном обогащении бериллиевых, танталовых и поллуцитовых руд редкометалльных пегматитов. Для них, при выходе слюдяного концентрата 5-10%, характерны низкие содержания цезия (Cs_2O до 1,5%) и лития (Li_2O до 3,5%), но для рубидия это наиболее ценное сырье (Rb_2O от 1,5-2 до 4-4,5%). Дальнейшую переработку концентратов осуществляют гидрометаллургическим методом, состоящим из двух крупных этапов: разложения сырья с переводом цезия и рубидия в водный раствор и получением чистых соединений.

Извлечение рубидия из руд различных типов составляет 6-20% при содержании его в концентрате до 6%, а извлечение цезия – 65-85% при содержании его в концентрате более 25%. Товарный гидрометаллургический концентрат содержит 91% рубидия и 99% цезия. Металлический Rb и Cs получают металлотермией.

Калийно-магниево-солевые отложения (карналлиты) сложены на 40-85% карналлитом, 10-55% галитом, сильвином, ангидритом, сульфатами магния и содержат примесь карбонатов, глинистых материалов, обломочного кварца и полевых шпатов. В первично-осадочных карналлитах обычно содержится от 20 до 250 г/т Rb, а в переотложенных – от 30 до 1800 г/т, причем концентрации Rb возрастают от кровли к подошве

пласта (Стасфурт, от 60 до 170 г/т; Роненберг, от 90 до 250 г/т). При переработке карналлитовых руд рубидий накапливается на магний в отработанном электролите магниевых электролизеров, откуда может быть извлечен по технологии, включающей стадии растворения электролита, фракционного осаждения (и переосаждения) обогащенного карналлита, повторного растворения с последующим выделением рубидия экстракцией, ионным обменом или осаждением нерастворимых соединений.

Минеральные воды Армении характеризуются разнообразием химического состава, обусловленным литолого-структурными условиями образования. Классифицируются они по 9-и типам и представлены в основном хлоридными, гидрокарбонатными и сульфатными разновидностями (Долуханова и др., 1969). По условиям образования минеральные воды РА подразделяются на 4 группы (Халатян, 2005):

1. Холодные минеральные воды с температурой от 4 до 20°C (Гридзор, источники Мегринского плутона, высокобороносные источники Двина, Горбатеха, Ехегиса и др.).

2. Слабоминеральные воды с температурой от 20 до 37°C (Арарат, Саят-Нова, Воротанская впадина).

3. Термальные воды с температурой от 37 до 50°C (Анкаван, Арзакан, Азатаван, Бжни, Ереванская впадина). Наиболее бороносны воды Азатавана (42°C).

4. Гидротермальные воды с температурой от 64 (Джермук) до 83°C (Севаберд, Армавирский прогиб). Джермукские источники, в отличие от высокобороносных вод Севаберда, малобороносны.

По газовому составу Э.С. Халатян выделяет 3 группы минеральных вод Армении: 1 – углекислые – основная масса источников; 2 – азотно-углекислые, расположенные в краевых частях прогибов; 3 – смешанная группа, не образующая отдельных зон. В пределах зон гипсоносных отложений и сульфидного оруденения распространены сероводородные воды (Халатян, 2005).

Авторские подсчеты показывают, что ежегодно с минеральными и термальными водами выносятся и бесцельно пропадают десятки и сотни тонн цветных и пользующихся высоким спросом редких металлов.

В Армении большой интерес представляет ряд месторождений термальных вод в районах Раздана, Иджевана, Сисиана, Дви-

на, из которых относительно хорошо изучены углекислые минеральные воды Анкавана (Разданский район, Котайкская область), Азатаван (Мхчян, Араратская область). В минеральных водах Анкавана содержатся: цезий – 0,68, рубидий – 0,94, литий – 10, бор – 40, германий – 0,035 мг/л. С учетом дебита 45 л/с ежегодно с минеральными водами Анкавана выносятся на поверхность и теряются 42,6 т бора, 10,8 т лития, почти по одной тонне рубидия и цезия, а также значительное количество германия (около 20 кг). В минеральных водах Азатавана содержание цезия составляет 3,52, рубидия – 0,89, бора – 600 и лития – 20 мг/л.

Технико-экономические расчеты этих исследований показывают, что при применении местных природных цеолитов в качестве сорбентов, обеспечиваются высокие показатели извлечения из гидроминерального углекислого сырья Армении редких металлов (В, Li, Rb, Cs) при их низкой себестоимости.

К сожалению, это обстоятельство не удостоивалось серьезного внимания, и во многих случаях в процессе поисково-разведочных работ не проводились исследования различных термальных вод с высокой минерализацией на металлоносность по глубине и колебаниям температуры, а зоны их распространения не оконтуривались, ограничиваясь лишь изучением свойств лечебных гидротермальных и вод, имеющих поверхностный сток.

В настоящее время металлоносность гидроминерального сырья РА изучена крайне слабо и носит спонтанный характер, связанный с одним-двумя месторождениями, на которых выявлены значительные содержания редких металлов. Вне рамок исследований остались месторождения с мощными запасами минеральных вод, каковы Джермук, Арзни, Бжни, Дилижан и другие группы. Их химический состав и лечебные свойства широко известны и на их основе налажен промышленный выпуск столовых минеральных вод. Систематические же, детальные исследования в связи с металлоносностью минеральных и термальных вод Армении не проводились, к тому же отсутствуют научно-производственная и тонкая аналитическая база. Необходимо отметить, что в НАН РА, ЕрГУ и Горно-металлургическом институте проводятся ограниченного объема научные исследования, которые, к сожалению, носят лишь

экологическую направленность и сводятся в основном к определению тяжелых металлов.

К гидроминеральным ресурсам следует отнести также рудничные воды, особенно широко распространенные в пределах крупнейших горнорудных центров Армении. Выполненные исследования дали возможность подсчитать количество металлов, выносимых рудничными водами. Согласно данным Горно-металлургического института, из Каджаранского медно-молибденового месторождения минеральными водами ежегодно выносятся до 12т меди, 60т молибдена, до 30кг золота, 120кг серебра. На Агаракском месторождении эти показатели ниже: ежегодно около 3,5т молибдена, который в основном осаждается в почвенных пластах орошаемых этими водами садов. В Дастакертском рудном поле, где прекращены эксплуатационные работы, ежегодно выносятся примерно тонна молибдена, меди, цинка и мышьяка, что таит в себе опасность для зоны (почвенного пласта) гипергенеза. В значительном количестве выносятся металлы из медно-серноколчеданных месторождений. Достаточно вспомнить, что из Алавердского месторождения ежегодно вымывается 36т меди, из Шамлугского – 8-10т меди, из Тандзутского – 700т железа, 300-400т алюминия, 6т меди, а также цинк и другие элементы; Из Ахтальского месторождения – 4т меди, 8т цинка (Карапетян и др.; 1985; Никогосян, 2003). Из этих рудных районов, кроме тяжелых металлов, выносятся опасные для жизни человека и животных элементы (мышьяк, ртуть), утилизация которых является первостепенной задачей, поскольку загрязняется почвенный слой и атмосфера в густонаселенных рудных районах. Такой опасной зоной является Кафанское рудное поле, откуда (из Кафанского и Шаумянского месторождений) к бассейну реки Вохчи текут сотни тонн меди, цинка, железа, магния, мышьяка, золота, серебра, теллура, селена и т.д., вредное воздействие которых на окружающую среду общеизвестно. В настоящее время, к сожалению, ввиду отсутствия аналитической базы, нет полных данных относительно выносимых рудничными водами редких элементов.

Принципиальное значение имеет установление состава рудничных вод бассейна озера Севан и предотвращение выноса из со-

предельных оруденелых зон ядовитых элементов, во избежание загрязнения пресной озерной воды. Согласно данным Института геологических наук НАН РА, рудничные воды бассейна Севана содержат самородную медь, молибден, цинк, мышьяк, ртуть, хром, марганец и теллуриды золота; из петрогенных элементов – никель, кобальт, магний; техногенных – фосфор, нитраты, фтор, которые, по всей видимости, связаны с удобрениями фтор-апатитового состава (Карапетян и др., 1985).

Таким образом, актуальной задачей является оценка содержания редких металлов в гидроминеральных ресурсах (термальных, минеральных, рудничных водах и стоках), возможности их извлечения в качестве дополнительного рудного сырья для редкометалльной промышленности. Отметим, что этому вопросу посвящены исследования Э.С. Халатяна, М.Н. Арутюновой, П.М. Капланяна, А.И. Карапетяна, Г.В. Шагиняна. Рамки этого вопроса шире охватываются и существенно дополняются исследованиями с экологической направленностью, которые имеют реальные перспективы, поскольку обеспечиваются высокими экологически чистыми технологиями непосредственного извлечения редких элементов, в том числе и методом микробиологического выщелачивания. С целью решения этих задач, необходимо реализовать долгосрочный мониторинг элементарного и химического состава термальных, минеральных и рудничных вод (а также стоков), который позволит на основе высококачественных аналитических исследований выделить первоочередные месторождения и рудные поля – потенциальные базы гидроминерального редкометалльного сырья.

В настоящее время, как во всем мире, так и в Армении, для извлечения металлов из рудных формаций требуются крупные капитальные вложения, строительство обогатительных фабрик, хвостохранилищ и металлургических заводов, энергоемких и требующих огромных затрат на экологию. Такова ситуация сегодня в Армении и в ряде развитых передовых стран.

В отличие от рудных формаций для извлечения редких металлов из гидроминерального сырья не требуется столь крупных капитальных вложений, к тому же стимулируется создание чистой экосистемы. Тем более, что себестоимость металлов, извлекаемых

из гидроминерального сырья, значительно ниже себестоимости металлов, извлекаемых из коренных месторождений.

Технологические исследования показывают, что извлечение металлов из гидроминерального сырья составляет более 99 %, что значительно выше показателей коренных месторождений. Следует учесть то обстоятельство, что извлечение металлов из гидроминерального сырья осуществляется посредством мобильных станций, не требующих фундаментальных и гидротехнических сооружений, применяются доступные высокие технологии, при которых эффективность извлечения металлов из минеральных вод значительно превышает эффективность извлечения из коренных пород.

По существу, речь идет о создании нового типа рудно-гидроминерального сырья, который посредством емких мобильных установок позволит получить редкие, а также цветные и черные металлы с несравнимо высокой рентабельностью, способствуя тем самым улучшению экологической обстановки окружающей среды.

С целью извлечения редких элементов из гидроминеральных ресурсов РА необходимо разработать целевую концептуальную программу, включающую следующие этапы:

1. Провести на современном аналитическом уровне мониторинг минеральных вод массового производства (Джермук, Арзни, Анкаван и т.д.), а также мониторинг состава рудничных вод месторождений и сточных вод крупных рудных районов (Капана, Алаверди, Каджарана), особенно на редкие металлы.

2. Разработать новейшие технологии с целью извлечения редких металлов из минеральных и рудничных вод, которые обеспечат защиту окружающей среды от загрязнения вредными элементами и дадут возможность посредством автономного производства развить новую отрасль редкометалльной промышленности.

3. Создать базовый аналитико-технологический центр для изучения и промышленной типизации гидроминерального сырья с информационной базой для автоматического управления технологическими процессами.

Глава 5. О ВОЗМОЖНЫХ ПЕРСПЕКТИВАХ НА РЕДКИЕ ЩЕЛОЧНЫЕ МЕТАЛЛЫ СОЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АРМЕНИИ

Поверхностная и межкристалльная (межзерновая) рапа соленосных отложений является одним из основных источников легких (литий) и тяжелых (рубидий и цезий) щелочных металлов. Месторождения этого типа минерализированных вод известны в США (Калифорния, Юта, Техас), КНР (Цайдамская впадина), Турции, Иране, Афганистане, Индии, Мексике, Чили и в других странах.

Выделяются рапы четырех составов, имеющие промышленное значение^{*)}:

1. Карбонатно-хлоридная натриевая рапа (оз.Серлз, Калифорния, США).
2. Хлоридная натриевая рапа (Силвер-Пик, Невада, США).
3. Хлоридно-натриево-магниевая рапа (Мертвое море).
4. Сульфатно-хлоридная магниевое-натриевая рапа (Большое оз., Юта, США).
5. Калий-натриево-магниевые салары (Центральные Анды, Чили, Боливия).

1. Литиеносная карбонатно-хлоридная натриевая рапа в соленосных отложениях. Наиболее крупным, хорошо изученным геотипом является сухое соленое озеро Серлз в штате Калифорния (США). Это месторождение разрабатывалось более пятидесяти лет. На базе месторождения действовал химический завод в г.Трона. Номенклатура товарной продукции завода на общую сумму 0,5 млрд. долларов в год обширная: сода, сульфаты натрия и калия, хлорид кальция, бром, бромиды щелочных металлов, бура, борная кислота, пироборат натрия, фосфорная кислота, карбонат и **сульфат лития**. Следует отметить, что рапа содержит повышенные содержания К, Li, В, W, Mo, Sb, As и характеризуется расслоенностью по содержанию лития. В верхнем пласте рапы содержание лития составляет 96-115 мг/л, а в нижнем – 40 мг/л. Соляная толща

^{*)} Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Солодов Н.А. Месторождения благородных, радиоактивных и редких металлов. М., НИИ Природа, 1999, 220 с.

оз. Серлз обладает высокой пористостью (25-50%), заполненную рапой с общей минерализацией 450 мг/л при плотности 1,3 г/см³ и рН = 9,4.

2. Неглубоко погребенная межзерновая хлоридная натриевая рапа с литием в терригенных отложениях. Геотипом является крупнейшее в мире месторождение лития – Сильвер-Пик (шт.Невада, США). Месторождение расположено в бессточной долине Клайтон, в 200км севернее оз.Серлз, в районе молодой вулканической активности. Долина выполнена рыхлыми терригенными отложениями (галечники, пески, суглинки) мощностью 100-200м, перекрытыми на поверхности тонким плотным слоем водонепроницаемых глин. Это фактически дно послеледникового озера. Рыхлые отложения являются коллектором рапы хлоридного натриевого состава. Это уникальное химическое сырье: общая минерализация рапы более 450г/л. Рапа содержит (г/кг): Na - 62, Ca – 0,5, K – 8, Mg – 0,4, Li – 0,4, Cl – 100, сульфат-ион – 7,1. По данным Горного бюро США, общие запасы солей составляют несколько млрд. т, запасы лития оцениваются в 7,4 млн. т при среднем содержании > 0,08%. Годовая добыча с применением технологии солнечного упаривания составляет около 10 тыс. т карбоната лития. В настоящее время налаживается добыча сильвинита и производство соды и окиси магния.

3. Хлоридная натриево-магниевая рапа соляных озер с литием и рубидием. Самым крупным поверхностным месторождением этого типа природных минерализированных вод является Мертвое море. Грабенообразное Мертвое море с Красным морем образуют современную рифтовую зону в области проявления молодого вулканизма. Общие запасы солей оцениваются в 50 млрд. т, из них: MgCl₂ – 44%, NaCl – 24%, CaCl₂ – 24%, KCl – 4%, MgBr₂ – 2%, а также 17,5 млн. т хлорида лития или в пересчете на окись лития 6 млн. т и 10 млн. т рубидия. Запасы солей являются восполняемыми за счет р.Иордан и приближенных источников.

4. Сульфатно-хлоридная магниевая-натриевая рапа соляных озер с литием. Самым крупным и богатым по содержанию лития геотипом является Большое соленое озеро в штате Юта (США), глубиной 8-15 м. За 140 лет оно сократилось по площади почти в 3 раза. Рапа озера ранее (в течение 100 лет) использовалась как источник поваренной соли, а в последние годы ведутся работы по налаживанию организации производства хлорида и металлического магния, гипса, солей калия и лития. Запасы солей в поверхностной рапе составляют (в млрд.т): NaCl – 3,2, MgCl_2 – 0,63, солей калия – 0,1-0,18. По данным Горного бюро США запасы LiCl составляют 4 млн. т, или в пересчете на окись лития – 1,3 млн. т.

5. Литиеносные салары. Салары – это закрытые депрессионные структуры с крайне аридным климатом и интенсивным испарением, создающим условия для обогащения рапы литием, рубидием, цезием и другими компонентами. Известные салары (южноамериканские), как правило, состоят из отложений солей (преимущественно галита), переслаивающихся с песками и глинами. Соляные слои высокопористые, особенно у поверхности; поры заполнены концентрированной рапой.

Месторождения литиеносных саларов в Центральных Андах связаны с галогенными отложениями солеродных бассейнов молодого возраста. Они расположены в высокогорных бассейнах типа грабенов или наложенных впадин в третичных и молодых вулканических поясах .

Крупнейшее месторождение литиеносных саларов находится в 800км севернее Сантьяго (Чили). Соляное ядро состоит из галитовой фации сульфатов и карбонатов, при мощности около 350м в ядре и 50м – по краям бассейна. По имеющимся данным, запасы лития оцениваются в 4,5 млн. т, а подтвержденные – 1,7 млн. т, при среднем содержании лития 0,14%. Это исключительно высокая концентрация. В рапе определены содержания (%): К – 1,87, Na – 6,92, Mg – 0,91, В – 0,04. Установлены также промышленно извлекаемые содержания Rb и Cs. Производство карбоната лития из саларов составляет около 1000т. Попутно получают сотни тыс. т в год калиевых солей для производства удобрений. Литий из

рассолов извлекают традиционной технологией постадийного солнечного упаривания.

Самым крупным в мире месторождением литиевой рапы является Салар-де-Уюни (Боливия), расположенное в Андах на высоте 3653 м в 150 км севернее чилийской границы, протяженностью 100-120 км. Запасы лития оцениваются в 5,5 млн. т, при среднем содержании лития – 0,025%. На отдельных участках содержание лития достигает 0,09-0,4%. Среднее содержание в рапе К – 0,62% (в приповерхностной части – 3%), Na – 9,1% и Mg – 0,54% (в приповерхностной части – 6%). Содержание бора в верхних слоях – 0,4%.

Вышеизложенный материал свидетельствует о том, что крупнейшие соленосные бассейны мира расположены в высокогорных районах с характерной молодой вулканической активностью и наложенной структурой. Они сложены преимущественно галитом и являются химическим и пищевым сырьем многоцелевого назначения. Кроме того, они являются носителями редких щелочных металлов, в особенности Li, Rb и Cs, на базе которых в мире созданы крупнейшие производства. В настоящее время на мировом рынке редкие щелочные металлы являются остро востребованными и имеют постоянно высокую оптовую цену (Rb – 1400-1500 долл/кг, Cs – 250-500 долл/кг, Li – 600-800 долл/кг).

В этом плане соленосные бассейны Армении по своему вещественному составу могут представлять большой интерес с точки зрения металлоносности отложений и возможного попутного извлечения редких щелочных металлов. Это уникальное гидроминеральное сырье с большими потенциальными ресурсами. Основные ресурсы калийной соли на территории республики сосредоточены в неогеновых отложениях Приереванского и Армавирского соленосных бассейнов. Наибольший интерес представляет Приереванский бассейн. Прогнозные ресурсы бассейна составляют свыше 220 млрд. т, при среднем содержании NaCl более 95%. На Аванском солеруднике содержание NaCl составляет 96,8%; CaCl₂ – 0,14%; MgCl₂ – 0,08%; CaSO₄ – 1,48% и нерастворимых осадков – 1,5%. Это фактически высококачественное мономинеральное сырье. К сожалению, особенности вещественного состава и петрофизические параметры соли на предмет металлоносности не изучены, а

имеющийся материал неполноценный, хотя и проведены единичные спектральные анализы на содержание Sr и Ba. Считаю целесообразным в пределах Аванского солерудника организовать специальные минералого-геохимические и петрофизические исследования по разработанной комплексной программе для установления перспективности добываемых блоков калийной соли на содержание редких щелочных металлов, в первую очередь на литий.

Глава 6. РЕДКИЕ ЗЕМЛИ И СКАНДИЙ В РУДАХ АРМЕНИИ

6.1. Редкие земли.

Уран-торий-редкоземельная формация

Редкие земли объединяют лантаноиды в количестве 15 элементов от лантана до лютеция, имеющие порядковые номера в Периодической системе Менделеева с 57 до 71, а также иттрий с порядковым номером 39. В составе редких земель выделяют две подгруппы: 1 – подгруппа тяжелых лантаноидов и иттрия – иттриевоземельная; 2 – подгруппа легких лантаноидов – цериевоземельная. Граница между ними проводится по границе неодим – самарий (табл. II.46).

Авторами систематики редкоземельных элементов не указывается в таблице элемент прометий (Pm) с порядковым номером 61 (между неодимом и самарием). По-видимому, это обусловлено тем, что прометий имеет только неустойчивые изотопы и в земной коре в ощутимых количествах не обнаружен; к тому же он является лишь продуктом спонтанного деления урана (Семенов, 1964).

Приведенная систематика редкоземельных элементов учитывает как минералогические особенности, так и экономические соображения. Отметим, что, во-первых, кларки цериевых земель в земной коре многократно превышают кларки иттриевых; во-вторых, в качественном и количественном отношении запасы цериевых земель на порядок выше запасов иттриевых земель, и, в-третьих, цены на иттриевые земли в десятки раз выше, чем цериевых.

**Систематика редкоземельных металлов
(Минеральное сырье. Иттрий и лантаноиды, 1998)**

Редкоземельные металлы и элементы (РЗМ, РЗЭ) TR=Ln+Y														
Цериевоземельные TR _{Ce}				Иттриевоземельные TR _Y										
Лантаноиды – Ln														Иттрий
Цериевые – Ln _{Ce}				Иттриевые – Ln _Y										
Цериевые (легкие)				Самариевые (средние) Ln _{Sm}						Эрбиевые (тяжелые) Ln _{Er}				
La	Ce	Pr	Nd ^{*)}	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
57 ^{**)}	58	59	60	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	39
Лантан	Церий	Прозеодим	Неодим	Самарий	Европий	Гадолиний	Тербий	Диспрозий	Гольмий	Эрбий	Тулий	Иттербий	Лютеций	Иттрий

^{*)} в природе пока не встречался

^{**)} порядковый номер в Периодической системе Менделеева

Металлические лантаноиды имеют белый цвет, а в виде порошка – от серого до черного. Неодим и празеодим имеют желтоватый оттенок.

Редкоземельные металлы имеют достаточно высокую электропроводность, пластичность и твердость, а также высокую химическую активность даже при сравнительно низких температурах. Элементы La, Lu, Y – диамагнитны, а остальные редкие земли парамагнитны; гадолиний проявляет ферромагнитные свойства. Цериевоземельные лантаноиды легко окисляются на воздухе, с возрастанием порядкового номера степень окисляемости редких земель снижается. Редкие земли растворяются в серной, соляной и азотной (концентрированной) кислотах, а щелочи на них не действуют. Сульфиды редких земель, как и карбиды и нитриды, тугоплавки и устойчивы на влажном воздухе, например, сульфиды Nd_2S_3 и Ce_3S_4 , карбид CeC_2 , нитрид LaN и др. С увеличением порядкового номера редких земель происходит уменьшение ионного радиуса, повышение ионного потенциала и устойчивости комплексных соединений и понижение основности. Со многими металлами лантаноиды образуют сплавы и интерметаллические соединения (Солодов, Семенов, Усова, 1998).

Суммарный кларк лантаноидов и иттрия в земной коре составляет 168г/т, а кларк индивидуальных редкоземельных элементов варьирует от 0,32 до 64г/т, причем высокие кларки присущи легким лантаноидам. Здесь уместно отметить, что по данным Н.А. Солодова и др. (1998), “редкие земли по абсолютному содержанию в земной коре стоят на одном из первых мест среди редких элементов, уступая лишь цирконию и стронцию”. Лютеций распространен в земной коре больше, чем Hg, Ag и Au, но по цене сопоставим с золотом и серебром. Известно около 120 собственных редкоземельных минералов, из них промышленное значение имеют всего 6 минералов: лопарит – $NaCeTi_2O_6$, монацит – $CePO_4$, ксенотим – YPO_4 , бастензит – $CeCO_3F$, иттротрихизит – $CaY(CO_3)_2F$, каолинит – $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (табл. II.47). Собственных редкоземельных месторождений очень мало. Это мелкие, разрабатываемые в КНР месторождения и три крупных разрабатываемых месторождений мира – Баюнь-Обо (Китай), Маунтин-Пасс (США) и Кутес-Сай (Киргизия).

**Содержание промышленных минералов редких земель в
рудах разрабатываемых месторождений мира
(Солодов, Семенов, Усова, 1998)**

N/N п/п	Минерал, месторож- дение	Содержание TR ₂ O ₃ в минерале, %	Оксиды, % от TR ₂ O ₃														TR _{Ce}	
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	TR _Y
1.	Лопарит (Ловозеро, Кола, РФ)	29,9	28,4	49,6	3,4	15,5	2,4	0,1	0,4	0,05	0,03	0,05	0,01	-	0,01	-	0,19	29,9
2.	Бастензит (Баюнь- Обо, КНР)	70	27	50	5,0	15,0	1,1	0,2	0,4	1,0	-	-	-	-	-	-	0,3	32,3
3.	Иттросин- хизит (Актюз, Киргизия)	40	14	25	3,3	9,7	3,2	0,1	3,4	0,7	4,4	0,8	3,7	0,2	1,2	0,2	30	1,1
4.	Монацит (Австралия, Томтор, Анабар, Якутия, Кулар)	55 60 60	24 26 21	46 47 46	5,0 4,1 5,2	17,4 14,7 22	2,5 1,5 3,0	0,05 0,36 0,50	1,5 1,0 1,6	0,04 - -	0,7 0,5 -	0,05 - -	0,21 0,26 -	0,01 - -	0,12 0,18 -	0,04 0,03 -	2,41 3,5 0,7	12,1 12,5 16,2
5.	Ксенотим (Малайзия)	55	0,5	5,0	0,7	2,2	1,9	0,2	4,0	1,0	8,7	2,1	5,4	0,9	6,2	0,4	60,8	0,09
6.	Каолинит (Ксин Ву, КНР)	0,1	29,7	7,1	7,1	30,1	6,3	0,5	4,2	0,5	1,8	0,3	0,9	0,1	0,6	0,1	10,1	2,9

**Промышленные типы редкоземельных месторождений
(Минеральное сырье. Иттрий и лантаноиды, 1998)**

№/№ п/п	Генетическая формация месторождения	Промышленный тип месторождения, главные редкометалльные минералы	Содержание TR, %. Попутные, %	Масштаб или практическое значение месторождения	Примеры месторождений (выделены эксплуатируемые с получением РЗМ)
1	2	3	4	5	6
1.	Магматогенные <i>1.1. Редкометалльные щелочные граниты (квальмиты)</i>	арфведсонит-эгириновые, квальмиты с гагаринитом, иттрофлюоритом, тантал- пирохлором, цирконом	0.2-0.3; Nb ₂ O ₅ – 0.3-0.4, Ta ₂ O ₅ – 0.02-0.03, ZrO ₂ – 1.5-2	Крупный; тантал, ниобий, иттриевые земли, цирконий	Катугин (РФ)
		<i>рибекит-подлитнионито- вые квальмиты с малако- ном, колумбитом, ксено- титом</i>	0.0п; Nb ₂ O ₅ – 0.2-0.3, Ta ₂ O ₅ – 0.015-0.025, ZrO ₂ – 0.4	Крупный; тантал и ниобий с попутными цирконием и иттриевыми землями	Улуг-Танзек (РФ)
		<i>рибекит-арфведсонито- вые квальмиты с гадоли- нитом, гагаринитом, гиттинситом, пирохлором</i>	до 2-3; Nb ₂ O ₅ – 1, ZrO ₂ – 3.8	Крупный; иттрий, иттриевые лантаноиды, ниобий, цирконий, бериллий	Стрейндж-Лейк (Канада)

1	2	3	4	5	6
		кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты с итросинхизитом, монацитом, ксенотимом	0.3-0.5; $ZrO_2 - 0.3$	Небольшой; иттриевые земли	Кутес-Сай (Киргизия)
		эгирин-фенгитовые метасоматиты с фергусонитом, плюмбопирохлором, цирконом, колумбитом	0.05-0.1; $Nb_2O_5 - 0.1-0.2$, $Ta_2O_5 - 0.01-0.02$, $ZrO_2 - 0, п$	Средний; тантал, ниобий, иттриевые земли	Лонгот-Юган (РФ)
		эгириновые метасоматиты с уранпирохлором и цирконом	до 0.2; $Ta_2O_5 - 0.01-0.02$, $Nb_2O_5 - 0.15-0.3$, $ZrO_2 - 0.3$, $HfO_2 - 0.005$	Комплексные редкометалльные месторождения	Сибирка (РФ)
	1.2. Щелочные сиениты	гематит-флюорит-барит-кальцит-сидеритовые карбонатиты с бастензитом и баритоцелестином	1-1.5; $ZrO_2 - 2-3$	Месторождения редких земель, стронция, попутные – Fe, Ba, CaF ₂	Карасуг (РФ)
		эгирин-гематит-магнетит-доломитовые карбонатиты с бастензитом, монацитом, TR-апатитом, эшинитом	3-5; $Fe_2O_3 - 45$, $Nb_2O_5 - 1$	Месторождения редких земель, железа, флюорита и ниобия	Баюнь-Обо (Китай)
		барит-кальцитовые карбонатиты с бастензитом	5; -	Крупный; цериевые земли	Маунтин-Пасс (США)
		гематит-апатит-полевошпатовые жилы с монацитом	15; Th – 4.4, Cu – 5	Месторождения цериевых земель, тория, меди	Стинкемискраль (ЮАР)

1	2	3	4	5	6
	1.3. Нефелин-калишипа- товые сиениты	апатит-нефелиновые руды	0.2-0.4; SrO ₂ – 1.0, Rb ₂ O – 0.00п	Крупный; апатит	Хибины (РФ)
		малиниты и уртиты с лопаритом	0.5-0.7; Ta ₂ O ₅ – 0.25, Nb ₂ O ₅ – 0.4	Крупный; тантал, ниобий, цериевые земли	Ловозеро (РФ)
		эвдиалитовые луавриты и эвдиалититы	0,п; Ta ₂ O ₅ – 0.015, Nb ₂ O ₅ – 0.18, ZrO ₂ – 3-5, HfO ₂ – 0.1	Перспективные комплексные месторождения редких элементов	Ловозеро (РФ)
		стенструпиновые и ловозеритовые луавриты	0.7; Ta ₂ O ₅ – 0.025, Nb ₂ O ₅ – 0.3, ZrO ₂ – 0.5, HfO ₂ – 0.00п	Те же, но слабо изученные	Ловозеро (РФ)
	1.4. Карбонаты		не изучено	Возможно выявле- ние промышленных скоплений минера- лов Nb, TR, Sc	Хибины, Томтор, Ловозеро (РФ)

1	2	3	4	5	6
2.	Щелочно-ультраосновные массивы	камафориты с гатчеттолитом и бадделеитом	0.3-0.5; Ta ₂ O ₅ – 0.01-0.015, Nb ₂ O ₅ – 0.1-0.3, ZrO ₂ – 0.1-0.5	Разрабатываемые месторождения железа с попутным получением гатчеттолита и бадделеита	Ковдор (РФ)
		апатит-кальцитовые карбонатиты с пирохлором и гатчеттолитом	1; Nb ₂ O ₅ – 0.2-0.8, Ta ₂ O ₅ – 0.015-0.025	Разрабатываемые месторождения ниобия и фосфора, возможно извлечение TR и стронция из апатита	(Канада)
3.	Метаморфогенные	ураноносные конгломераты с браннеритом, уранинитом, монацитом, рабдофанитом	0.06; U – 0.09	Источник попутной добычи редких земель	Эллиот-Лейк (Канада)
4.	Экзогенные 4.1. Органогенно-осадочные месторождения	апатитизированный костный детрит с редкими землями, скандием, ураном	0.п; Sr – 0.п Sc – 0.0п	Уран, редкие земли, скандий	Меловое (Казахстан)
		бурый уголь с иттрием и лантаноидами	до 0.2; Ge – 0.0п, Sc – 0.0п	Источник попутного получения иттрия и лантаноидов	Павловское (РФ)
		нефелиновые песчаники с лейкоксоном	0.4; титан	Возможный источник попутного получения иттрия и лантаноидов	Ярегское (РФ)

1	2	3	4	5	6
	4.2. Коры выветривания	на редкометалльных гранитах с сорбированными редкими землями	до 0.1	Крупный; иттриевые земли	Раян (Китай)
		на щелочных гранитах с касситеритом, колумбитом, монацитом, ксенотимом	0.00п; $Nb_2O_5 - 0.3,$ $Ta_2O_5 - 0.005;$ $Sn - 0.5$	Небольшие разрабатываемые месторождения; тантал, ниобий, редкие земли, олово	Нигерия
		на щелочных сиенитах с бастензитом и рабдофанитом	1.6	Средний; иттрий, лантаноиды	Кийское (РФ)
		на карбонатитах щелочных сиенитов		Крупный; богатый цериевыми землями	Нам-Се (Вьетнам)
	4.3. Гидротермально-перемытые	на карбонатитах нефелин-калишпатовых массивов с пироксеном и монацитом	7-15; $Nb_2O_5 - 5-10,$ $Sc_2O_3 - 0.015$	Крупный; богатый ниобием, лантаноидами и иттрием	Томтор, Чуктукон (РФ)
		на карбонатитах щелочно-ультраосновных массивов с монацитом, апатитом, пироксеном	до 3; $Nb_2O_5 - 2.5,$ $TiO_2 - 10п$	Крупный; разрабатываемые месторождения ниобия с попутной добычей редких земель	Араша (Бразилия)
		на осадочно-метаморфических породах с черчитом, рабдофанитом	0.01-0.1	Перспективные источники иттриевых земель	Кундыбай (Казахстан)

1	2	3	4	5	6
	4.4. Прибрежно-морские россыпи	ильменит-цирконовые с монацитом, иногда ксенотимом	0.03-0.05; TiO_2 – 1-10, ZrO_2 – 0.п-п	Важный источник попутной добычи цериевых и иттриевых земель	месторождения Австралии, Индии, Бразилии
	4.5. Аллювиальные россыпи	оловоносные с ксенотимом, монацитом	0.02-0.01; Sn – 0.02, Nb_2O_5 – 0.0п, Ta_2O_5 – 0.00п	Важный источник иттриевых земель	месторождения Таиланда, Малайзии
		золотоносные с куларитом	до 0.05; Au	Разрабатываемые месторождения золота с возможным попутным получением европиевого монацита	месторождения Саха-Якутии
		редкометаллные с эвксенитом, фергусонитом, монацитом, колумбитом	0.01-0.02; Nb_2O_5 – 0.01, Ta_2O_5 – 0.001	Мелкие; в прошлом важные источники иттриевых земель и ниобия	Бэр-Вэлли (США)

зия). Все остальные разрабатываемые месторождения являются комплексными, в которых редкие земли представлены в качестве попутных компонентов (табл. П.48).

Учитывая то обстоятельство, что иттриевые земли почти на порядок дороже цериевых, группировка месторождений по запасам и содержанию редкоземельных металлов для этих групп различна (табл. П.49).

Таблица П.49

Группировка редкоземельных месторождений по запасам и содержанию РЗМ (Минеральное сырье. Иттрий и лантаноиды, 1998)

N/N п/п	Категория месторождения	Цериево-земельные	Иттриево-земельные
1.	По масштабам запасов РЗО, тыс.т:		
	очень крупные	>10000	>500
	крупные	1000-10000	100-500
	средние	100-1000	10-100
	мелкие	<100	<10
2.	По содержанию РЗО, %:		
	очень богатые	>10	>1
	богатые	5-10	0,5-1
	рядовые	3-5	0,1-0,5
	бедные	<3	<0,1

Разработка крупнейших **зарубежных** месторождений редкоземельных руд в США (Маунтин-Пасс) и Китае (Баюнь-Обо) производится открытым способом, а в России – как подземным (Карнасуртский рудник), так и открытым (Умбозерский рудник). Кутессайское месторождение в Киргизии разрабатывается также открытым способом. Требования промышленности к рудам открытой добычи в основном сводятся к следующему (по примеру Кутессайска):

- минимальное промышленное содержание РЗЭ в руде – 0,3%, в т.ч. Y_2O_3 – 0,085%

- бортовое содержание РЗЭ – 0,1%
- минимальная мощность рудных тел и максимальная мощность пустых пород, включаемых в подсчет – 3м.

Технология переработки редкоземельных руд сложная и многостадийная. В качестве комплексного сырья рассматриваются лопаритовые руды (Россия), а собственно редкоземельного сырья – иттротросинхизитовые (в странах СНГ) и бастензитовые (Китай) руды. В странах СНГ используются две технологические схемы: лопаритовая на Карнасуртской и Умбозерской фабриках АО "Севредмет" (Россия) и иттротросинхизитовая на Актюзинской фабрике Киргизского ГМК, при соотношении 90 : 10. Основные показатели этих технологических схем сводятся к следующему (табл. П.50).

Таблица П.50

Основные показатели по переработке редкоземельного сырья

N/N п/п	Показатели	Лопаритовое сырье	Иттротросинхизитовое сырье
1.	Содержание РЗЭ, %: в руде концентрате хвостах	0,96-1,92 30-35 0,21-0,25	0,2-0,5 6,0-8,0 0,11-0,12
2.	Содержание редкоземельных минералов в концентрате, %	93-96	10-13
3.	Извлечение редкоземельных окислов в концентрат, %	75-80	60-70
4.	Товарный продукт	плав хлоридов РЗМ, конденсат хлоридов ниобия и тантала, технический четыреххлористый титан	редкоземельные к-ты, свинцовый к-т, молибденовый к-т

Конечным продуктом селекции редкоземельных концентратов являются оксиды индивидуальных элементов, которые широко используются в промышленности.

Для разделения РЗМ широко применяются в основном методы жидкостной экстракции и ионообменной хроматографии. Последний, наиболее прогрессивный метод, разработанный в Японии в 1983г., обеспечивает выделение отдельных металлов за одну операцию, вместо многочисленных ступеней в процессе жидкой экстракции.

Мировые запасы редких земель оцениваются порядка 100 млн.т TR_2O_3 (без СНГ). Наиболее крупные запасы сосредоточены в Китае (48%), США (14%), Австралии (7%), а также в Индии, Канаде, Бразилии. Значительная часть запасов сосредоточена в России: в Мурманской области (68%), Саха-Якутии (15%), Читинской области (7%), а также в Иркутской области, Коми и Туве. В России разрабатывается Ловозерское месторождение в Мурманской области одноименным ГОК-ом. Годовая добыча редкоземельного сырья (без СНГ) составляет около 60-80 тыс.т TR_2O_3 . Основные производители Китай (40%, комбинат в г.Баотоу) и США (20%). Годовое потребление РЗМ составляет порядка 25-30 тыс.т. Основным потребителем является Китай (около 5 тыс.т TR_2O_3 в год).

Самым крупным объектом мира является Баюнь-Обо в Китае (район Внутренняя Монголия, провинция Цзянси, префектура Ганьчжоу). Его запасы составляют 35 млн.т при содержании TR_2O_3 – 6,19% в Главном рудном теле и 5,17% – в Восточном. Ресурсы месторождения – свыше 80 млн.т. Редкоземельные минералы представлены бастензитом и монацитом. Генезис месторождения спорный, но наиболее распространенной точкой зрения является карбонатитовая, причем по мнению одних исследователей карбонаты связаны с герцинскими щелочными гранитами, сиенитами и габбро, по другим представлениям – карбонатиты представляют собой лавы, излившиеся на дно морского бассейна в протерозое, синхронно с формированием осадочной толщи.

Одно из крупнейших месторождений бастензитовых руд Маунтин-Пасс находится в штате Калифорния (США). Запасы месторождения по бортовому содержанию 5% составляют 31 млн.т со

средним содержанием 8,86%. Запасы TR_2O_3 составляют 2,75 млн.т. Карбонатиты, прорывающие докембрийские гнейсы, пространственно и генетически связаны с позднепротерозойскими интрузивами шонкинитов, щелочных сиенитов и гранитов. Типичные редкоземельные руды в карбонатитах содержат 40% кальцита, 25% барита, 12% бастензита, 10% стронционита, а также апатит, галенит, гематит, монацит и др.

В США большая часть РЗМ потребляется в виде смешанных соединений в следующих основных областях:

1. В качестве катализатора в крекинге нефти (53%).
2. В металлургии (22%).
3. В производстве стекол и керамики (18%).
4. В высокотехнических отраслях промышленности (электроника, люминофоры, постоянные магниты, лазеры и др., 7%)

В Японии основная масса РЗМ используется в виде индивидуальных оксидов, причем более 70% – в электронике. В Китае около 70% РЗМ используется в металлургии, в т.ч. в производстве чугуна – 3,2 тыс.т, стали – 216т, сплавов – 150т, для катализаторов крекинга нефти – 900т (20%).

Лантан широко используется для изготовления линз видеокамер и фотоаппаратов, катализаторов очистки выхлопных газов, в водородной энергетике, генераторах, тепловых элементах. Церий используется для полировки и обесцвечивания стекла, глушения глазури, полирующих материалов, интегральных схем, легирования высокопрочного чугуна. Иттрий широко используется в люминесцентных лампах, оптических стеклах, для изготовления гранатов и ферритов электронных и микроволновых устройств, изготовления стали для ядерных реакторов, сверхжаропрочных сталей, сверхпроводящей керамики, в термоядерных реакторах и др. Спектр применений РЗЭ очень широк.

Потенциал рудных формаций Армении на редкоземельные элементы изучен слабо; в госбалансе республики они не числятся. Относительно повышенные концентрации РЗЭ установлены в пределах Тежсарского и Мегринского щелочных комплексов, а также в рудах месторождений железорудной формации.

Тежсарский (Памбакский) щелочной комплекс с геологической и редкоземельной точки зрения изучен довольно хорошо (Котляр, 1968; Кочинян, 1961, 1962, 1975; Багдасарян, 1966; Магакьян и др., 1967, 1984; Меликсетян, 1971, 1976 и др.).

Тежсарский комплекс щелочных пород расположен в центральной части Памбакской интрузии гранодиоритового, кварцдиоритового, монцонитового и гранитного состава. Комплекс представлен в основном нефелиновыми, псевдолейцитовыми и щелочными сиенитами, а также рядом эффузивных разновидностей щелочных пород. В комплексе присутствуют многочисленные жильные породы, а также скарны, возникшие под воздействием щелочной магмы, роговики и другие метасоматические образования. Тежсарский массив считается самой крупной интрузией комплекса щелочных пород. В массиве отмечается концентрическое расположение пород разного состава. Данные по редкоземельности пород Тежсарского щелочного комплекса приводятся в таблице П.51

В Тежсарском щелочном массиве установлены как собственно редкоземельные минералы (монацит, ортит, рабдофанит, пироклор), так и минералы-носители (бронзит, роговая обманка, апатит, меланит, флюорит, сфен, циркон, торит, полевой шпат, амфибол) (табл. П.52).

Рентгеноспектральными анализами было установлено, что в собственно редкоземельных минералах Тежсарского массива преобладают элементы цериевой группы, а иттриевые земли в них либо отсутствуют, либо играют подчиненную роль. В минералах-носителях поведение элементов цериевой и иттриевой групп и их соотношение несколько отличаются от таковых в собственно редкоземельных минералах. Геохимия редкоземельных элементов в минералах-носителях Тежсарского массива хорошо изучена Г.Е. Кочиняном, по материалам которого дается характеристика этого комплекса. Установлено, что содержания редких земель иттриевой группы возрастают от белых к черным разновидностям флюорита и в том же направлении имеет место уменьшение содержаний элементов цериевой группы, причем для последних характерно $Se > La > Nd > Pr$. В биотитах из Лагерного участка редкие земли представлены исключительно цериевой группой с резко выраженным лантановым

**Содержание редких земель в породах Тежсарского массива
(Кочинян, 1975)**

N/N n/n	Название пород	Суммарное содержание редких земель, %
1.	Нефелиновые сиениты	0,092
2.	Выветрелые нефелиновые сиениты	0,24
3.	Обогащенные нефелином нефелиновые сиениты	0,115
4.	Щелочные сиениты (кольцевидная интрузия)	0,12
5.	Щелочные сиениты (центральная интрузия)	0,181
6.	Пегматиты щелочных сиенитов	0,187
7.	Интенсивно измененные щелочные порфиры	0,09
8.	Гидротермально измененные брекчированные породы (участок Лагерный)	0,72
9.	Гидротермально измененные порфиры (участок Тежагет)	0,43
10.	Гидротермально измененные порфиры (участок Омар)	
	а) магнетит-биотитовый пояс	0,055
	б) биотитовый пояс	0,104
	в) магнетитовый пояс	0,2

максимумом, чем и резко отличается спектр TR биотита от других минералов-носителей. В сфенах из обогащенных нефелином сиенитов и пегматитов нефелиновых сиенитов установлены максимальные содержания редкоземельных элементов, причем с селективным цериевым составом. По содержанию TR сфену уступает апатит. Максимальные содержания редких земель установлены в апатите из магнетит-вермикулитовой зоны (Ce – 33%, La – 33%, Y – 24%). В биотитовой зоне Омарского участка содержание редких земель в апатите составляет 1,46% при соотношении цериевой и иттриевой групп 84:16. Аналогичные соотношения и содержания TR установлены также в апатитах из Тежсарского участка. В апатитах из Лагерного участка установлены более низкие содержания TR, при этом почти полностью отсутствуют элементы ит-

Суммарное содержание редких земель в отдельных минералах пород Тежсарского массива (по данным Горно-металлургического института)

N/N n/n	Название пород	Название минералов	Сумма TR ₂ O ₃	Σ TR ₂ O ₃ - 100%	
				TR _{Ce}	TR _Y
1	2	3	4	5	6
1.	Нефелиновые сиениты	Сфен	0,76	68	32
		Циркон	0,14	-	95
			0,60	-	90
		Амфибол	0,01	-	100
2.	Обогащенные нефелином нефелиновые сиениты	Сфен	1,44	93	4
			3,12	90	6
		Меланит	0,55	23	68
		Амфибол	0,13	86	14
3.	Щелочные сиениты	Сфен	0,40	57	35
		Ортит	-	88	3
4.	Пегматиты нефелиновых сиенитов	Монацит	-	90	-
		Сфен	2,48	48	49
5.	Пегматиты щелочных сиенитов	Циркон	0,7	14	83
		Флюорит	0,48	90	7
6.	Гидротермально измененная брекчированная зона в щелочных сиенитах (участок Лагерный)	Ортит	-	95	-
		Флюорит	0,2	91	8
		Биотит	0,03	92	1
		Апатит	0,83	97	-
		Циркон	0,41	5	88
		Монацит	-	100	-
7.	Щелочные сиениты (участок Тежагет)	Апатит	1,39	69	28
		Циркон	0,2	-	98
8.	Щелочные порфиры (участок Омар)	Апатит	1,86	66	34
			1,46	66	24
		Циркон	0,30	36	63
		Полевой шпат	0,9	66	33
		Псиломелан	1,22	65	30
		Монацит	-	100	-

триевой группы. Апатиты всех генетических типов являются в основном цериевыми. В меланите из различных пород щелочного комплекса содержание редких земель почти постоянно и доходит до 0,75% при преобладании элементов иттриевой группы. Одним из важнейших концентраторов редких земель является циркон. Максимальные значения TR установлены в цирконе из пегматитов щелочных сиенитов, – также с преобладанием иттриевой группы. Преобладание редких земель иттриевой группы в цирконе и меланите объясняется сходством их ионных радиусов с таковыми тяжелых лантаноидов и иттрия (Кочинян, 1975).

На основании вышеизложенного можно отметить следующее:

1. В пределах Тежсарского комплекса наибольшая концентрация редких земель с резко выраженным цериевым максимумом приурочена к флюоритовому проявлению Лагерного участка, что подтверждает представление о генетической связи между редкими землями и фтором и отличает Тежсарский комплекс от Хибин и Ловозера (РФ).

2. Наблюдается возрастающая активность концентрации редких земель цериевой группы в минералах поздних генераций (в особенности в апатите), т.е. от ранних магматических образований к гидротермальным, когда, по мнению Г.Е.Кочиняна, происходит насыщение изоморфных емкостей минералов-носителей.

3. Редкие земли иттриевой группы концентрируются преимущественно в пегматитах и контактово-метасоматитах (Лагерный участок), что особенно выражено иттриевым составом лантаноидов в меланите. С понижением температуры в постмагматических растворах и резким изменением химизма имела место активизация элементов цериевой группы (Кочинян, 1975).

В породах Тежсарского щелочного комплекса установлены практически все редкоземельные элементы, кроме тулия и лютеция. Причем в основных разновидностях пород наблюдается заметное преобладание церия, лантана и неодима (примерно 85% общей суммы редких земель). Некоторые разновидности пород наделены радиоактивностью, обусловленной наличием тория и урана.

В результате минералого-петрографического, рентгено-

структурного и спектрального анализов мономинеральных образцов, отобранных из разных пород массива, выяснилось весьма неоднородное распределение содержаний редких земель как в разных минералах, так и в одних и тех же минералах в разных породах. И несмотря на это, в некоторых участках массива заметна определенная тенденция локализации относительно высоких содержаний редких земель. Геолого-структурный анализ массива показал, что эти содержания характерны для определенных пород, контактов, приуроченных к определенным гидротермально и метасоматически измененным, раздробленным, брекчированным зонам, структурным узлам и связаны с определенными стадиями рудоотложения.

На основании полученных результатов пространственную локализацию редких земель в центральной части Памбакского хребта, по материалам Г.Е. Кочиняна и др. исследователей, можно четко связать с магматической, пегматитовой, пневматолитической и гидротермальной стадиями оруденения, которые обусловили возникновение соответствующих генетических типов локализации редких земель.

Магматический тип оруденения приурочен в основном к нефелиновым сиенитам массива и в меньшей степени к гранодиоритам и кварцевым диоритам. В этих породах редкие земли относятся в основном к группе церия (~ 75%) и связаны исключительно с акцессорными минералами, в т.ч. со сфеном, апатитом, цирконом, флюоритом, меланитом. По данным спектрального анализа, незначительные содержания редких земель обнаружены также в полевых шпатах, пироксенах и амфиболах. Содержание редких земель в нефелиновых сиенитах почти постоянно и составляет TR – 0,09%. В нефелиновых сиенитах магматической стадии ранее было обнаружено также содержание тория, что обусловлено наличием монацита и торита. В зоне выветривания нефелиновых сиенитов содержания редких земель заметно увеличиваются, что, по всей вероятности, обусловлено накоплением в ней акцессорных минералов. Магматическая стадия оруденения редких земель максимально проявлена на участках Халатадзор, Алтун-таг, Маймех, Каракала-Улашик и Меградзор.

Пегматитовый тип редкоземельного оруденения генети-

чески связан с нефелиновыми и щелочными сиенитами массива, которые и обусловили образование соответственно содержащих и не содержащих нефелин пегматитов.

Нефелинсодержащие пегматиты приурочены к богатым нефелином разновидностям нефелиновых сиенитов и образовались на северных и южных контактах интрузивного массива. Мощность пегматитовых тел в массиве колеблется от нескольких сантиметров до 1-1,5м; простираение местами доходит до 50м. В их минеральном составе главные – меланит и роговая обманка. Встречаются также полевой шпат, нефелин, флюорит, сфен, магнетит, апатит, монацит, бадделент, циркон. Локализации редких земель способствовали в основном меланит, циркон, роговая обманка, монацит и апатит. Причем в первых трех минералах преобладают элементы группы иттрия, а в последующих – группы церия. При этом в упомянутых пегматитах установлено 0,09-0,16% суммарного содержания редких земель и 0,02% тория.

Пегматиты, не содержащие нефелин, приурочены к щелочным сиенитам и представлены жильными, гнездобразными и бесформенными телами. Последние размещены в щелочных сиенитах центральной интрузии, на участке горы Осыпь. В их минеральном составе преобладает в основном ортоклаз (до 90%). Встречаются также плагиоклаз, биотит, циркон, флюорит, апатит, магнетит и кварц. Редки уранинит и паризит. Сфен, роговая обманка, меланит и нефелин практически отсутствуют или весьма редки. Основными носителями редких земель считаются паризит, флюорит, циркон, биотит, апатит, магнетит и ортоклаз. Кроме циркона, в остальных минералах преобладают элементы группы церия.

Пневматолитовый генетический тип оруденения редких земель протягивается вместе со щелочными порфирами по южному и северному контактам нефелиновых сиенитов и проявляется в массиве на участке Артаваз (Такарли). Он считается контактово-метасоматической зоной, обогащенной нефелином. Зона представлена роговиками, гибридными породами и мигматитами. Мощность зоны колеблется от нескольких до 200-300м. На южном контакте и участках Лагерный и Омар мигматиты образуют весьма обширную зону мощностью до 5-10м. Достаточно широкой полосой

протягиваются также роговики в районе гг. Кер-Оглы и Халхал. Весь контактовый пояс между нормальными сиенитами и роговиками, мощностью 100-250м и протяженностью до 30км, представлен обогащенными нефелином нефелиновыми сиенитами. Породы этого пояса считаются лучшим глиноземным сырьем и на участках, особенно насыщенных меланитом и сфеном, характеризуются значительными содержаниями редких земель.

В целом, в щелочных породах меланит имеет неоднородное распространение. В нормальных нефелиновых сиенитах и пегматитах его содержание колеблется в пределах 0,14-0,22%. Между тем в богатых нефелином нефелиновых сиенитах, для которых характерна вкрапленная текстура меланита, его содержание составляет 15-20% этой породы. Здесь меланит часто встречается в виде гнезд, жил и прожилков, которые с мощностью от нескольких мм до 10см протягиваются до 10-15м, а иногда до 50м в длину. В этих породах меланит встречается в виде кристаллов размерами в 0,1-5,0см. Под микроскопом заметны устойчивые ассоциации меланита с амфиболом и сфеном. Последние в среднем занимают соответственно 30 и 20% изучаемого шлифа. Размеры зерен амфибола колеблются в пределах 0,5-1,5см, а сфена – 0,25-0,7см.

Наибольшие содержания редких земель (0,1-1,44%) в этой зоне выявлены в сфене, в котором элементы группы церия преобладают в значительной степени. Между тем, в меланите, в котором установлено до 0,55% суммарного содержания редких земель, несмотря на незначительную разницу, однако преобладают элементы группы иттрия. Гораздо более низкими содержаниями (ΣTR до 0,16%) характеризуются амфиболы.

Гидротермальный тип (уран-торий-редкоземельная формация) оруденения представлен уран-торий-редкоземельными проявлениями и развит на участках Лагерный, Омар и Тежагет.

Проявление на участке Лагерный приурочено к щелочным сиенитам и раздробленной, брекчированной гидротермально измененной зоне, возникшей на контакте с излившимся лейцитцеолитовыми щелочными порфиритами, с юго-восточным падением под углами 35-40°. Мощность зоны доходит до 100-150м, протяженность – 1,5км. Брекчированные породы зоны сцементированы

флюорит-биотитовой массой, в которой и локализовано редкоземельное оруденение, в основном прожилково-вкрапленного типа.

В минеральном составе преобладают флюорит и биотит. По содержанию редких земель превалируют апатит, циркон и флюорит, причем каждый из них, в зависимости от содержаний редких земель, характеризуется особыми петрохимическими свойствами. В апатите преобладают элементы группы церия, между тем последние в цирконе имеют подчиненное значение по отношению к элементам группы иттрия. Во флюорите преобладание тех или иных элементов зависит от цвета минерала, который очень важен при поисковых работах.

В указанной зоне содержание флюорита доходит до 10, местами до 20%, а суммарное содержание редких земель во флюорите – до 0,7%.

Проявления участка Тежагет представлены уран-торий-редкоземельным оруденением и локализованы в лейцит-цеолитовых щелочных порфиритах. По этому участку проходят тектонические структуры участков Лагерный и Омар. Редкоземельное оруденение на участке связано с флюоритом, апатитом, цирконом и сфеном. В юго-западной части участка породы подверглись гидротермальному изменению. В измененных разновидностях заметно ощутимое повышение содержаний редких земель.

Торий-редкоземельное проявление на участке Омар локализовано в вулканической толще, прорванной щелочными и нефелиновыми сиенитами и осложненной многочисленными разрывными нарушениями северо-восточного и северо-западного простираний. Два из них проходят по Тежагетскому участку и расположены в пределах зоны контакта вулканической толщи с щелочными породами. Именно зоны с указанными простираниями считаются зонами оруденения. Последние отличаются друг от друга своим минеральным составом, на основе которого на участке Омар были выделены 3 основные зоны оруденения.

а) Собственно биотитовая зона северо-восточного простирания и мощностью 0,5-2,0м; протягивается примерно на 1,5км. Основным минералом считается биотит, с которым изредка встречаются мелкие включения монацита, пирита, апатита, циркона, ру-

тила и серицита. Интенсивно развиты окolorудные изменения. Мощность ореола гидротермальных изменений по всей длине зоны примерно 10м.

б) Магнетит-биотитовая зона также имеет северо-восточное простирание и протягивается параллельно биотитовой зоне; мощность – 3-10м. Эта зона характеризуется богатым магнетит-биотитовым оруденением, крупными, размерами до 2-3см, идиоморфными кристаллами магнетита контактово-метасоматического генезиса. Мощность ореола гидротермального оруденения довольно большая (50-60м). Ореол охватывает всю юго-западную часть оруденелого Тежагетского участка, а далее, в верхних течениях р.Тежагет, в узле трех тектонических структур, в нем локализовано смешанное редкоземельное оруденение.

в) Собственно магнетитовая зона близширотного простирания, мощностью 0,5-2,0м и длиной 100-150м протягивается по контакту щелочных и нефелиновых сиенитов. Основные минералы магнетит и пирит.

В указанных зонах участка Омар редкоземельное оруденение связано с биотитом, цирконом, апатитом и частично с полевыми шпатами.

Кроме вышеуказанных зон, на участке Омар, в результате проведенных исследований, в интенсивно измененных вулканических породах выявлен участок с редкоземельным оруденением, выделяющийся радиоактивностью, которая обусловлена присутствием тория и монацита.

Основанием для оценки перспективности выделенных оруденелых участков с редкими землями послужило выявление возможностей их извлечения.

Вообще сырьем для получения редкоземельных элементов являются содержащие их концентраты. Получение подобных концентратов осуществляется по несложной технологии. Гораздо сложнее извлечение из них редких земель. Одновременно, в силу чрезмерной близости физико-химических свойств последних, затрудняется их разделение в промышленных условиях. Но несмотря на это, разработаны, в том числе в Горно-металлургическом институте, продуктивные технологические схемы и технические

решения отдельных узлов в процессе извлечения (Пласкин и др., 1965, 1967; Асланов, 1988).

Анализ результатов технологических исследований показывает, что физико-химические свойства некоторых минералов, содержащих редкие земли, дают возможность посредством гравитации, электромагнитной сепарации и флотации получать концентраты с ощутимым содержанием извлекаемых редкоземельных элементов. При этом выяснено, что наибольший интерес представляют те руды, в которых содержание редких земель превышает 0,05%. В процессе обогащения их содержание в тяжелых фракциях можно довести до 0,42%.

Технологические исследования, проведенные, в частности, по меланит-сфеновой руде, образовавшейся в Тежсарском массиве на пневматолитовой стадии, выявили возможность отделения тяжелых фракций с последующим получением селективных концентратов меланита и сфена, которые при соответственно 2,68 и 1,1% выхода обеспечивают суммарное содержание редких земель в них 0,18 и 2,56%. Последующее их извлечение осуществляется в процессе выщелачивания и экстракции, которые дают возможность обеспечить извлечение из меланитовых концентратов 86-88%, а из сфеновых – 76-77% элементов в основном цериевой группы (Пласкин и др., 1965).

Подобные исследования проводились на флюоритовой руде, образовавшейся в гидротермальную стадию оруденения Тежсарского массива, из которой, в случае 0,14% содержания редких земель, одновременно с получением магнетитовых и флюоритовых кондиционных концентратов с 4,8% выхода и 2,06% содержанием редких земель обеспечивается 70% их извлечения (Пласкин и др., 1967; Асланов, 1988).

Получение магнетитовых и апатитовых концентратов с содержанием редких земель до 2% обеспечивается также из руд железорудной формации Армении, в частности, руд Абовянского месторождения.

По предварительным авторским подсчетам запасы редкоземельных элементов в щелочных сиенитах Тежсарского комплекса составляют 130 тыс.т.

Таким образом, имеющиеся данные дают возможность в ходе их обсуждения сделать следующие выводы.

1. Редкие земли связаны в основном с акцессорными минералами, которые делятся на группы, содержащие редкие земли и собственно редкоземельные минералы.

2. Пространственное распределение редких земель подвержено определенному литологическому, магматическому и структурному контролю. В частности, в Тежсарском массиве участки, наиболее богатые редкими землями, приурочены к контактам щелочных пород и вытянуты вдоль тектонических структур, зон измененных, раздробленных и брекчированных пород и связаны с определенными, в том числе магматической, пегматитовой, пневматолитовой и гидротермальной стадиями рудоотложения.

3. Практически перспективную значимость могут иметь участки Тежсара, оруденелые в пневматолитовую и гидротермальную стадии редкоземельного рудообразования, которые характеризуются широким развитием оруденения, а также достаточно высокими содержаниями редких земель и радиоактивных элементов. Это фактически уран-торий-редкоземельная формация. Одновременно необходимо учесть то обстоятельство, что богатая нефелинами зона нефелиновых сиенитов представляет собой лучшее глиноземное сырье. В подобных обстоятельствах практическое значение приобретают также образовавшиеся в пегматитовую стадию и приуроченные к вышеуказанным типам рудные проявления в безнефелиновых пегматитах. Последние, несмотря на ограниченность их распространения, могут при попутной добыче с упомянутыми рудами способствовать повышению ценности извлекаемых полезных элементов.

4. Выявленные закономерности пространственного распределения редких земель, возможности их попутного или автономного извлечения позволяют однозначно обосновать их перспективное промышленное значение в указанных участках, из чего следует необходимость дальнейших поисково-разведочных работ на этих участках.

Сравнительные данные по редкоземельности Мегринского и Тежсарского щелочных комплексов приводятся в работах Б.М.

Меликсетяна и И.Г. Магакьяна. Следует отметить, что данные этих исследователей несколько отличаются от данных Г.Е. Кочиняна по Тежсарскому комплексу, однако принципиальных разногласий не вызывают.

Основные выводы по редкоземельности нефелин-сиенитовой щелочной формации Армении по данным Б.М. Меликсетяна и И.Г. Магакьяна (1972) сводятся к следующему.

1. Редкие земли и торий являются характерными и самыми распространенными элементами для нефелин-сиенитовой щелочной формации Армении, хотя по сравнению с другими известными регионами России она более обеднена (табл. II.53, II.54).

Таблица II.53

Содержание TR_2O_3 , Y_2O_3 и ThO_2 в породах нефелин-сиенитовой формации Армении (Меликсетян, Магакьян, 1972)

N/N n/n	Главные типы пород	Содержание, г/т		
		TR_2O_3	Y_2O_3	ThO_2
1.	Тежсарский комплекс			
	Нефелиновые сиениты	600	20	30
	Псевдолейцитовые сиениты	700	30	30
	Щелочные пегматиты	1200	100	90
	Флюоритовые брекчии	2100	300	1600
2.	Мегринский комплекс			
	Щелочные сиениты	910	30	25
	Калиевые пегматиты	1500	300	30
	Натриевые пегматиты	2500	100	50

Данные, приведенные в табл. II.53 и II.54, показывают, что в общем балансе роль отдельных редких земель различна. Основная масса приходится на группу цериевых редких земель: Ce – 44-45%, La – 19-23%, Pr – 5-6%, Nd – 20-22%. На иттриевую группу приходится всего 2-3%. Кроме того, нефелиновые сиениты Мегринского комплекса примерно в 1,5-2 раза больше обогащены редкими землями, чем Тежсарский комплекс.

2. Сравнительный анализ распределения редких земель, иттрия и тория по минералам щелочных и нефелиновых сиенитов

Таблица П.54

**Среднее содержание редких земель в породах нефелин-сиенитовой
формации Армении
(Меликсетян, Магакьян, 1972)**

N/N п/п	Нефелин- сиенитовые комплексы	Содер- жание Σ TR, %	Содержание редких земель (Σ TR = 100%)													
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Th	Yb	Lu
1.	Тежсарский	0.06	23.3	45	5.6	20.1	2.1	0.3	1.3	0.2	0.6	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1
2.	Мегринский	0.091	19	44	6.5	22	3.6	0.6	2.3	0.2	1.0	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2

Тежсарского и Мегринского комплексов показывает, что, **во-первых**, сфены, флюориты и цирконы Тежсарского комплекса обогащены редкими землями и обеднены иттрием и торием, а апатит обеднен редкими землями и обогащен иттрием и торием; **во-вторых**, в Мегринском комплексе широко распространены собственно редкоземельные минералы с Y и Th (ортит, монацит, торит и др.); **в-третьих**, в Тежсарском комплексе преобладают пирохлор и лопарит, которые в Мегринском комплексе отсутствуют; **в-четвертых**, в альбитизированных и мусковитизированных пегматитах Мегринского комплекса прослеживается геохимический парагенезис минералов – ксенотим, церит, лантанит, редкоземельные тантало-ниобаты, а в Тежсарском – ринколит, велерит, пирохлор, лопарит, торит и др.

3. Для технологических исследований по обогащению и получению металлов редкоземельной группы, иттрия и тория чрезвычайно важным является баланс распределения по минералам. С этой точки зрения расчеты показывают, что основная масса лантаноидов и иттрия, а с ними и тория сконцентрирована в сфене (40-60%).

По данным рентгеноспектрального анализа, выполненным в ИМГРЭ (аналитик Р.А. Баринский), сфены и цирконы Тежсарского комплекса почти вдвое обогащены иттриевыми и цериевыми землями, а апатитами настолько же обеднены (табл. II.55).

При разработке технологической схемы переработки редкоземельных нефелиновых сиенитов следует учесть не только тесную геохимическую связь с иттрием и торием, но и возможность попутного извлечения редкоземельных элементов из тяжелых хвостов глиноземного производства на базе нефелиновых сиенитов.

Редкоземельность руд железорудной формации Армении. На данной стадии изученности месторождений железорудной формации на редкоземельность можно говорить о перспективности двух подформаций: гидротермально-метасоматической редкоземельно-apatит-магнетитовой и известково-скарновой (контактово-метасоматической) редкоземельно-золотомагнетитовой. Представителем первой подформации является Абовянское, а второй – Разданское месторождения.

**Распределение редких земель, иттрия и тория в минералах
нефелин-сиенитовой формации Армении
(Меликсетян, Магакьян, 1972)**

N/N n/n	Минералы-носители	Тежарский комплекс						Мегринский комплекс							
		Содержание минерала, г/г	Содержание, %			Баланс, %			Содержание минерала, г/г	Содержание, %			Баланс, %		
			ΣTR_2O_3	Y_2O_3	ThO_2	TR	Y	Th		ΣTR_2O_3	Y_2O_3	ThO_2	TR	Y	Th
1.	Сфен	8200	3,12	0,4	0,016	45	50	40	7,500	1,65	2,5	0,18	30	60	35
2.	Апатит	4500	1,21	0,3	0,01	10	15	15	6,400	2,40	0,1	0,06	25	5	10
3.	Меланит	8000	0,43	0,1	0,022	10	5	10	-	-	-	-	-	-	
4.	Флюорит	1900	1,50	0,03	0,01	5	2	1	1500	0,1	1,0	0,3	1	10	2
5.	Циркон	260	0,60	0,3	0,4	5	5	10	2100	0,3	1,0	0,07	1	15	10
6.	Монацит	60	62,0	1,0	3,0	7,5	10	15	500	62,5	2,5	5,26	28	2	15
7.	Ортит	30	23,0	0,1	0,2	2,5	3	2	100	21,0	0,16	1,28	5	1	13
8.	Танталониобаты	50	10,0	5,0	3,0	5	2	1	10	10	10	5,0	3	2	5
9.	Породообразующие	-	0,003	0,001	0,001	5	5	5	-	0,01	0,001	0,001	5	5	5

На Абовянском месторождении среднее содержание суммы редкоземельных элементов в руде составляет 0,27-0,3%, а в апатитах – от 2,4 до 2,9%, причем в апатитах первой генерации – 2,88%, а в апатитах второй генерации – 2,4%. На месторождении выделяются три промышленных типа руд, из которых два редкоземельные: массивные редкоземельно-апатит-магнетитовые руды (Fe – 42-65%, S – 0,1-0,2%, P₂O₅ – 25-34%), магнетитовые жилы и прожилки (Fe – 44,4-55,1%, S – 0,1%, P₂O₅ – 5-15%) и редкоземельно-апатитовые руды. Редкие земли изоморфно замещают катионы Ca, Na и др. и входят в решетку апатита. В апатитах содержание Ce+La+Nd составляет 89% от суммы TR, причем доля церия и лантана составляет более 70%. Это дает основание отнести апатит Абовянского месторождения к минералам с селективно-цериевым составом, при этом не исключается и наличие элементов иттриевой группы. Изоморфный характер присутствия редких земель предопределяет гидрометаллургическую (выщелачивание+экстракция) переработку апатитового концентрата, что обеспечивает комплексное использование сырья. В связи с комплексным характером руд месторождения (P₂O₅ – 5,9%, Fe – 54% и $\sum TR_2O_3$ – 0,265%) предусматривается получение двух основных концентратов: железного (магнетитового) и редкоземельно-апатитового. Содержание суммы редких земель в редкоземельно-апатитовом концентрате составляет 16550г/т или 1,6550%. Исследованиями установлена прямая зависимость содержания $\sum TR_2O_3$ от содержания P₂O₅ (рис. П.8). При дальнейшей переработке обесшламленный редкоземельно-апатитовый концентрат подвергается выщелачиванию с получением двух селективных концентратов: апатитового с содержанием P₂O₅ 28% и редкоземельного черного концентрата с содержанием $\sum TR_2O_3$ 36%. Разработанная в Горно-металлургическом институте технологическая схема обеспечивает комплексное использование сырья и высокое извлечение редких земель из редкоземельно-апатитового концентрата. Сквозное извлечение редких земель составляет более 97%, а их содержание в конечном товарном продукте – 93-95% (Асланов, 1988).

Абовянское редкоземельно-апатит-магнетитовое гидротермально-метасоматическое (гистеромагматическое) месторождение

прямых аналогов-рудотипов не имеет. Вместе с тем, различными авторами это месторождение сравнивается и сопоставляется с многочисленными месторождениями различных генетических и промышленных типов, что объясняется его геолого-геохимической уникальностью.

Абовянское месторождение по условиям образования, минеральному составу и типам руд часто сравнивается с Лебяженским апатит-магнетитовым месторождением (Средний Урал), залегающим в зоне контакта сиенитов Высокогорского интрузивного массива с вулканогенно-осадочной свитой девона, представленной известняками, метаморфизованными сланцами, андезитами, андезитопорфиритами и их туфами. Пластовые рудные тела образованы в основном за счет метасоматического замещения известняков. Скаполит в рудах не отмечается, апатит представлен фтор-apatитом.

Часто проводятся аналогии, учитывая повышенные содержания апатита в рудах. Наиболее широко используется сравнение с месторождениями Кируновара (рудник "Ректор"), Люосавара и Гелливарара в Северной Швеции. На руднике "Ректор" оруденение локализовано в контакте сиенит-порфиринов (возможно, сиенитов) с кварцевыми порфирами эффузивного характера. Околорудные изменения представлены актинолит-скаполитовыми скарнами, серицитизацией, окварцеванием и карбонатизацией. Здесь апатит представлен фтор-apatитом.

По мнению Л.Б. Саруханян (1971г.), Абовянское апатит-магнетитовое месторождение по основным геолого-геохимическим признакам сопоставимо с железорудными контактово-метасоматическими месторождениями скарнового типа Кустанайской (Качарское, Соколовское и Сарбайское – в контакте диоритов и вулканогенно-осадочных образований андезитового состава) и Алтае-Саянской (Анзасское – в скаполитизированных габброидах, прорывающих вулканогенно-осадочные образования среднего состава с характерным фтор-apatитом) областей и гидротермальными месторождениями Ангаро-Илимской группы (Коршуновское и Рудногорское) в габбро-диабазовых траппах, прорывающих терригенно-карбонатные отложения силура и карбона-перми. В месторожде-

ниях последней группы магнетит представлен магномагнетитом, апатит – хлор-апатитом (50%), фтор-апатитом (20%) и гидроксил-апатитом (25%).

Нам представляется, что особый интерес могут представить сопоставления с точки зрения редкометалльности (редкоземельности) руд Абовянского месторождения. С этой точки зрения наиболее близкими являются сравнения с месторождениями Маунтин-Пасс (США) и Канганкунде (Малави), где содержания ΣTR_2O_3 (паризит, бастензит, монацит) составляют от 0,5-5 до 20%; Одегарден (Норвегия), где содержание P_2O_5 составляет 41,01%, а сумма ΣTR_2O_3 – 0,53%; Юкспор (Хибины, Россия) - P_2O_5 – 40,8%, ΣTR_2O_3 – 0,8%; Тахтарвумчорр - P_2O_5 – 40,57%, ΣTR_2O_3 – 1,75. Очень много общих черт Абовянское месторождение имеет с крупными апатит-магнетитовыми (фосфорно-железистыми) месторождениями платино-редкометалльных карбонатитовых руд Ковдор, Ессей, Вуорни-Ярви, Браас, Арбарастах (Россия), Букусу (Уганда) и др. Во-первых, это сопоставимые содержания железа и апатита, во-вторых, вещественный состав и структурно-текстурные особенности руд, в особенности "сахаровидного" магнетита и фтор- и фтор-хлор-апатита, в третьих, содержание в рудах Au, Ag и МПГ, а также характерных металлов-спутников платиноидов – Re, Mo, Zr и Sc.

Сравнительный анализ данных по Ковдорскому месторождению-рудотипу показывает, что на обоих месторождениях апатит представлен хлор-фтор-апатитом (фтор-апатитом) и в основном мелкокристаллическим "сахаровидным" магнетитом. Если учесть, что на Ковдорском месторождении "сахаровидные" апатитовые руды платиносодержащие, то вполне ясно, что руды Абовянского месторождения должны быть изучены с точки зрения их благороднометалльности, т.к. по данным технологических исследований в рудах установлены Au и Ag. Из руд Ковдорского месторождения получают бадделеитовый (ZrO_2) концентрат; на Абовянском месторождении, по данным спектрального анализа, цирконий распределяется в рудообразующих минералах почти равномерно – порядка тысячных долей процента, а в некоторых силикатах его содержание повышается до 0,02% (скаполит, каолинит, борнит, гидрослюды). В "сахаровидном" апатите содержание молибдена достигает 0,01%, а

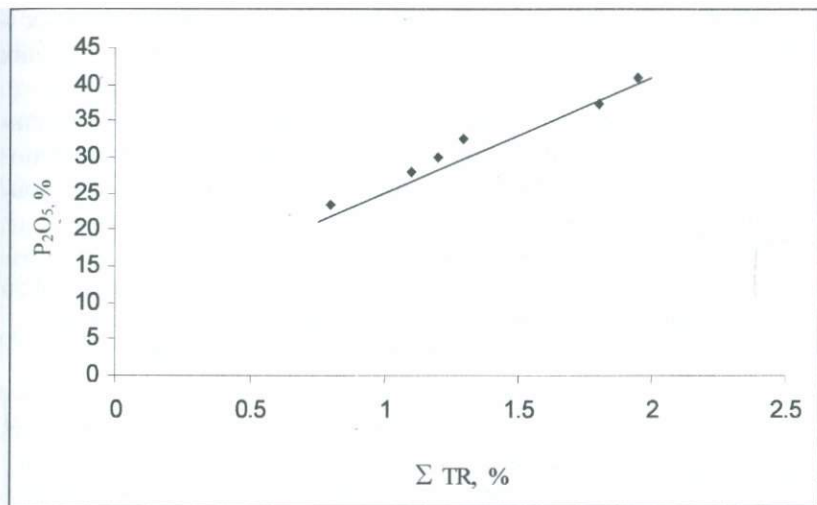


Рис. II.8. График зависимости содержания суммы редких земель от содержания P_2O_5 в редкоземельно-апатитовом концентрате Абовянского месторождения.

по данным химических анализов технологической пробы ТП-1965 в рудах установлены германий – 1,3г/г; галлий – 9г/г; селен – 0,7г/г; теллур – 2г/г; рений – 0,2г/г.

Общие запасы апатит-магнетитовых руд Абовянского месторождения, числящиеся на госбалансе по категории А+В+С₁, составляют 244 млн.т при среднем содержании железа 28%.

На Разданском месторождении отобраны специальные малообъемные технологические пробы для изучения редких земель в Первом рудном теле. Весь комплекс минералого-технологических исследований проводился в Ереване и Москве в специализированных научно-исследовательских институтах. В композитной пробе из Первого рудного тела среднее содержание суммы редких земель составило 0,012% или 120г/т, причем редкие земли преимущественно представлены элементами цериевой группы (от 75,4 до 84,4%). В отдельных скарновых минералах ΣTR_2O_3 сильно варьирует в пределах от 93 до 2870г/т, в магнетитовом концентрате – от

64 до 500г/т, а в гранатовом и пироксен-эпидовом концентратах – от 233 до 266г/т. Собственных редкоземельных минералов в рудах пока не установлено.

На содержание редких земель изучались мономинеральные концентраты: магнетитовый, гранатовый, эпидот-пироксеновый и кальцит-кварц-полевошпатовый (альбитовый), а также апатит и сфен (табл. II.56).

Таблица II.56

**Содержания редких земель и тория в руде композитной пробы
Первого рудного тела Разданского месторождения**

Редкие земли и торий	Содержание, %				
	Композитная проба Первого р.т.	Магнетитовый концентрат	Гранатовый концентрат	Пироксен-эпидотовый концентрат	Кальцит-кварц-полевошпатовый (альбитовый) концентрат
1	2	3	4	5	6
Лантан, La	15,3	22,65	13,9	17,13	18,95
Церий, Ce	31,58	51,9	33,8	39,15	43,48
Неодим, Nd	11,4	13,2	12,65	13,35	9,68
Самарий, Sm	21,3	–	1,5	14,33	16,6
Гадолиний, Gd	1,8	–	3,2	1,98	0,48
Эрбий, Er	0,7	1,1	–	0,4	1,18
Тулий, Tm	0,45	0,9	0,4	0,43	0,55
Иттербий, Yb	0,72	1,3	0,8	0,45	0,9
Иттрий, Y	14,5	6,4	20,45	12,78	8,2
Торий, Th	2,5	2,8	–	–	–
ΣTR+Th	0,0114-	0,00573-	0,0242-	0,01915-	0,00933-
	0,0142	0,0069	0,0287	0,02747	0,01864
	0,012	0,00635	0,0266	0,02326	0,01494
Сумма	100,428	100,254	99,703	99,977	99,985

Редкие земли в магнетитовом концентрате составляют 57-69г/т (ВИМС), а по данным НИГМИ – 500г/т, что почти в 10 раз превышает показатели ВИМС-а. Поэлементный состав редких земель в магнетитовом концентрате приведен в табл. П.56. Здесь преимущественно преобладают элементы цериевой группы – 84,2-92,6%. Самарий установлен в композитной пробе (по 4-м определениям) в количестве 16,8-26,1% от ΣTR , и гадолиний в количестве 1,6-2,5%.

Из других элементов-примесей в магнетите установлены (%): ванадий – $n \cdot 10^{-3}$, титан – от $n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10^{-2}$, никель - $n \cdot 10^{-3}$, марганец - $n \cdot 10^{-3}$, свинец - $n \cdot 10^{-3}$. Степень окисления магнетита – 32,6-56,9%. Содержание тория – 2,8% от ΣTR .

В рудах Разданского месторождения, как уже было сказано, гранаты представлены в основном андрадитом. Содержание редких земель в **гранатовом концентрате** составляет 242-287г/т. Здесь также преобладают элементы цериевой группы – 73,9-78,5%. По сравнению с магнетитовым концентратом, в гранатовом концентрате содержания самария и гадолиния составляют более 17% от суммы редких земель (табл. П.56).

В пироксен-эпидотовых концентратах содержание редких земель составляет 192-275 г/т. Поэлементный состав редких земель в принципе не меняется, однако их количественные взаимоотношения различны; по-прежнему преобладает цериевая группа – 74-78,5% (табл. П.56). В пироксен-эпидотовых концентратах количественными спектральными анализами установлены (%): галлий, медь, свинец, стронций и барий в количестве $n \cdot 10^{-2}$, ванадий, кобальт, никель и цинк – $n \cdot 10^{-3}$.

В кальцит-кварц-полевошпатовых (альбитовых) концентратах содержание редких земель составляет 93-186 г/т. Поэлементный состав сохраняется; элементы цериевой группы составляют 87-90% (табл. П.56). Соотношение минералов в кальцит-кварц-полевошпатовом концентрате практически постоянное и по данным минералогического анализа составляет: для кальцита – 14-19%, кварца – 24-30% и альбита – 51-57%. В концентрате присут-

ствуют (%): титан и марганец – $n \cdot 10^{-1}$, галлий, ванадий, кобальт, никель, медь, цирконий – $n \cdot 10^{-3}$.

В апатите установлены: иттербий – $n \cdot 10^{-4}\%$ и иттрий – $n \cdot 10^{-4}\%$, а **в сфене** – иттербий (0,003%), иттрий (0,03%) и следы лантана.

Для изучения распределения редких земель в технологических продуктах металлургического передела НИГМИ отправил в г.Москву (ВИМС и ЦНИИЧМ) магнетитовый концентрат весом 120кг.

Поэлементный химический состав редких земель и тория в продуктах металлургического передела при электроплавке ереванского магнетитового концентрата приводится в табл. II.57.

Содержания редких земель и их поэлементный состав в металле (железе) по сравнению с магнетитовым концентратом практически не меняются. В металле наблюдается некоторое увеличение содержания лантана и уменьшение церия. Хвосты магнитной сепарации и шлаки характеризуются сопоставимыми содержаниями редких земель; поэлементный состав редких земель в шлаках и хвостах практически тот же.

Полученные в процессе минералого-технологических исследований данные и особенности распределения редких земель в рудах и продуктах обогащения и металлургического передела дают основание отметить следующее.

Характерной особенностью вещественного состава руд Разданского железорудного месторождения является широкое распространение среди них кальция. Гранаты характеризуются содержанием кальция в пределах 30-32%, эпидот – 21-23%, а содержание в кальцит-кварц-альбитовых концентратах значительно ниже – около 10%. Интересно отметить, что содержание редких земель тоже уменьшается в этом направлении: в гранатах – 0,0242-0,0287%, эпидотах – 0,0192-0,0274 и кальцит-кварц-полевошпатовых концентратах – 0,0093-0,0186%.

Содержания редких земель и тория в продуктах металлургического передела руд Разданского месторождения

Редкие земли и торий	Содержание, %			
	Продукты обогащения (НИГМИ)		Продукты металлургического передела магнетитового концентрата (ВИМС)	
	Магнетитовый концентрат	Хвосты магнитной сепарации	Металл (железо)	Шлак
Лантан, La	15	13,5	23,9	9,4
Церий, Ce	69,3	31	52,5	25,5
Неодим, Nd	7	10,8	7,2	11,1
Самарий, Sm	–	24,2	–	23
Гадолиний, Gd	–	2,4	–	3,2
Эрбий, Er	–	0,9	–	1,4
Тулий, Tm	1,1	0,3	1,2	0,5
Иттербий, Yb	1,8	0,7	1,9	1,2
Иттрий, Y	5,8	13,5	3,8	21,3
Торий, Th	–	2,7	9,5	3,4
ΣTR+Th	0,00435	0,01484	0,00419	0,01175
Сумма	100	100	100	100

Можно констатировать, что прослеживается прямая зависимость между содержанием кальция и редких земель (рис. П.9). Такая зависимость закономерна, т.к. значительная часть редких земель обычно рассеивается в минералах кальция. Специальные геохимические исследования показали, что минералы крупных по ионному радиусу катионов (Sr, Ba, K и Ca) обогащаются редкими землями цериевой группы, а минералы более мелких катионов (Mn, Fe, U, Zr) – элементами иттриевой группы. В рудах Разданского месторождения замещение кальция происходило редкими землями цериевой группы: в гранате и эпидоте содержатся от 73,9 до 78,5%, а в кальцит-кварц-альбитовых мономинеральных концентратах – от 87 до 90%. Причем, во всех мономинеральных концентратах элементный состав редких земель постоянен.

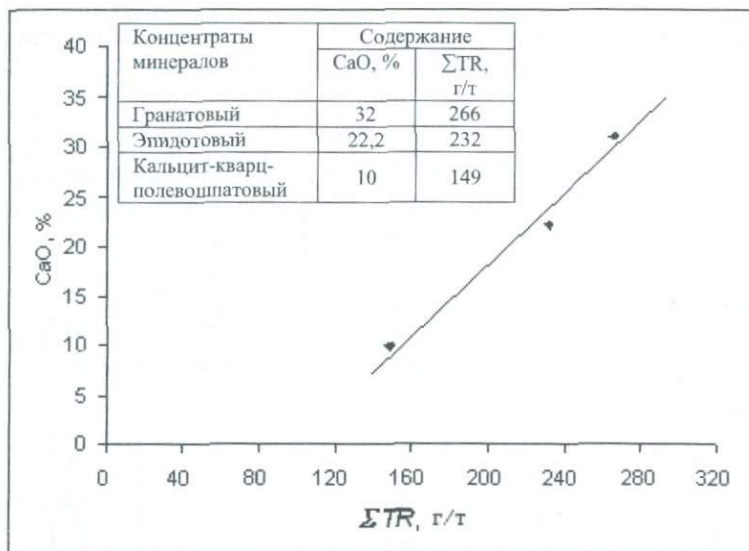


Рис. II.9. График зависимости содержаний редких земель от содержаний CaO в мономинеральных концентратах Разданского месторождения редкоземельно-золото-магнетитовых руд. 1—гранатовый, 2—пироксен-эпидотовый, 3—кальцит-кварц-полевошпатовый концентраты.

Выше было отмечено, что содержание редких земель в магнетитовом концентрате составляет 0,0057-0,0069% при содержаниях элементов цериевой группы 84,2-92,6% (среднее 88,4%). Исследования специалистов ВИМС-а (Глухоедов Н.В., Абулевич В.К., Наумова Э.Н.) показали, что, **во-первых**, незначительные содержания граната, эпидота и кальцита в магнетитовых концентратах не могут быть тому причиной, и, **во-вторых**, образование магнетита происходит путем замещения граната, пироксена и эпидота (?). Данные табл. II.56 показывают, что относительные содержания лантана и церия в магнетитовом концентрате выше, чем в остальных, в то же время отсутствуют содержания самария и гадолиния, а содержание иттрия резко сокращается, т.е. устанавливается подавляющее (88,4%) содержание элементов цериевой группы – редкоземельных элементов с большим ионным радиусом, при абсо-

лютном снижении содержания суммы редких земель почти в 4 раза. Можно допустить, что в процессе замещения магнетитом граната, пироксена и эпидота, происходит вынос редких земель из последних.

Балансовые запасы железных руд по категории А+В+С₁ составляют 50,06 млн.т. с содержанием железа 31,8%, а забалансовые – 23,15 млн.т. В запасах содержание TiO₂ – 0,41%, MnO – 0,44%, S – 0,14% и P₂O₅ – 0,24%. По благородным металлам и редкоземельным элементам запасы не утверждены ввиду того, что содержания Au и Ag установлены в рудах Разданского месторождения не в результате геологоразведочных, а последующих научно-исследовательских работ, и потому не вошли в материалы подсчета запасов. Следует добавить, что в это время концепция благородно-металльности (Au, Ag, МПГ) магнетитовых известково-скарновых руд еще не имела права на существование.

Исследованиями А.И. Карапетяна "выявлена целая серия ранее неизвестных рудных минералов, среди которых **теллуриды золота, серебра**, висмута, сульфиды и сульфосоли никеля, кобальта, молибдена, висмута, а **также самородные золото и серебро**. По времени образования редкометалльная парагенетическая ассоциация минералов, так же, как и сульфидные руды, являются более поздними и в большинстве случаев наложены на продукты раннего или скарнового этапа минерализации" (Карапетян, 1972).

Что касается экономического потенциала извлечения редкоземельных элементов из разданских руд, то этот вопрос в литературе вообще не обсуждался, а сам факт наличия редких земель почти умалчивался. А производственная (геологоразведочная) организация не обратила на это серьезного внимания, учитывая их "низкие" содержания. Со временем выяснилось, что редкоземельный потенциал разданских (как и абовянских) руд имеет большой технологический и экономический потенциал по опыту месторождений-рудотипов.

По данным ведущих научно-исследовательских, проектных и технологических институтов бывшего СССР (ныне России) разведанные запасы железных руд Разданского месторождения вполне достаточны для организации производства качественных сталей и

сплавов, годовой производительностью до 150 тыс.т руды методом внедоменного производства (Механобр, ВИМС, Гипроруда, Гипромедь, Уралмеханобр, ЦНИИЧМ им. И.П. Бардина, НИГМИ и др.). В полупромышленных и промышленных масштабах на заводе "Электросталь" и экспериментальном заводе ЦНИИЧМ получены очень высокие показатели извлечения железа и доказана возможность и обоснована целесообразность получения чистого железа на уровне лучших мировых сортов электролитического железа и специальных сталей и сплавов с особо высокими физико-механическими свойствами при низком содержании вредных примесей (0,004-0,005% – С, S и P) и почти полном отсутствии легирующих цветных металлов (меди, свинца, хрома). Было получено 5т губчатого железа. Редкие земли, содержащиеся в магнетитовом концентрате, при электроплавке концентрируются в металле (табл. П.57). Предполагается, что это незначительное количество редких земель не может перестроить структуру металла и придать ему высокие качества. С другой стороны, содержания молибденита, галенита и халькопирита столь малы в руде, что при магнитной сепарации они концентрируются в хвостах и не могут влиять на качество товарной продукции. А продукция очень высокого качества. Следовательно, необходимо найти этому объяснение.

Следует учесть, что при промышленном освоении Разданского месторождения извлекаемая ценность из руд будет значительно выше в связи с содержаниями Au, Ag и МПГ с ожидаемыми запасами в несколько десятков тонн, а также содержаниями редких земель в изоморфной примеси с основными рудообразующими минералами (от 93 до 2870г/т). Технологическая схема экстракционного выделения редкоземельных элементов (по аналогии с обоянскими рудами) из хвостов магнитной сепарации обеспечивает их 95%-ое извлечение и высокую экономичность и окупаемость капитальных вложений.

Имеющийся материал по редкоземельности руд месторождений железорудной формации свидетельствует о том, что эти руды потенциально могут рассматриваться как сырье для получения редких земель, а проведенные технологические и металлургические испытания не только подтверждают целесообразность их про-

мышленного освоения, но и обеспечивают комплексное использование сырья с высокими технологическими показателями. Геолого-экономические расчеты свидетельствуют об экономической эффективности промышленного освоения Абовянского и Разданского месторождений с созданием узлов (цехов) по редкоземельному производству.

Руды месторождений железорудной формации Армении впервые выдвигаются как сырье для создания редкоземельной (редкометалльной) промышленности в Армении.

В заключение считаем нужным отметить следующее.

Мы располагаем некоторыми материалами по редкоземельности руд месторождений колчеданной формации – это медно-серноколчеданные месторождения Анкадзор и Тандзут. В рудах этих месторождений среднее содержание суммы редкоземельных элементов составляет более 38г/т (от 19 до 50г/т) по четырем пробам Тандзутского месторождения и более 60г/т по одной пробе Анкадзорского месторождения. Редкие земли преимущественно представлены элементами цериевой группы, при этом на Тандзутском месторождении – более 70%, а на Анкадзорском – более 80%. Безусловно эти данные представляют определенный интерес, т.к. эта рудная формация в основных генетических типах редкоземельных месторождений (табл. II.48, с.413) не учитывается и к тому же руды этих месторождений платиноносны (в пределах 0,2-2,0г/т). Считаем целесообразным проведение специальных минералого-геохимических и технологических исследований по редкоземельности главных рудных формаций Армении с учетом наметившейся тенденции на ведущих горнорудных предприятиях республики углубления технологических работ с целью повышения комплексности использования сырья. При этом следует учесть платиноносность руд этих месторождений.

6.2. Скандий

Скандий – металл серебристо-белого цвета с характерным желтоватым отливом. Он обычно кристаллизуется в гексагональной решетке, а при высоких температурах (>1350⁰С) устойчива

объемно-центрированная кубическая решетка. Скандий на воздухе быстро окисляется (тускнеет) с образованием тонкой защитной пленки (Sc_2O_3), которая препятствует дальнейшему углублению процесса окисления. Он обладает ярко выраженными металлическими свойствами и имеет высокую химическую активность; легко взаимодействует с растворами HCl , H_2SO_4 и HNO_3 , но не реагирует с H_2O даже при кипячении; не растворяется в разбавленных минеральных кислотах; характеризуется слабыми парамагнитными свойствами. Скандий – типичный литофильный элемент и характеризуется трудной восстановимостью до металла, поэтому самородный скандий в природе не встречается. Во всех природных соединениях Sc так же, как и его аналоги (Al, Y, La), всегда встречается в виде трехвалентного катиона и не участвует в окислительно-восстановительных реакциях. Двухвалентные соединения скандия получаются искусственным путем. Искусственно получено 12 радиоактивных изотопов с периодами полураспада от 0,22 сек. (^{40}Sc) до 84 дней (^{46}Sc). Стабильным изотопом скандия является ^{45}Sc , но промышленное значение имеет изотоп ^{46}Sc . Скандий легко образует комплексные соединения. Комплексообразующее свойство скандия проявляется сильнее, чем у редкоземельных элементов. В этом отношении он похож на цирконий, гафний и торий. Скандий часто образует ряд соединений с другими элементами (галогидные, серно-кислые, углекислые и др. соли). Окись скандия (Sc_2O_3) – представляет собой нерастворимый в воде белый тугоплавкий порошок. Кларк скандия в земной коре 10г/т (Борисенко, 1961, 1989; Борисенко, Комиссарова, Поликашина, 1999).

Скандий – это стратегический металл особой важности. Данные о его месторождениях и производстве весьма ограничены.

В настоящее время известны 5 собственных минералов скандия. Из них четыре представлены силикатами, а один – фосфатом. Минералы скандия в природе очень редки и встречаются в виде мелких выделений, кроме тортвейтита, образующего значительные скопления.

1. Тортвейтит – $(\text{Sc}, \text{Y})_2 \text{Si}_2\text{O}_7$ (Sc_2O_3 – 34,32-41,9%), серовато-зеленого цвета. Цирконсодержащая разность тортвейтита – бэфанамит – $(\text{Sc}, \text{Zr})_2 \text{Si}_2\text{O}_7$.

2. Баэцит – $\text{Sc}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{Sc}_2\text{O}_3 - 14,44\%)$ – скандиевый силикат берилла, лазурно-синий, голубой, слабо-зеленоватый.

3. Кольбекит – $\text{ScPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Sc}_2\text{O}_3 - 39,22\%$), бесцветный или желтоватый, зеленоватый. Разновидность стерреттит, содержащий бериллий, кальций и кремний.

4. Каскандит – $\text{CaScSi}_3\text{O}_8(\text{OH})$, бледно-розовый.

5. Джервисит – $\text{NaScSi}_2\text{O}_6$ ($\text{Sc}_2\text{O}_3 - 18,48\%$), светло-зеленый.

Все силикаты скандия обнаружены в гранитных пегматитах, гранитах, метасоматитах и только кольбекит – в фосфатных месторождениях. Из них лишь тортвейтит из гранитных пегматитов используется в качестве скандиевого сырья (Ивеланд, Норвегия; Бефанамо, Мадагаскар), а в перспективе возможно получение тортвейтитового концентрата из метасоматитов (Кумаи, РФ).

Часто большим распространением пользуются минералы-носители скандия, где он представлен в виде изоморфной примеси. Это в основном галоиды (флюорит, галит), окислы и гидроокислы (титаномагнетит, магнетит, хромит, гематит, касситерит), вольфраматы, карбонаты, фосфаты и силикаты. В незначительном количестве Sc установлен в сульфидах (пирит, марказит, сфалерит, пирротин, борнит, халькопирит, молибденит) и сульфатах (барит, алунит). Промышленные типы скандийсодержащих руд приводятся в табл. II.58.

Общая перспективная оценка месторождений различных генетических типов сводится к следующему.

1. Известные месторождения собственных минералов скандия по масштабам не могут решить проблему скандиевого сырья.

2. Наиболее перспективными являются месторождения, в которых скандий содержится в виде изоморфной примеси от 0,00п до 0,п%. Основная доля получения попутного скандия падает на производство Fe, U, Th, Al, W, Sn, Nb, Ta, Li, TR, Zr, Be. Разработаны технологические схемы получения Sc при производстве W, Sn, Be, U, TR. Значительное увеличение добычи скандия обеспечат разработка и внедрение технологической схемы его попутного извлечения при производстве Fe, Al, Zr.

3. Определенный интерес представляет зола каменных уг-

лей и нефтей.

4. Одним из перспективных источников скандия являются огромные ресурсы железорудных титаномагнетитовых месторождений, генетически связанных с массивами ультраосновных пород.

Мировые запасы скандия в урановых и вольфрамовых рудах составляют примерно 2400 т. Значительные запасы скандия заключены в рудах целого ряда металлов (Fe, U, Al, Ti, Zr, W, Sn), а также в фосфатном сырье. Ориентировочные запасы руды оцениваются в 0,5-1,8 млн. т. Более 90% запасов скандия заключены в бокситах, титановых рудах и фосфоритах. Весьма значительные запасы сосредоточены в титаномагнетитовых пироксенитах (качканарский тип), в которых среднее его содержание составляет 0,01%. Значительные запасы скандийсодержащих руд обнаружены в Норвегии. Высокие концентрации скандия были обнаружены в карбонатах. В породах массива Фен среднее содержание скандия в раухаугитах составило 52 г/т, в редберге – 73 г/т. Скандий концентрируется в тортвейтите, колумбите и рутиле.

В Северной Норвегии, в районе Финнмарк, находится уникальное месторождение тортвейтита. Он содержится в виде включений в аксессуарном давидите наряду с хромитом, рутилом и урановыми минералами в породе, состоящей на 90% из альбита. Месторождение локализуется в зеленокаменном поясе Каутокейно. Запасы оценены в 5 т скандия.

На севере Норвегии находится другое крупное месторождение титаномагнетитов – Сэлведж, с запасами руды 200 млн. т, при общих запасах скандия 5 т и среднем содержании 57 г/т. На юге Норвегии обнаружено крупное скандийсодержащее месторождение, по запасам в несколько раз превышающее запасы Сэлведж, но оно находится в Национальном заповеднике, что делает невозможным его промышленное освоение.

Анализ имеющегося материала показывает, что в современных условиях основными сырьевыми источниками для получения скандия являются ураноносные кварц-биотитовые метасоматиты с давидитовой минерализацией (Радиум-Хилл, Австралия), фосфатные месторождения костного детрита (Меловое и др. Казахстан), ильменитовые руды, обогащенные скандием (Стремигордское и

**Промышленные типы скандийсодержащих руд
(Минеральное сырье. Скандий, 1999)**

N/N n/n	Генетический тип месторождения	Промышленный тип руд	Минералы-концентраты, основные компоненты, попутные	Минеральный тип руд	Содержание скандия, %		Запасы скандия, т	Примеры месторождений (выделены эксплуатируемые)
					в руде	в концентрате		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Магматический	железородный в пироксенитах и горнблендитах	диопсид, роговая обманка; основн. – Fe, V; попутн. – -	титаномагнетитовый	0,008-0,013	0,012-0,013	до сотен тыс.	Гусевогорское, Качканарское (РФ)
		титановый в габброидах	ильменит; основн. - Fe, V, Ti; попутн. - P	ильменитовый, ильменит-титаномагнетитовый	0,007-0,13	-	тысячи-десятки тыс.	Большой Сейим (РФ), Стремгородское (Украина)
2.	Карбонатитовый	железородный в ультрамафитах	бадделейт, пироксен; основн. – Fe; попутн. – Zr, TR	апатит-магнетит-форстеритовый	0,001-0,01	0,05-0,06 0,08-0,015	тысячи	Ковдор (РФ)
3.	Пегматитовый	редкометалльный пегматит	тортвейтит, эвксенит; основн. – Sc; попутн. – Zr, TR, Y, Ta, Nb	тортвейтитовый	0,01-0,03	20-24	десятки-сотни, кг	Бэфанамо (о.Мадагаскар), Ивеланд (Норвегия)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.	Грейзеновый	вольфрам-оловянный в грейзенах	вольфрамит, касситерит; основн. – W, Sn; попутн. – Be	вольфрамитовый и касситеритовый	0,001-0,02	0,07-0,1	до десятков	Шерлова Гора (РФ), Кара-Оба, Акчатау (Казахстан)
5.	Гидротермально-метасоматический	ураноносный кварц-биотитовый метасоматит	давидит; основн. – U; попутн. – V, TR	давидитовый	0,008-0,05	до 0,17	нет сведений	Радיום-Хилл (Австралия)
		ураноносный карбонат-натриевый метасоматит	эгирин; основн. – U; попутн. – V, Y, TR	уранитит-браннеритовый	до 0,05	0,1	тысячи	Желтореченское (Украина)
		скандиеносный метасоматит	тортвейтит, эгирин; основн. – Nb, Sc; попутн. – TR, Zr	тортвейтитовый	до 0,07	до 0,1	сотни	Кумир (РФ), Кристл-Маунтинс (США)
6.	Метаморфогенный	ураноносный кварцевый конгломерат	браннерит, уранинит; основн. – U; попутн. – Au, Th	браннерит-уранинитовый	0,006-0,008	~0,05	нет сведений	Блайнд-Ривер (Канада)
		железо-титановый в габбро-амфиболитах	ильменит; основн. – Fe, Ti; попутн. – V, Ga	ильменит-магнетитовый	0,003-0,005	~0,008	сотни	Кусинское (РФ), Отанмяки (Финляндия)
7.	Инфильтрационный	ураноносный песчаник	метатюамунит, браннерит; основн. – U; попутн. – V, Sc	метатюамунит-браннеритовый	0,001-0,01	-	десятки, сотни	Добровольное (РФ), Амброзия-Лейк (США)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8.	Выветривания	остаточный на карбонатитах	пирохлор, монацит, ксенотим; осн. – Nb, TR, Y; попутн. – P	пирохлор-монацит-ксенотимовый	0,005-0,05	0,008-0.1 0,15-0.2	десятки тысяч	Томтор (РФ)
		остаточный на габброидах	ильменит; осн. – Ti; попутн. – P	ильменитовый, ильменит-апатитовый	0,003-0,05	0,008	сотни	Коростеньский Плутон (Украина)
9.	Россыпи	прибрежно-морской титан-циркониевый	ильменит, рутил, лейкоксен, циркон; осн. – Ti, Zr; поп. – V, Ga, TR	ильменит-рутил-цирконовый	0,001-0,01	0,007-0,01	сотни	Туганское (РФ), Мальшевское (Украина)
		аллювиальный титановый	ильменит, лейкоксен; осн. – Ti; попутн. – P	ильменит-лейкоксеновый	0,001-0,01	~0,01	сотни	Иршинское (Украина)
10.	Осадочный	бокситовый	бемит, гиббсит; осн. – Al; попутн. – V, Ga	бемит-гиббситовый	0,0006-0,01	-	сотни-тысячи	Красная Шапочка, Ново-Кальинское и др. (РФ)
		фосфатный	карбонат-фторапатит; осн. – U Sc; попутн. – TR	карбонат-фторапатитовый	0,001-0,01	0,01-0,015	сотни-тысячи	Степное (РФ), Меловое (Казахстан)

др. Украина), касситеритовые и вольфрамитовые руды в грейзенах (КНР), бокситы (с содержанием скандия до 0,01%). При переработке по методу Байера скандий переходит в красный шлам – сырье скандия с содержанием Sc_2O_3 0,015%, каменные и бурые угли, содержащие 0,0005-0,04% скандия (Подмосковный, Донецкий и др. бассейны) (Борисенко, Комиссарова, Поликашина, 1999). Источником попутного извлечения скандия в КНР служат вольфрамовые, оловянные, бериллиевые и магнетитовые руды. В Чехии сырьем для получения скандия являются вольфрамиты, в которых содержание Sc колеблется от 0,05 до 1%.

В США до 1980г. основным сырьем для получения скандия служили хвосты переработки урановых руд, в которых скандий концентрировался в железосодержащих шламах. В конце 90-х годов XXв. в США сырьем для получения скандия служили:

- тортвейтит – из хвостов флюоритового рудника Кристл Маунтинс в окрестностях г. Дарри (шт. Массачусетс). Тортвейтит приурочен к периферийным радиоактивным зонам пегматитовых тел необычного типа, включающих флюорит и кварцевое ядро. В радиоактивных зонах, состоящих из темнопурпурного флюорита и биотита, аксессуарные минералы представлены тортвейтитом, сфеном, кварцем, олигоклазом, апатитом, амфиболитом, фергусонитом, торианитом. Пегматитовые тела локализуются в грубозернистых биотитовых гранитах, которые содержат ксенолиты биотит-кварц-плагиоклазовых и роговообманково-плагиоклазовых гнейсов;

- скандиевый концентрат, получаемый попутно с урановым при переработке хвостов медных руд на руднике Бингхем Кеньон (шт. Юта);

- скандийсодержащий вольфрамовый концентрат медно-молибденового рудника Клаймакс (шт. Колорадо), а также месторождение кольбекита (стерреттита) в Ферфильде (шт. Юта);

- скандийсодержащие отходы и загрязненные смеси компании Мидим (шт. Колорадо; Урбанайс, шт. Иллинойс; Гарфильд, шт. Нью-Джерси).

В США перерабатывается как местное, так и привозное сырье.

Одним из наиболее перспективных источников скандия в

США считаются фосфориты, поскольку они концентрируются в технологическом процессе получения фосфорной кислоты. Ежегодное производство скандия из фосфоритов Флориды оценивается в десятки тонн.

Высокие концентрации скандия (0,01-0,8%) вплоть до образования собственного минерала стерреттита (кольбекита) были известны в фосфатных рудах (формация Фосфория) брекчированной зоны в известняках (месторождение Ферфильд, шт. Юта). Среднее содержание скандия в рудах, состоящих из крадоллита, варисцита, кремнезема и лимонитизированной глины, составил в пределах 0,1% (Борисенко, 1961, 1989; Mineral commodity summaries, 1995; Mineral summary, 2000).

Из различных видов сырья чистый скандий производят в РФ, Казахстане, на Украине, в США, Норвегии, Канаде, Австралии, Франции, КНР. Производственные мощности получения очищенного оксида скандия составляют в США 500кг, в Норвегии – 120кг, во Франции – 100кг, в КНР – около 60кг.

Мировое потребление скандия в год исчисляется десятками кг. В середине 80-х годов XXв. в США потребление скандия составило 45кг. Весьма существенно на мировом рынке увеличился спрос на скандий и достиг в конце 80-х годов 32,5кг, что объясняется использованием металла в лазерах на галлий-скандий-гадолиниевом гранате. В настоящее время годовое потребление скандия превышает 100кг. Извлекаемая ценность скандия весьма большая. Цена 1кг чистого скандия (99,999%) варьирует в широких пределах и в среднем составляет 90-100 тыс.долларов США. Во всем мире основная продукция скандия представлена: металлическим скандием (99,9%) и его прокатом; лигатурой Al-Sc, оксидом Sc_2O_3 различной степени чистоты (99,99%-99,999%). В России выпускают металлический скандий в виде слитков или кристаллического порошка с размерами кристаллов 0,1-25мм. Алюминиево-литиевые сплавы содержат 3% скандия, прочность и коррозионная стойкость которых при этом в несколько раз повышается. Al-Sc сплавы обладают также высокой радиационной стойкостью, что дает основание их использовать в термоядерных реакторах. Особенно эффективна добавка карбида скандия к карбиду титана, что приводит к по-

вышению твердости до твердости алмаза. Сплавы Mg-Sc (10%) являются высокоэффективными для водородной энергетики (Минеральное сырье. Скандий, 1999).

Скандий широко используется в противоракетных системах безопасности, в исследованиях по термоядерному синтезу, в керамических сверхпроводящих металлах, в производстве легких сплавов для аэрокосмической техники. Он находит свое применение в мощных металлогалогенных лампах (в Японии – до 50%), применяемых при записи цветных телепрограмм, в освещении стадионов, в качестве трассанта при крекинге нефти (радиоактивный изотоп ^{46}Sc), в производстве оборудования связи. Потребление скандия трудно прогнозируется и в значительной степени зависит от политических факторов.

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 скандиенности. При этих исследованиях мы исходили из того, что, **во-первых**, как уже было отмечено выше, в США скандий извлекали из серосодержащих хвостов медных руд рудника Бингхем Кеньон, а также скандий-содержащих 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; **в-третьих**, мы рассмотрели возможность концентрации скандия в терригенно-углеродистых отложениях. Вполне естественно, что нами были выделены три формации на предмет изучения их скандиенности. Это – медно-молибденовая формация (Каджаран, Личк), золото-рудная формация (Сотк), а также углесланцевые отложения (бурые угли). Анализы выполнены в специализированных лабораториях РФ: в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (Москва) методом эмиссионного приближенно-количественного спектрального анализа, в Геологическом институте Коль-

ского научного центра РАН (Апатиты) методом полуколичественного спектрального анализа, в Институте химии и технологии рудных элементов и минерального сырья Кольского научного центра РАН (Апатиты) методом спектрального количественного анализа. Анализы проведены также в Бронницкой ГРЭ ИМГРЭ (Москва), в Ленинградском университете и в ИГН НАН РА. Полученные данные дают основание отметить следующее:

1. По данным аналитических исследований установлено содержание скандия в рудах Соткского золоторудного, Каджаранского и Личкского медно-молибденовых месторождений, а также в бурых углях. Содержание скандия в Соткских рудах составляет 5-6г/т, а в окисленных рудах – до 15-20г/т. 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). Как показали результаты спектрального анализа, в бурых углях основания среднего эоцена скандия содержится в пределах 15-20г/т (по данным 14 анализов).

2. Сопоставление полученных данных с вышеприведенными литературными данными показывает, что с учетом имеющихся технологических схем переработки скандийсодержащих руд 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 Акоюян А.О., запасы скандия в балансовых рудах Каджаранского месторождения составляют свыше 30 тыс.т, из них извлекаемые – около 90т 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. Скандиеносность руд Соткского и Личского месторождений нуждается в изучении на втором этапе.

4. В мировой практике (США) разработана технология извлечения скандия из железосодержащих хвостов, аналогичных каджаранским. Разработаны эффективные технологии очистки окиси скандия до чистоты 99,999% с использованием метода ионообменной хроматографии (США) и газового гидрофторирования оксида скандия (Россия). По мнению российских технологов, в настоящее время наиболее надежным и крупномасштабным источником скандия могут служить отходы обогащения (хвосты мокрой сепарации) железованадиевых руд Гусевгорского месторождения (Качканарский ГОК, Свердловская обл.), в которых концентрация скандия достигает десятки г/т. Объем накопленных отвальных хвостов (более 800 млн.т) при ежегодном приросте отвалов свыше 40 млн.т сопоставим с крупным месторождением. Извлечение Sc из этого сырья долгое время представлялось невозможным. В настоящее время разработана технологическая схема, обеспечивающая извлечение в раствор 70-80% скандия при сернокислотном выщелачивании с получением товарного оксида скандия и последующей экстракционной переработке технологических растворов методом газового гидрофторирования (Шаталов, Никонов, Соловьева, Паршин, 2003). Данная технологическая схема приемлема и для отвальных хвостов Зангезурского медно-молибденового комбината. Ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды Сваранцкого месторождения, приуроченные к массиву ультраосновных пород дунит-пироксенит-габбровой формации, могут быть потенциальным источником скандия (ожидаемое содержание – 0,01%).

5. Необходимо провести форсированное изучение скандийсодержащих бурых углей и всей толщи терригенных образований (содержащих в среднем 0,0018% скандия) с учетом благоприятных

географо-экономических и горно-технических условий и возможностей открытой добычи без проведения буровзрывных работ. Скандий здесь тесно связан с редкоземельными элементами – иттрием и иттербием.

Скандий относится к элементам неясной токсичности и биологичности. Токсичность скандия пока не доказана, но условно он отнесен к группе элементов III класса опасности. Ориентировочный безопасный уровень воздействия оксида скандия в воздухе рабочей зоны – 4 мг/м^3 . Скандий не накапливается в организме человека, в растениях, следовательно, и в живых организмах. В речных водах содержится $0,004 \text{ мкг/л}$ скандия, в воздухе над океаном – $2 \cdot 10^{-5} \text{ мкг/л}$. При этих значениях вредного влияния не обнаружено.

**Глава 1. ИЗУЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ И СОСТОЯНИЕ
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ**

Необходимость возобновления комплексных геологических исследований и коренной переоценки ресурсного потенциала радиоактивного сырья Армении диктуется рядом обстоятельств, которыми обусловлено бесперебойное функционирование топливно-энергетической системы республики на сегодняшний день и в перспективе.

Принципиальное значение приобретает снабжение сырьем действующей ныне Мецаморской и тем более проектируемой (начата разработка ТЭО строительства) атомных электростанций. Следует учесть, что необходимость периодической закупки у России радиоактивного топлива и огромные затраты на усовершенствование технологических конструкций, обеспечивающих экологическую безопасность, а также безопасное захоронение отходов явились основной причиной передачи Мецаморской АС Армении под управление России. С другой стороны, после распада советской системы Россия в определенной степени лишилась традиционно базовых источников первичного радиоактивного сырья и поэтому в настоящее время проводит целевую геополитику по поиску новых источников остродефицитного сырья для обеспечения сырьевыми ресурсами свои современные потребности и новые строящиеся (в т. ч. за рубежом) атомные электростанции. Поэтому возобновление геологических исследований и переоценка радиоактивных ресурсов Армении становятся архиважными и приобретают стратегическое значение, поскольку они, с одной стороны, будут способствовать удовлетворению энергетического спроса Армении в этом сырье, с другой – реализации в будущем ряда региональных программ совместно с Россией.

На этой основе в 2007г. между правительствами России и Армении было заключено соглашение о совместном проведении геологоразведочных и добычных работ, а также переработки руд

ранее опосредованных и частично разведанных экспедициями Мингео СССР рудопоявлений (месторождений), наиболее перспективных на уран и торий. В апреле 2008г. Армения и Россия подписали Договор о создании совместного горнорудного предприятия по геологической разведке урана на территории РА. Договор подписали министр охраны природы РА Арам Арутюнян и генеральный директор ОАО “Атомредметзолото” (дочернего предприятия “Росатом”-а) Вадим Живов. Совместное предприятие создается в качестве ЗАО на паритетных началах в капитале (50/50%), и российская сторона пока не планирует увеличения своей доли в этом предприятии. Геологоразведочные работы на уран намечено начать в Сюникской области Южной Армении в 2008г.

При советской власти в 50-х годах Армения рассматривалась как перспективный район на радиоактивное сырье, однако позднее основные интересы сместились и были нацелены на открытие и освоение некоторых крупных месторождений Средней Азии и востока России.

Управление геологии Армении осуществляло массовые поиски по всей территории республики в рамках обеспечения кондиционности геологического картирования, а специализированные выездные экспедиции Мингео СССР вели работы по обнаружению радиоактивного сырья (с 1948г. – Громовская, а в 1965-1975гг. – Кольцовская экспедиции). К сожалению, в геологических фондах Армении сохранились только результаты массовых поисков (радиометрия, аэрогаммасъемка, автогаммапоиски и т.д.), а первичные материалы Кольцовской и Громовской экспедиций были переведены в Центральный архив Северного Кавказа (г.Ессентуки).

После прекращения проводимых в Армении геолого-разведочных работ на радиоактивное сырье возникла ощутимая трещина между проведенными ранее работами и перспективными задачами, выдвигаемыми на нынешнем этапе социально-экономического развития республики, поскольку категорично ставится вопрос о закрытии действующей Мецаморской атомной электростанции и строительстве новой.

Имеющиеся фактические материалы свидетельствуют о том, что в ближайшие годы, при условии соответствующего финан-

сирования, в республике можно создать необходимые для атомной энергетики запасы рудно-топливного сырья, которые обеспечат эту отрасль и в будущем. С этой целью необходимо выделить перспективные на радиоактивное сырье рудные поля, месторождения и их участки для проведения первоочередных поисково-разведочных работ, технологико-экономической оценки целесообразности их промышленного освоения.

Имеющийся материал по закономерностям размещения уран-ториевого оруденения, парагенезис минералов, геолого-структурные условия локализации, вещественный и физико-химический состав рудовмещающей среды свидетельствуют о том, что **рудоконтролирующие узлы рудно-магматических систем генетически едины** как для месторождений меднорудных, медно-молибденовых и золотополиметаллических формаций, так и для уран-ториевого оруденения. Отсюда необходимость комплексного подхода к изучению перспективных рудно-магматических систем, в особенности в пределах крупных разведанных или эксплуатируемых месторождений одной из формаций. Уран-ториевое оруденение, по-видимому, формируется на более поздних этапах развития рудогенной системы.

В мировой практике ведущее место по запасам и добыче занимают уникальные месторождения "несогласия". Запасы на этих месторождениях достигают 140000 (Сигар-Лейк, район Атабаска, Канада) – 200000 (Макартур-Ривер) тыс.т, при среднем содержании урана от 11,5 до 18,5%. Месторождения "несогласия" наиболее детально разведаны и обрабатываются в Канаде (районы Атабаска и Аллигатор-Ривер), Австралии, России (Карку, северо-восточное Приладожье), Южной Африке (Витватерсранд). Годовая добыча урана в Канаде составляет около 18000т, что в принципе равно половине мировой добычи.

Следует учесть, что обрабатываются и другие типы урановых месторождений – гидротермальные, инфильтрационные и осадочные.

В России известно около 100 урановых месторождений. Они преимущественно располагаются в пределах известных горнорудных районов с подготовленными к обработке месторождениями

Таблица III.1

Добыча урановых руд по странам мира
(по содержанию урана, тонн)

Страна	Год				
	2001	2002	2003	2004	2005
Канада	12520	11604	10457	11597	11628
Австралия	7756	6854	7572	8982	9519
Казахстан	2050	2800	3300	3719	4357
Россия	2500	2900	3150	3200	3431
Намибия	2239	2333	2036	3038	3147
Нигер	2920	3075	3143	3282	3093
Узбекистан	1962	1860	1598	2016	2300
США	1011	919	779	846	1039
Украина	750	800	800	800	800
Китай	655	730	750	750	750
ЮАР	873	824	758	755	674
Чехия	456	465	452	412	408
Индия	230	230	230	230	230
Румыния	85	90	90	90	90
Германия	27	212	150	150	77
Пакистан	46	38	45	45	45
Франция	195	20	0	7	7
Бразилия	58	270	310	300	...
Всего в мире	36366	36063	35613	40219	41595

Таблица III.2

Пять крупнейших уранодобывающих центров мира
(2005г.)

Рудник	Страна	Способ добычи	Добыча, т	% от мировой добычи
Макартур-Ривер	Канада	подземный	7200	17,3
Рейнджер	Австралия	открытый	5006	12,0
Олимпик-Дам	Австралия	подземный	3688	8,9
Рессинг	Намибия	открытый	3147	7,6
Группа рудников Приаргунского производственного горно-химического объединения (ППГХО*)	Россия	подземный	3000	7,5

* ППГХО разрабатывает Стрельцовское месторождение несколькими шахтами.

или эксплуатируемыми. Такими рудными полями являются Стрельцовское (Восточное Забайкалье), Зауральское и Витимское. На Стрельцовском рудном поле рудные тела локализируются в различной структурной обстановке и в различных породах кальдеры и ее фундамента. В процессе рудообразования выделяются три стадии: от нижней-средней юры до нижнего мела. Концентрация урана происходила на ранней стадии с внедрением лейкогранитов (Бойцов, 2003). По данным А.Р. Лещина, В.Н. Величкина, М. Кюне и других исследователей, накопление урана происходило при магматической дифференциации и высокотемпературной гидротермальной деятельности в течение одной стадии широкого диапазона глубин (от 150 до 2000м), при температурах от 180 до 250⁰С (редко 380⁰С) из бикарбонатно-хлоридных растворов с низким содержанием углекислоты (Алешин и др., 2003).

Кроме того, в России имеются 10 урановорудных резервных (бывших) районов с общими разведанными запасами урана более 500000т. Это в основном месторождения жильного, вулканогенного и метасоматического типов с невысокими содержаниями урана.

Следует учесть, что в России открыто первое месторождение типа “несогласия” (Карку) в юго-восточной части Балтийского щита, на северо-восточном Приладожье. Месторождение расположено в непосредственной близости от поверхности “несогласия” между кристаллическими архей-протерозойскими породами фундамента и рифейскими гравелито-песчаниками протоплатформенного чехла (Бойцов, 2003).

Характерными геотипами для месторождений Армении могут служить урановые месторождения области Арлит Нигерии, к западу от г.Эйр. Месторождения характеризуются запасами урана порядка 160 тыс.т с содержанием урана 0,2-0,5%, при глубине оруденения 200м. Месторождения обрабатываются компаниями Коминак (44 тыс.т U) и Сомар (50 тыс.т U) подземными и открытыми способами. На месторождении Акута наряду с ураном в рудах присутствуют Mo, V, Zr и Zr, причем содержание ZrO₂ (бадделейт) в настуране составляет более 3%. На месторождениях Гузумат и Тарат рудные минералы представлены настураном, хлоритом, кор-

ренситом, иордзитом, монтрозеитом, пиритом, марказитом, сфалеритом (Бирка и др., 2003). Парагенезис минералов предполагает щелочной вулканический источник элементов. Наиболее вероятными являются вулканические комплексы (пермо-юрские), обогащенные ураном, широко распространенные в районе г.Эйр, в особенности витрокластические туфы с содержанием урана 0,0015-0,0020% и большим количеством циркония – 0,1-0,25%. Уран и другие элементы, по-видимому, выщелочены из тонкозернистых туфов и локализованы на окислительно-восстановительных барьерах, при значительной роли литологического контроля (Казоулат, 1985). Структурный и тектонический контроль ярко выражен приуроченностью урановых месторождений к зоне крутопадающего разлома Арлит-Ин-Азава и их локализацией в разрывно-складчатых оперяющих сингенетических структурах.

Приведенная выше краткая характеристика месторождений-аналогов и перспективных урановорудных регионов с месторождениями типа “несогласия” свидетельствует о том, что армянский регион представляет определенный интерес на радиоактивное сырье с учетом комплексного характера урансодержащих руд, с одной стороны, и с другой – локализации урана в рудах разведанных и эксплуатируемых месторождений различных формаций в пределах крупных горнорудных центров с развитой инфраструктурой и резервами для организации редкометалльного производства.

Уточнение перспективности рудных формаций Армении на радиоактивные элементы имеет в настоящее время стратегическое значение, т.к. Россия в принципе лишилась традиционно базовых объектов (Таджикистан, Киргизия, Казахстан) топливно-энергетического комплекса АЭС. С другой стороны, для Армении радиоактивное сырье является важным аргументом развития исследований оборонного и гражданского назначения, а также источником валюты. Следует учесть, что имеется большая потребность в радиоактивном сырье в странах Ближнего Востока (в особенности в Иране), основным поставщиком которого является Россия. Наличие автотранспортной связи между Арменией и Ираном во многом может облегчить поставку этого сырья через Армению. С другой стороны, в непосредственной близости от этой магистральной

автодороги в Мегринском и Капанском районах Армении имеются значительные ресурсы урановых руд. Возобновление геологоразведочных работ на этих объектах является неотложной задачей. Разведка и добыча этих руд может производиться совместно с Ираном или с Россией и Ираном.

Таким образом, оценка ресурсов радиоактивного сырья в независимой Армении – императив времени, который диктуется не только необходимостью обеспечения потребностей атомной энергетики, но и развитием новых областей технологии, науки и производства, одновременно способствуя развитию военной промышленности и гарантии безопасности страны.

На территории Армении, по материалам ранее проведенных геологоразведочных работ, условно можно оконтурить 4 крупных района, перспективные на радиоактивные элементы (рис. III.1).

1. Сюникский (Зангезурский) район – междуречье Воротан-Охчи-Аракс в зоне Зангезурского глубинного разлома, выраженной парой региональных нарушений северо-западного простирания – Дебакли-Айригетским и Хуступ-Гиратагским.

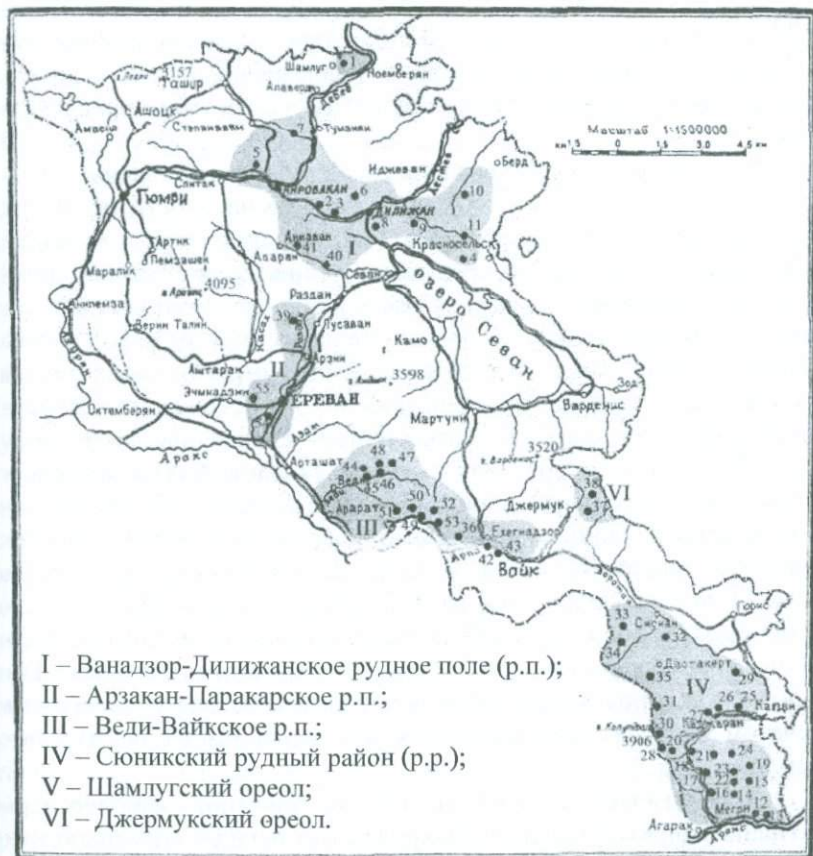
2. Ванадзор-Дилижанский (Памбакский) район – междуречье Дебед и Агстев в пределах Севано-Ширакского синклинория (зона Эрзинджан-Севанского глубинного разлома).

3. Арзакан-Паракарский район – бассейн р.Раздан субмеридионального (север-северо-восточного) простирания.

4. Веди-Вайкский (Араксинский) район – левобережье р.Аракс (зона Араксинского разлома) и бассейн ниже-среднего течения р.Арпа.

Кроме того, выделяются также 2 небольших ореола: Шамлугский и Джермукский. Первый фактически является северным продолжением Ванадзор-Дилижанского, а второй – северо-восточной ветвью Веди-Вайкского перспективных районов.

На основании имеющихся материалов на территории республики выделены опоискованные площади, перспективные на уран и торий (Кочарян, 1969). Однако эти материалы не привязаны к действующим горнорудным предприятиям или крупным детально разведанным месторождениям с учетом комплексного освоения ресурсов. Это имеет принципиальное значение, т.к. на данной стадии изученности оконтуренные участки на оруденение урана и то-



- I – Ванадзор-Дилижанское рудное поле (р.п.);
- II – Арзакан-Паракарское р.п.;
- III – Веди-Вайкское р.п.;
- IV – Сюникский рудный район (р.р.);
- V – Шамлугский ореол;
- VI – Джермукский ореол.

Рис. III.1. Ураноносные рудные поля и рудные районы Армении

1 – Шамлугское; 2 – Фиолетовское; 3 – Маргаовитское; 4 – Айриджурское; 5 – Арчутское; 6 – Бундукское; 7 – Вардаблурское; 8 – Дилижанское; 9 – Поладское; 10 – Арчикохерское; 11 – Гетикское; 12 – Шванидзорское; 13 – Ньюадинское; 14 – Ванкское; 15 – Калерское; 16 – Джиндаринское-Айригетское; 17 – Ташгунское; 18 – Джрбанд-Кармиркарское; 19 – Сарджурское-Пирмазрикское; 20 – Мякангетское; 21 – Шлоркутское; 22 – Каджаранское; 23 – Карасарское; 24 – Даразаминское; 25 – Пхрутское; 26 – В.Андское; 27 – Аткизское; 28 – Давачинское; 29 – Арамаздское; 30 – Капутджухское; 31 – Казанличское; 32 – Толорское; 33 – Шукарское; 34 – Аравузское; 35 – Даствакертское; 36 – Каятхское; 37 – Хачинсар-Овтамечское; 38 – Зиракское; 39 – Мецзорское (Арзаканское); 40 – Лесное; 41 – Тежсарское; 42 – Гетапское; 43 – Агаракадзорское; 44 – Опасарское; 45 – Кетузское; 46 – Осеннее; 47 – Алмалинское; 48 – Майское; 49 – Элпинское; 50 – Оргукское; 51 – Зовашенское; 52 – Варданесское; 53 – Гешинское; 54 – Енгиджанское; 55 – Паракарское.

рия самостоятельного значения не представляют. Слабая минералого-геохимическая изученность и отсутствие технологических исследований не дают возможности в надлежащей форме оценить промышленное значение имеющихся ресурсов радиоактивного сырья.

Следует учесть, что сведения о радиоактивном сырье вообще и о ресурсах Армении по урану и торию в частности, не могут быть в полном объеме рассмотрены, т.к. это стратегическое сырье особой важности и информация по нему либо недостаточна, либо недоступна. Поэтому мы ограничимся лишь изложением данных общего характера, обосновывающих перспективы радиоактивных ресурсов республики с учетом возможного строительства новой атомной электростанции и ее бесперебойного обеспечения запасами радиоактивного сырья в долгосрочной перспективе. Нами проведена обзорная интерпретация имеющихся фактических данных и сделаны концептуальные обобщения. Кроме того, обобщены результаты наших личных исследований в рамках потемного государственного финансирования. В качестве товарной продукции, на данной стадии исследований, рассматривается сырье. Радиоактивные объекты на госбалансе РА не числятся, т.к. их запасы не подсчитаны и не утверждены ГКЗ РА и поэтому они нами классифицируются как проявления, хотя некоторые объекты с авторским подсчетом запасов представляются как месторождения, что неприемлемо.

С генетической точки зрения для Армении наиболее перспективны гидротермальные (Пахрут, Анд) и гидротермально-инфильтрационные (Лесное) проявления уран-молибденового, уран-полиметаллического (Каятехское рудное поле) типов. Особый промышленный интерес представляют гидротермально-инфильтрационные проявления уран-редкоземельного (уранинит-флюорит-биотитового) типа (Гежсар), а также эпитермально-инфильтрационные золото-уран-торий-железистого типа во вторичных кварцитах (Хачинсар), уран-ториевого в гранит-аплитах (Овтамеч), золото-уран-железистого типа в туфобрекчиях андезитов (Зовашен), и в конгломератах и конглобрекчиях (Нор-Аревик). Особый интерес представляют инфильтрационные (гидрогенно-хемогенные) месторож-

дения золото-уран-железистого типа в терригенно-углесланцевых комплексах Армении (Джерманис, Иджеван, Шамут, Антарамут, Нор-Аревик, Джаджур и др.). Крайне слабо изучены осадочные проявления уран-карбонатного типа (Гетап, Суренаван, Восточное), перспективы которых неясны.

Объектами первоочередной важности являются рудные поля Каджаранского медно-молибденового и Азатекского золотополиметаллического (золото-сурьма-мышьякового) месторождений. Концентрация радиоактивных элементов приурочена преимущественно к флангам рудных полей, ограниченных глубинными разломами, и генетически связана с послесреднеэоценовыми интрузивными комплексами гранодиоритового состава. Выбор этих площадей обусловлен тем, что к промышленным формациям относятся уран-молибденовые и уран-мышьяковые типы руд. Учитывая, что золотополиметаллическая формация Азатекского месторождения включает золотомышьяковый тип руд, а на участке Каютех выявлено низкотемпературное гидротермальное оруденение с содержанием урана, урановой смолки и настурана в парагенетической связи с послесреднеэоценовым итрузивом, рекомендуется проведение поисково-разведочных работ в пределах Азатекского рудного поля, с учетом перспективы промышленного освоения разведанных запасов золотополиметаллических руд. Определенные перспективы связаны с уран-молибденовыми проявлениями Пахрут и Анд, расположенных на флангах Каджаранского медно-молибденового месторождения и приуроченных к зоне Лернадзорского глубинного разлома, в экзо- и эндоконтактах Мегринского плутона.

В этом плане промышленный интерес представляют уранторий-редкоземельные руды Тежсара и уран-молибденовые руды проявления Лесное Памбакской группы, освоение которых может быть обеспечено за счет интенсивно развивающейся горнорудной инфраструктуры в пределах бассейна р.Мармарик, с учетом наличия крупных запасов золотоносных, медно-молибденовых и золото-железистых и титаномагнетитовых руд.

В настоящем обзоре использованы имеющиеся на сегодняшний день литературные и фондовые материалы. Особенно отметим фондовые материалы А.Е. Кочаряна, Б.И. Пигульского, В.В.

Типизация уран-ториевых руд проявлений (месторождений) Армении

N/N п/п	Генетический тип проявления (месторождения)	Типы руд	Минеральный состав руд	Элементный состав	Морфология рудных тел	Вмещающие породы	Примеры прояв- лений (место- рождений)
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Гидротермаль- ный, низкотем- пературный	1.1. уран-мо- либденовый тип	настуран, антимонит, галенит, сфалерит, арсенопирит, пирит, молибденит, халько- пирит, урановая чернь, отениг, тор- бернит, уранофан, цейнерит, трейгерит, карбонаты, кварц, халцедон	U, Mo, Cu, Pb, Zn, Sb, As, Ni, Co, U – 0,01-0,3%	прожилки, линзы, столбо- образные тела, гнезда, реже вкрапленники	гранитоиды, метасоматиты и роговики	<i>Зангезурская группа,</i> Пахрутское, Анд- ское, Даразами, Джркап, Кармиркар
		1.2. урано- вый тип (с галенитом)	отениг, торбер- нит, уранофан, урановая чернь, настуран, галенит	U, Pb U – до 0,03%	прожилки, вкрапленность и гнезда в тек- тонических зо- нах	экструзии са- нидиновых трахитов и трахириолит- ов, их эффу- зивные аналоги	<i>Вайкская группа,</i> Варданесское, Гортунское, Поладское <i>Араксинская группа,</i> Иландагское
		1.3. уран- мышьяко- вый тип (с флюоритом)	урановая чернь (ура- новая смолка), оте- нит, уранофан, гиа- лит, пирит, реальгар, аурипигмент, каль- цит, флюорит	U, As, F U – 0,035- 0,069%	прожилки и гнезда, шток	экструзии санидиновых трахитов, трахириолит- ов, трахиан- дезитов	<i>Араксинская группа,</i> Осеннее, Чатминское

1	2	3	4	5	6	7	8
2.	Гидротрмально-инфильтрационный	2.1. уран-полиметаллический тип (с золотом)	настуран, блеклая руда, молибденит, минералы Вi, золото, урановая чернь, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, кварц, карбонаты	U, Au, Cu, Pb, Sb, As, Bi, Mo	рудные столбы, прожилки, реже гнезда в трещинах и зонах дробления	гранитоиды	Вайкская группа, Каятхское, Атаринское
		2.2. уран-молибденовый	настуран, гиалит, отенит, урановые слюдки, урановая чернь, арсенипирит, галенит, сфалерит, барит, анкерит	U, Mo, Cu, Sb, Pb, Zn, As U – 0,03-0,141%	прожилки, примазки, вкрапленность, рудные столбы	гранитоиды	Памбакская группа, Лесное
		2.3. уран-торий-редкоземельный (уранинит-флюорит-биотитовый) тип	уранинит, минералы Ce-La группы, бастензит, пироклор, сфен, циркон, ортит, флюорит, биотит, метаторбернит	U, F, TR U – до 0,01%	вкрапленность в тектонических зонах	щелочные сиениты, щелочные порфиры	Памбакская группа, Тежсарское

1	2	3	4	5	6	7	8
3.	Эпитермально-инфильтрационный	3.1. золото-уран-ториево-железистый Au-U-S (Fe)	уранинит, отенит, торбернит, метаторбернит, настуран	Au-U (Th)-S (Fe) U – 0,025-0,03%	пластовая залежь, штокверк	вторичные кварциты, экструзии андезитовых брекчий	<i>Зангезурская группа</i> Хачинсар
		3.2. уран-ториевый тип	отенит, торбернит, метаторбернит, монацит, циркон, ксенотим, кварц, биотит, мусковит	Au-U (Th)-S (Fe) U – 0,025-0,03%	прожилково-вкрапленная	порфировидные гранит-аплиты	<i>Зангезурская группа</i> Овтамеч
		3.3. золото-уран-железистый тип	Самородные Au, Ag, Pt. В тонкодисперсном недиагностируемом состоянии микроминеральная фаза UO ₂ (уранинит и урановая чернь)	Au-U (Th)-S (Fe)	прожилково-вкрапленная пластовая залежь	конгломераты и конглобрекчии	<i>Зангезурская группа</i> Нор-Аревик
		3.4. золото-уран-железистый тип	отенит, гялит, уранофан, урановая чернь	Au-U-S (Fe) U – 0,06%	линзы, пластовая залежь или зона	черные туфобрекчии андезитов	<i>Араксинская группа</i> Зовашен
4.	Инфильтрационный (гидрогенно-хемогенный)	Золото (платина)-уран-железистый	Самородные Au, Ag, Pt. В тонкодисперсном недиагностируемом состоянии микроминеральная фаза UO ₂ (уранинит и урановая чернь)	Au-U-S (Fe)	субгоризонтальные пластовые зоны, залежи, линзы	терригенно-углесланцевые комплексы	Джерманис, Иджван, Шамут, Антарамут, Нор-Аревик, Джалжур
5.	Осадочный	уран-карбонатный тип	поямунит, урановая чернь	U, V U – до 0,01%	линзы и гнезда	кремнистые известняки	Восточное Геталское и Суренаванское проявления урана

Шелховского, М.Д. Загайнова, А.П. Панченко, В.А. Марковича, М.А. Енгояна, Л.С. Рудницкой, Г.Е. Кочиняна, А.М. Антропцева, Э.Л. Саруханяна, И.Б. Харатовой, Г.К. Петояна, Б.К. Архипова и др. Следует учесть, что генетическая классификация и типы урановых руд, предложенные этими авторами, нуждаются в коренном пересмотре в свете современного уровня исследований, т.к. не учтена роль гипергенных процессов при формировании уран-ториеносных залежей. Кроме того, существующие генетические классификации (группировки) месторождений (Суражский, 1956; Нэш и др., 1981; Бойцов, Верчеба, 2008 и др.) в настоящее время не охватывают и не могут охватить все многообразие генетических особенностей урановых месторождений, т.к. каждый регион, провинция или пояс имеют свои отличительные особенности. Нам представляется, что главным в генетической группировке месторождений должны быть первичные источники (рассеянной) минерализации и вторичные (если конечно они есть) механизмы формирования уранового месторождения в разных проявлениях и в разных средах. Имеющийся фактический материал и результаты наших личных исследований дают нам основание провести генетическую группировку и типизацию уран-ториевых руд проявлений (месторождений) Армении (табл. III.3). Фактически выделенные типы руд – это природные разновидности, они технологически не тестированы и экономически не оценены и потому носят условный характер.

Ниже рассматриваются минералогические и морфогенетические особенности наиболее перспективных рудопроявлений на уран и торий. Это гидротермальные, гидротермально-инфильтрационные, эпитеpмально-инфильтрационные и инфильтрационные проявления за исключением гидротермального уранового типа с галенитом и уран-мышьякового типа (с флюоритом), а также осадочного – уран-карбонатного типа. Последние 3 типа крайне слабо изучены и их потенциал не оценен. Однако отметим, что для уран-карбонатного типа геотипами являются: Рудный пояс Грантс – Амброзия Лейк, Темпл Маунтин и Джек Пайл (США). Гидротермально-инфильтрационная и эпитеpмально-инфильтрационная генетические группы проявлений выделяются нами впервые.

Глава 2. ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

В группе гидротермальных проявлений выделяются 3 типа руд: уран-молибденовый, урановый (с галенитом) и уран-мышьяковый (с флюоритом). Урановый (с галенитом) тип оруденения встречается на Варданесском, Гортунском и Поладском проявлениях Вайкской группы и Иландагском проявлении Араксинской группы. Уран-мышьяковый тип встречается на проявлениях Осеннее и Чатминское Араксинской группы (табл. III.3). Эти типы руд крайне слабо изучены, и нами в данной работе не рассматриваются.

Уран-молибденовый тип оруденения развит на Пахрутском и Андском проявлениях Зангезурской группы и относительно хорошо изучен. К этой группе относятся также небольшие проявления Даразами, Джркап и Кармиркар. Подробно рассматривается Пахрутское и Андское проявления. Их геотипами являются Морисвейл (США), Ишимское, Восток, Бата-Бурум, Джедели (Казахстан).

2.1. Уран-молибденовый тип

Пахрутское проявление расположено в 5-6км к востоку от Каджаранского медно-молибденового месторождения, в северо-восточной экзоконтактовой полосе Мегринского полифазного плутона, на обоих склонах ущелья р.Вохчи. Экзоконтактовая полоса монцитовой интрузии имеет длину более 1,5км, при ширине 0,6км и протягивается в северо-западном направлении, параллельно зоне Лернадзорского разлома. Месторождение разведано на нескольких горизонтах поверхностными и подземными горными выработками, а также буровыми скважинами, в том числе подземного бурения. Выделяются три участка (зоны): Вохчи, Лернадзор и Пахрут (Кочарян, 1969).

На месторождении опробовано на глубину 300м более 20 рудных тел с содержанием урана от 0,045 до 0,34%, при среднем содержании 0,2% и мощности 1,25м. Рудные тела прослежены до 600м и представлены кремнисто-карбонатными, брекчированными, окварцованными и серицитизированными породами. Оруденение представлено урановой чернью, настураном, иногда пиритом и марказитом и локализуется в пределах маломощных (0,1-2мм) про-

жилков. Урановая чернь преобладает над настураном и образует сажистые скопления, налеты и пленки. Нерудные минералы представлены халцедоном, карбонатом, каолинитом, хлоритом, баритом. На месторождении ярко выражена зона окисления. Ураноносные руды интенсивно выщелочены.

На горизонте штольни N501 (1480м) на интервале 64-107м подсечена система 6 параллельных ураносодержащих линз, локализованных в тектонических трещинах, средней мощностью 1,15м (от 0,34 до 1,77м), при содержании урана от 0,014 до 0,182%. Мощность прожилков достигает 1см с почковидными выделениями или корочками настурана с чернью. Встречаются пирит, марказит, халькопирит, галенит, сфалерит, кофинит, иордизит, пирротин. В окисленных настуранах спектральными анализами установлены Pb, Sb (до 0,1%), As, Y (0,3-1%), Mo (>1%) и Zr (до 1%).

Вертикальный размах оруденения составляет 140м. Руды Пахрутского месторождения (уч. Вохчи) относятся к урано-молибденовому, по составу нерудных компонентов – к кварц-карбонатному, а по природе радиоактивности – к собственно урановому типу (Пигульский, Шелховский, 1968).

Возраст уранового оруденения Пахрутского месторождения определяется косвенными данными. Монциты прорывают вулканогенные породы нижнего эоцена, чем определяется нижняя возрастная граница, а верхняя определяется перекрытием штока ураноносных гранодиорит-порфиров Джркакского проявления покровом дацитов постплиоценового возраста с прослоями углистых сланцев. Абсолютный возраст урановой смолки из Андского месторождения определен как 7-8 Ма, что соответствует плиоценовому времени (Кочарян, 1969).

Из жилы Л-7 (камера б) Пахрутского месторождения отобрана технологическая проба общим весом 2г. Проба была подвергнута радиометрическому обогащению. Как показали опыты, руды можно отнести к категории контрастных и радиометрически легко обогащаемых. Показатель контрастности по обогащательному классу (>25мм) достигает 1,3. Технологические показатели радиометрического обогащения приводятся в табл. III.4

По данным авторского подсчета, на Пахрутском месторож-

дении запасы урана составляют около 20 тыс.т, при среднем содержании 0,2%, из коих 12 тыс.т – это прогнозные ресурсы (Кочарян, 1969).

Таблица Ш.4

Технологические показатели радиометрического обогащения урансодержащей пробы Пахрутского месторождения (Пигульский, Шелховский, 1968)

N/N п/п	Показатели	Величина, %
1	Содержание урана в руде	0,256
2	Удельный вес (г/см ³)	2,75
3	Выход товарной руды	61,2
4	Содержание урана в товарной руде	0,395
5	Коэффициент обогащения	1,54
6	Извлечение урана из товарной руды	94,0
7	Выход хвостов	38,8
8	Содержание урана в хвостах	0,038
9	Потери урана	6,0

Андское проявление прилегает к Пахрут-Лернадзорскому рудному полю и представлено 22 рудными телами, из которых сравнительно детально изучено Первое рудное тело. Оно имеет северо-восточное простирание и крутое падение. Оруденелая зона по простиранию прослежена на 2,5км и характеризуется мощностью 1,2-12м, местами до 30-40м. Подземными горными выработками Первое рудное тело по простиранию прослежено на 400м, а по падению – на 210м. Оруденение представлено урановой чернью и настураном. Среднее содержание урана в руде 0,2-0,3%, иногда до 1% и более. Это тело является стержневым, к которому приурочены 20 других рудных тел северо-западного простирания. Внутреннее строение рудного тела характеризуется наличием рудных столбов. В остальных рудных телах содержание урана колеблется в пределах 0,056-0,53%, при их мощности 0,2-0,7м. Среднее содержание урана на месторождении при средней мощности рудных тел 1м составляет 0,34%.

Прогнозные ресурсы месторождения составляют 5-10 тыс.т.

Технологические исследования производились на пробе весом 2,5т методом геофизической сортировки. Результаты приводятся в таблице III.5.

Таблица III.5

**Технологические показатели геофизической сепарации урановых руд
Андского месторождения
(Енгоян, 1958)**

N/N n/n	Виды товарной продукции	Выход, %	Содержание урана, %	Извлечение урана, %
1.	Концентрат	10,0	0,10	4,5
2.	Класс -50+0.5мм	54,6	0,374	92,3
3.	Товарная продукция	64,6	0,332	96,8
4.	Хвосты	35,4	0,02	3,2
5.	Руда	100,0	0,221	100,0

Приведенные в табл. III.5 данные свидетельствуют о том, что, во-первых, при радиометрической сепарации (сортировке) крупного и среднего классов выход хвостов с содержанием 0.02% урана составляет 35% от общего объема руды и 3-4% металла в исходной руде; во-вторых, выход товарного продукта при радиометрической сепарации составил 65% от общего объема руды и 96% урана от общего в исходной руде; в-третьих, при селективной добыче возможно получение богатых и контрастных урановых руд.

Описанные проявления Сюникского рудного района относятся к гидротермальному уран-молибденовому типу, представленных жилами, столбообразными и гнездообразными телами. Они представлены бедными и богатыми рудами, среднее содержание урана в которых колеблется в пределах 0,1-0,3%. Перспективы этих месторождений связаны в основном с глубокими горизонтами и приконтактовыми зонами. К этому типу относятся и ряд проявлений, которые также имеют значительные перспективы, что обусловлено их приуроченностью к крупным гранитоидным массивам альпийского возраста.

Глава 3. ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

В группе гидротермально-инфильтрационных проявлений выделяются 3 типа руд: уран-полиметаллический (с золотом), уран-молибденовый и уран-торий-редкоземельный (уранинит-флюорит-биотитовый). Ниже приводятся краткие описания основных минералогических и морфогенетических особенностей этих руд.

3.1. Уран-полиметаллический тип (с золотом)

Каятехское проявление урана представлено двумя участками – Атдаринским и Каятехским. Атдаринский участок расположен в северо-западной эндоконтактовой части Каятехского (Каялинского) интрузива, в 2-3км к северо-востоку от г.Вайк, а Каялинский участок – в 0,3-0,5км к юго-востоку от Атдаринского участка и занимает центральную часть интрузива.

В районе проявления обнажаются туфогенно-осадочные и вулканогенные образования андезитового состава среднего эоцена (мощностью 40-90м), прорванные Каятехской штокообразной интрузией, сложенной габбро-диоритами, сиенито-диоритами, монцонито-диоритами и кварцевыми монцонитами. Комплекс интрузивных и вулканогенно-осадочных образований прорывается дайками кварцевых порфиров, аплитов и жилами пироксеновых порфиритов северо-восточного простирания с крутым падением на северо-запад, мощностью 2-5 – 8-10м. В северо-западной части Каятехской интрузии, в контакте с песчано-известковыми мергелями эоцена, образовались скарны, состоящие из кальцита, граната, пироксена и плагиоклаза. В контактовой полосе интрузива широко проявляются окварцевание, пиритизация, серицитизация, каолинизация, эпидотизация, карбонатизация и хлоритизация. Каятехский интрузив обнажается на правом берегу р.Арпа и контролируется крупным Арпинским тектоническим нарушением глубинного заложения, простирающегося вдоль ущелья р.Арпа.

Ураноносные зоны в пределах Каятехского проявления исключительно приурочены к кварц-серицитовым метасоматитам и локализуются в кварц-полиметаллических прожилках.

Каятехская интрузия прорывается системой тектонических нарушений северо-восточного простирания с крутым падением на юго-восток и северо-запад, а также северо-западного простирания с падением на юго-запад. Северо-западная система трещин пересекает северо-восточную. Ураноносность преимущественно приурочена к более молодым структурам.

Атдаринский участок. На участке выделены три ураноносные зоны – NN1, 2 и “Малахитовая”, обнажающиеся на поверхности. Буровыми скважинами и подземными горными выработками вскрыты несколько слепых ураноносных зон и прожилков.

Зона N1 прослеживается на поверхности около 1км, а подземными выработками – на 400-500м. Мощность зоны 0,6-1,4м, простирание северо-восточное ($10-15^{\circ}$) с крутым падением на юго-восток. Зона представлена серицитизированными и хлоритизированными породами, пронизанными халцедоновыми, карбонатными, кварц-карбонат-халцедоновыми и сульфидными прожилками, мощностью 0,2-4см. Содержание урана в зоне неравномерное, но наблюдается явное двукратное увеличение содержания с глубиной, что связано, по-видимому, с миграцией урана трещинными водами из зоны окисления на более низкие горизонты. Содержание урана и радона в растворах составляет соответственно $1,6-6,9 \cdot 10^{-4}$ г/л и 450 эман. На поверхности, в пределах зоны N1, содержание урана составляет 0,009%, при мощности 0,5м; на глубине 25м (шт. N10) содержание урана составляет 0,02%, а на глубине 60-75м (шт. N11) – 0,059%, при мощности 1,2м, на общем фоне содержания урана 0,01-0,04%. На глубине 120-150м, по данным буровых скважин (N45, 47, 49), содержание урана в среднем составляет 0,03-0,05% при мощности 1,2-1,5м. Отметим, что скважинами и горными выработками подсечены 5 слепых рудных прожилков с содержанием урана до 0,056%, при мощности 0,4м.

Зона N2 расположена в 160-180м к западу от зоны N1. Она прослежена в меридиональном направлении более 1км, при мощности 2-3м и крутом падении на восток. На поверхности мощность зоны достигает 20-60м. На севере (на протяжении 360м) зона расположена в кварцевых монцонитах, пронизанных прожилками карбоната, халцедона, сфалерита и галенита. На этом участке развито

титаномагнетитовое оруденение. В центральной части зона N2 вскрыта штольной N11 и слабо выражена. Урановое оруденение локализуется только в северо-восточных трещинах в роговиках. Содержание урана составляет 0,086-0,312%. Зона разведана 6 скважинами, из которых только 2 скважины подсекли кварц-карбонат-сульфидные прожилки с урановой чернью на глубине 80-105м. Содержание урана в этих прожилках 0,012-0,033%, при мощности 3см. Низкий процент выхода керна не дает возможности достоверно оценить ресурсы в пределах зоны N2.

Зона "Малахитовая" прослеживается через г.Голая, в 100м к востоку от зоны N1. Зона простирается на северо-восток (40°) с крутым падением на юго-восток (на ЮЗ фланге) и северо-запад (на СВ фланге). Фактически юго-западный фланг зоны "Малахитовая" сочленяется с зоной N2, образуя единую ураноносную зону. На поверхности зона прослежена на 600м, при мощности 0,3м. Она представлена гидротермально измененными, серицитизированными сиенит-диоритами. Содержание урана по зоне 0,018%. Опоискование зоны на глубину проведено двумя буровыми скважинами, глубиной 165 и 175м. Вдоль зоны "Малахитовая" широко развиты кварц-сульфидные, кварц-халцедоновые и кварц-карбонатные прожилки, мощностью 5-10см. Зона очень слабо изучена. Опробование водных стоков в пределах Атдаринского участка показало от $8,5 \cdot 10^{-6}$ г/л до $2,5 \cdot 10^{-5}$ г/л урана при общей минерализации 100-340мг/л.

На Атдаринском участке выделяются две группы рудоносных структур (Кочарян, 1969).

1. Карбонат-халцедон-опаловые прожилки и зоны брекчирования близмеридионального простирания с пиритом и марказитом. Гидротермальные изменения представлены карбонатизацией, каолинизацией и галлуазитизацией. Эта группа рудовмещающих структур занимает ведущее место и является наиболее поздней по времени образование.

2. Кварц-карбонат-полиметаллические прожилки близширотного простирания. Гидротермальное изменение представлено серицитизацией, окварцеванием и карбонатизацией.

К этим 2 группам следует добавить еще и титансодержащие

магнетит-гематитовые руды самого раннего происхождения, локализовавшиеся в приконтактных частях интрузии сиенито-диоритов.

Рудообразование на Атдаринском участке происходило в три стадии (этапа): контактово-метасоматическую, гидротермальную и гипергенную. Контактново-метасоматическая стадия представлена титансодержащим магнетитовым прожилково-вкрапленным оруденением в роговиках и магнетит-гематитовым оруденением в скарнированных породах. По данным Л.С. Рудницкой (1955), выделяются 8 стадий минерализации гидротермального этапа:

1. Кварц-полиметаллическая в сиенито-диоритах и кварцевых монцонитах.

2. **Кварц-настурановая** с содержанием марказита и карбоната. Содержание урана в настуране составляет 65% (по перлюминесцентному анализу).

3. Кварцевая. Кварц голубой или голубовато-серый, халцедоновидный с микрозернистой структурой; содержит перетертый пирит, марказит и тонкораспыленный настуран.

4. Карбонатная. Карбонат имеет розовый цвет и представлен доломитом (железосодержащим). Сопровождается каолинизацией и галлуазитизацией.

5. Халцедоновая. 6. Халцедоновая. 7. Опаловая. 8. Халцедоновая.

Гипергенный этап минералообразования проявился в основном образованием в зоне окисления гидроокислов железа и марганца, супергенного кальцита, каолина, а также урановой черни. Зона окисления на участке имеет мощность 70-80м, но иногда вдоль тектонических трещин окисление проникает на глубину 120м. Лимонит образует псевдоморфозы по пириту.

По данным А.Е.Кочаряна (1969), с учетом нижнемиоценового возраста Каятехского интрузива, возраст уранового оруденения принимается как верхнемиоценовый или нижнеплиоценовый.

С учетом расширения перспектив участка, урановое оруденение следует искать ниже зоны окисления (70-80м) и в обязательном порядке вне контуров развития скарнов и роговиков,

мало податливых к процессам трещинообразования.

Каятехский участок представлен гидротермально измененными сиенито-диоритами, пронизанными жилами (мощностью до 0,6м) и прожилками (до 0,1м) кварца, кварц-карбоната и полиметаллов. К рудным жилам и прожилкам приурочено урановое оруденение.

Зоны гидротермально измененных пород простираются на северо-восток ($40-60^{\circ}$) и падают круто на северо-запад и редко на юго-восток. На поверхности они четко фиксируются благодаря наличию окислов железа и меди, образуя отрицательные формы рельефа. Ширина этих зон в отдельных случаях достигает 160м. Наиболее детально изучена зона N3.

Зона N3 Каятехского участка расположена в северной части участка и прослежена на северо-восток на 1,3км, при средней мощности 75м. Зона изучена буровыми скважинами и подземными горными выработками на трех горизонтах. Гидротермальное изменение представлено серицитизацией, хлоритизацией и каолинизацией за счет сиенито-диоритов. Мощность карбонатных, кварц-карбонатных и кварц-полиметаллических прожилков колеблется от 0,3 до 12см, при средней протяженности 120м.

Рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, настураном, блеклыми рудами (теннантит, тетраэдрит), галенитом, сфалеритом, молибденитом, минералами висмута, кадмия и сурьмы. Повышенная радиоактивность приурочена в основном к кварц-полиметаллическим прожилкам. Распределение уранового оруденения весьма неравномерно. По простирацию оно выдерживается в пределах 0,5-20м, а по падению – 30-175м, при мощности 0,2-0,6м. В целом урановое оруденение образует столбообразные тела с склонением на северо-восток под углами от 60 до 80° . Содержание урана колеблется в широком пределе – от сотых долей до 1,4%, составляя в среднем 0,06%.

Следует отметить, что ураноносные прожилки ориентированы косо к простирацию кварц-полиметаллических прожилков и тектонических трещин, являющихся дорудными.

На участке выделяются 6 стадий минералообразования; настуран выделялся в четвертой стадии. На Атдаринском участке,

как уже было отмечено, настуран выделился во второй стадии. Однако ураноносные стадии минерализации обоих участков следует приравнять друг к другу, учитывая их аналогичный минеральный состав.

На Каятехском участке хорошо выражена зона окисления, мощность которой составляет 20-50м. В зоне окисления первичные минералы урана не сохранились. Здесь уран содержится в интенсивно перетертой пирит-халькопиритовой массе (до 3%), в лимоните (до 0,35%), в галлуазите (до 0,24%) и в породах зоны дробления – в виде регенерированной черни. Грунтовыми водами уран интенсивно выносится из зоны окисления. Содержания урана и радона составляют соответственно от $n \cdot 10^{-5}$ до $9 \cdot 10^{-2}$ г/л и от 100-500, реже 2000-2420 эман.

Ниже зоны окисления радиоактивность связана с урановой смолкой, местами переходящей в остаточную чернь.

В заключение отметим, что перспективы промышленного освоения ураноносных руд Каятехского проявления (с участками Аtdара и Каятех) связаны, во-первых, с комплексным использованием этих руд в связи с их золотоносностью, а во-вторых, с промышленным освоением разведанного Азатекского золото-полиметаллического (золото-свинцово-сурьмяного) месторождения.

3.2. Уран-молибденовый тип

Лесное проявление находится на левом склоне р.Ахавнадзор, в 15км к северо-западу от г.Раздан и в 1,5км к северо-востоку от с.Ахавнадзор. Участок расположен на восточной периферии Ахавнадзорского интрузивного массива. На северо-востоке интрузив прорывает вулканогенную толщу среднего эоцена, сложенную преимущественно порфиритами, а на юго-западной границе интрузив прорывают допалеозойские сланцы и меловые известняки, с образованием зоны гибридных пород. Ахавнадзорский интрузив представлен монцонитами, габбро-диоритами, сиенитами, граносиенитами и гранодиоритами и датируется как послесреднеэоценовый (олигоцен-миоценовый). Жильные породы имеют широкое распространение. Они представлены гранит-аплитами, сиенит-

аплитами, аплитами, диорит-порфиритами. Дачные образования простираются преимущественно на северо-запад, местами простираются близширотное с крутым падением в северные румбы.

Комплексными геолого-геофизическими поисками и горно-буровыми работами на Лесном проявлении выявлено и опознано более 20 тектонических зон дробления, прослеженных по простираанию от 0,5 до 2км, а по падению отдельные зоны прослежены буровыми скважинами на 100-260м, при мощности от 0,3 до 5м. В отдельных случаях мощность зон раздувается до 7-8 и более метров.

На поверхности урановое оруденение в зонах гидротермально измененных пород представлено гиалитом, отенитом, смешанными урановыми слюдками, остаточной урановой чернью. Из зоны окисления уран интенсивно выщелочен и вынесен за пределы рудовмещающих структур.

Первичный урановый минерал представлен настураном и встречается на глубине 100-120м. Урановая чернь образует мало-мощные (2-5мм) прожилки, гнезда и тонкую вкрапленность, а урановые слюдки – примазки по трещинам, гнезда и неравномерную вкрапленность. Следует отметить, что наиболее обогащенные ураном интервалы рудных зон в подземных горных выработках отличаются сравнительно большой мощностью и брекчиевидным строением. На ураноносных интервалах и за их пределами часто встречаются арсенопирит, галенит, сфалерит, прожилки барита и анкерита. Штольней N3 и буровых скважин NN2 и 5 рудное тело прослеживается по падению на 180-200м и имеет столбообразную форму. Характерным примером служит сочленение рудных зон N1 и N2 на горизонте штольни N3. В узле сочленения интенсивно проявились процессы выщелачивания, но содержание урана достаточно высокое. Этот узел вскрыт скважинами NN2 и 5 на глубине 90м с содержанием урана 0,141%, а на глубине 186м – с содержанием 0,03%. Аналогичные столбообразные тела вскрыты штольней N5 в узлах сочленения рудоносных зон N2 и N8, N7 и N7а. Рудные тела по падению и простираанию выклиниваются резко, что по мнению А.Е. Кочаряна обусловлено низкотемпературными условиями их локализации и малоподвижностью ураноносных растворов (Коча-

рян, 1969). О низкотемпературных условиях рудоотложения свидетельствует парагенезис рудных и нерудных минералов с ураном: например, антимонит, галенит, сфалерит, анкерит, халцедоновидный кварц и т.д. Размах уранового оруденения составляет 500-600м, т.е. на Лесном проявлении эрозионный срез неглубокий и перспективы могут быть достаточно обнадеживающими.

Радиогидрогеологическими исследованиями установлено, что зона окисления распространяется до глубины 70м, а по рудоносным структурам – еще глубже (Антропцев, 1961). Воды проявления по химическому составу относятся к гидротермально-кальциево-натриевому типу с минерализацией 0,3г/л. Вместе с ураном в водах установлен молибден в количестве $1,6 \cdot 10^{-4}$ г/л, а в сухом остатке – до 0,1%.

Молибден, сурьма и марганец в водах устанавливаются при наличии урана. А.М. Антропцевым установлены следующие закономерности в распределении урана:

1. Содержание урана в водах глубоких горизонтов увеличивается.
2. Содержание урана увеличивается в удалении от устья штолен.
3. Содержание урана резко увеличивается в водах, омывающих рудные зоны, в особенности зону N2, которая является наиболее крупной и самой перспективной.

Результаты радиогидрогеологических исследований хорошо согласуются с минералогическими исследованиями. Так, например, антимонит и галенит встречаются на поверхности без окисления, но настуран без следов окисления был встречен лишь в керне скв. N2 на глубине 90м (зона N2). В подземных горных выработках настуран окислен и превращен в чернь с реликтами настурана. В зоне окисления, кроме урановой черни, часто встречаются отенит и смешанные урановые слюдки, установленные по данным люминесцентного, микрохимического, спектрального анализов и минералогических исследований. Редко встречаются урансодержащий гялит, лимонит (с ураном до 0,17%), борнит, малахит, азурит. Содержания золота и серебра составляют 0,2-0,52 и 0,4-24,5г/т соответственно по данным пробирного анализа АГМК (Нанян, 1961).

На Лесном проявлении выделяются 5 стадий минерализации: кварц-пиритовая, кварц-карбонатная, сульфидная (пирит, галенит, сфалерит, антимонит, пирротин, марказит, реальгар, халькопирит), **уран-карбонатная** (кварц, молибденит, **настуран**, **урановая чернь**, карбонат) и, наконец, кварц-карбонатная (кварц, карбонат-анкерит, барит, халцедон).

Перспективы рудопроявления большие и тесно связаны с промышленным освоением рудных месторождений бассейна р.Мармарик: Меградзорского золоторудного, Анкаванского медно-молибденового и группы железорудных месторождений вдоль зоны Мармарикского глубинного разлома.

Урановое оруденение Лесного рудопроявления А.Е. Кочарян связывает парагенетически с сиенитами и кварцевыми сиенитами Ахавнадзорского интрузива, на основании чего и определяет возраст оруденения как миоплиоценовый.

3.3. Уран-торий-редкоземельный (уранинит-флюорит-биотитовый) тип

Тежсарское проявление, известное под названием Лагерного участка, находится в верховьях р.Уляшик Памбакского хребта, в 0,8км к северу от г.Осыпь. Проявление находится на отметках 2700-3000м. На проявлении проведены поисковые работы с применением горно-буровых работ в комплексе геофизических и радиогидрогеологических исследований. Спектральными и химическими анализами, кроме уранового оруденения, на участке установлено высокое содержание редкоземельных элементов церий-лантановой группы.

Тежсарское проявление сложено эффузивными породами щелочного состава (сиенит-порфиры, порфириты и др.) верхнеэоценового возраста, прорванными интрузией щелочных и нефелиновых сиенитов послезоценового возраста. Под воздействием интрузии вмещающие эффузивы интенсивно переработаны и перематы с образованием гибридных пород. Весь комплекс эффузивно-интрузивных образований прорывается аплитовыми и пегматитовыми жилами и дайками сиенит-порфиров, лейцитовых порфиров и

др.

Тежсарское проявление урана и редких земель приурочено к зоне брекчированных пиритизированных сиенит-порфиров и щелочных сиенитов. Зона простирается на северо-запад ($310-315^{\circ}$) на 0,6 км, при мощности 150-200 м. В северо-западном направлении эта зона перекрыта современными отложениями, но, по-видимому, сочленяется с крупным поперечным Уляшикским разломом. На юго-восток зона прослеживается в ущелье р. Тежагет. Общее падение зоны на юго-запад под углом $40-55^{\circ}$. Границы зоны постепенные.

Урановая минерализация представлена примазками и вкрапленниками метаторбернита и лишь в редких случаях – уранинитом. Причем с глубиной интенсивность оруденения (метаторбернита) усиливается. Содержание урана доходит до 0,086%. Ниже зоны окисления данных по содержанию урана нет, т.к. короткометражные скважины не достигли цели (Давтян, Тосунян, 1955). К тому же не уточнены форма, размеры и пространственное положение ураноносных тел.

На основании имеющегося материала делается вывод, что Тежсарское (Лагерное) проявление урана представляет собой окисленный штокверковый тип оруденения, почти аналогичный Хачинсарскому уран-ториевому штокверковому проявлению. Наличие единичных зерен уранинита в зоне окисления дает основание предположить о составе первичных руд (Кочарян, 1969).

В минеральном составе руд участвуют: флюорит, биотит, уранинит, метаторбернит, водные окислы железа и марганца, а также ряд редкоземельных элементов церий-лантановой группы. Руды Тежсарского проявления отнесены к уранинит-флюорит-биотитовому типу. В рудах установлены также бастензит, монацит, дернит, корделит, гадолинит, пирохлор, ортит, циркон (Бабаджанян, 1965).

На проявлении выделяются три этапа рудообразования; флюорит образовался во всех трех этапах, но совместно с биотитом во втором и третьем, а в ассоциации флюорит-биотит-уранинит только в третьем этапе. Уранинит в зоне окисления преобразовался в метаторбернит (Кочинян, 1961). Спектральными и химическими

анализами в рудах установлены высокие содержания Ce, La, Ga, It, Tb, Nb, Ta, Вe, Hf. Сумма редких земель (La + Ce) колеблется в широких пределах и составляет 2,8-5,89% (по данным химанализа). Кроме того, в рудах установлены: железо (1-3%), марганец (0,03-1,5%), ванадий (0,03-0,2%). Следует отметить, что концентрация редкоземельных элементов наблюдается в западной части вулканогенной кровли в междуречье р.р.Уляшик и Тежагет. Процесс гидротермального рудообразования протекал в средне-низкотемпературных условиях. Урановое оруденение наложено на редкоземельное.

Таким образом, на Тежсарском проявлении наблюдается совместное проявление пневматолито-гидротермальных высокотемпературных редких земель и сравнительно низкотемпературных гидротермальных минералов урана, флюорита и биотита (Кочарян, 1969).

Проявление представляет промышленный интерес как комплексное сырье, и следует организовать детальные поисково-разведочные работы в основном на участках с относительно высоким содержанием радиоактивных минералов (урана и тория), т.к. здесь концентрируются повышенные содержания редких земель (участки Уляшик, Тежагет, Омар). На участках с повышенным содержанием редких земель ураноносность не установлена.

Геотипами уран-торий-редкоземельного типа руд являются: Стрельцовский рудный район (РФ), Дорнот (Монголия), Сианьшань (Китай).

Глава 4. ЭПИТЕРМАЛЬНО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

В группе эпитеpмально-инфильтpационных проявлений выделяются 4 типа руд: золото-уpан-тоpий-железистый во вторичных кварцитах, уpан-тоpиевый в гранит-аплитах, золото-уpан-железистый в конгломератах и конглобpекчиях, золото-уpан-железистый в андезитовых туфобpекчиях. Эти типы руд выделяются впервые. Эпитеpмально-инфильтpационные месторождения уpана широко известны в мире, о чем было сказано выше. Особенно отметим обнаружение этих месторождений в Кызылкумах (Узбекистан) –

учкудукский тип (Учкудук, Сургалы, Северный и Южный Букинай, Кетменчи и др.) (Есаулов и др., 2008).

4.1. Золото-уран-торий-железистый тип во вторичных кварцитах

Обзор литературы по данной проблеме приводится в разделе 1, глава 1.4 и обосновывается целесообразность выделения в самостоятельную рудную формацию металлоносные покровы вторичных кварцитов – надинтрузивный (надкровельный) покров вторичных кварцитов меднопорфировых систем.

В меднопорфировых системах Армении покров вторичных кварцитов с характерной слоистой моделью минералообразования лучше выражен на месторождениях “диоритовой” (Техут, Вардазор, Хачинсар), чем на месторождениях “монцититовой” (Каджаран, Агарак) модели.

Нашими исследованиями показано, что в пределах покрова вторичных кварцитов оруденение носит не линейный, а объемный – прожилково-вкрапленный (штокверковый) характер с хорошо выраженными, почти горизонтальными зонами (прослоями) минералообразования. Этот принципиально новый подход дает возможность предложить слоистую модель покрова вторичных кварцитов, что открывает огромные перспективы на золотомедно-уран-молибденовое (полиметаллическое) оруденение.

Покровы вторичных кварцитов являются носителями оруденения в крупных масштабах с низкими содержаниями полезных компонентов и благоприятными горно-геологическими условиями для открытой разработки неглубокими карьерами.

Слоистая модель вторичных кварцитов состоит из нижеследующих зон и подзон (прослоев) минералообразования (сверху вниз):

1. **Зона окисления** – зона гипергенеза. Мощность зоны непостоянная, в среднем в пределах 30-60м.

1.1. Подзона кэпинга (Red Beds)

1.2. Подзона медной зелени

Подзона просачивания подземных вод и аэрации с бирюзой и “железной шляпой”

1.3. Подзона выщелачивания – подзона разложения и миграции сульфидов (подзона насыщения и истечения).

2. Зона вторичного сульфидного обогащения – зона супергенеза (подзона застойных вод и восстановления сульфидов). Мощность зоны от десятков до 60-100, а реже до 120-150м. В редких случаях выделяются два горизонта (яруса) супергенеза, расположенные друг над другом, из коих верхний более богатый (Рей, Техут). На многих меднопорфировых месторождениях зона вторичного сульфидного обогащения определяет основную промышленную ценность месторождения (Чукикамата, Коунрад, Сан-Мануэль, Силвер-Белл, Техут и др.).

Ниже зоны вторичного сульфидного обогащения следует **зона первичных сульфидных руд** – меднопорфировое ядро гидротермальной системы. На отдельных участках граница вторичных и первичных сульфидных руд резкая, а в большинстве случаев – постепенная с образованием подзоны смешанных руд.

Следует отметить, что подзоны минералообразования зоны окисления не всегда удается четко оконтурить, так как во многих случаях их границы расплывчатые.

В подзоне **кэпинга** широким развитием пользуются окислы и гидроокислы Fe, Mn и охра, не образующие выдержанных сплошных скоплений; в отдельных случаях появляются фрагменты покрова “железной шляпы”. Подзона **медной зелени** характеризуется наличием малахита, азурита, хризоколлы, иногда брошантита и бирюзы. Обычно минералы этой подзоны редко образуют значительные по масштабам скопления и развиваются в форме примазок, пятен, прожилков и мелких гнезд. На отдельных месторождениях бирюза образует самостоятельные проявления (месторождения). Подзона **выщелачивания** характеризуется ноздреватой текстурой породы, преобладанием кварцевых друз и наличием каверн, в которых наблюдаются натечные формы и колломорфные выделения гидроокислов Fe, Mn и серы. Преобладают песочный мелкокусско-

ватый кварц, барий, иногда гипс. В зоне **вторичного сульфидного обогащения** преобладают халькозин, ковеллин и редко борнит. Часто встречаются останцы первичных сульфидных минералов.

Как уже было отмечено выше, меднопорфировое ядро гидротермальной системы мы отделяем от железогидроокисного медно-золотого (уранового) покрова вторичных кварцитов эндогенно-экзогенной (эндогенно-инфильтрационной, экзогенно-водородной) системы как по вещественному составу, так и в технологическом отношении. Они отличаются также по горнотехническим условиям отработки. Однако в практике имеют место примеры, когда первичные и вторичные сульфидные руды добывались и перерабатывались в единой шихте (Коунрад).

Следовательно, имеющийся материал свидетельствует о том, что перспективы промышленного оруденения связаны не только с меднопорфировым ядром гидротермальной системы, но и с более низкотемпературной частью минералообразования вторичных кварцитов – высоко- и низкосульфидизированными фациями покрова IOCG (например, алунист-адуляр-кварцевыми).

В заключение считаем нужным в обобщенном виде представить нашу интерпретацию места покрова вторичных кварцитов в меднопорфировых системах диоритовой модели, а также возможных источников первичной рассеянной минерализации и механизма концентрации полезных компонентов в покрове.

Металлоносность покрова вторичных кварцитов имеет постмагматический эпитегрмально-инфильтрационный, возможно, мантийный или верхнемантийный источник, связанный не с магматическим батолитом (порфиrowыми магмами), а с более глубинными трансмагматическими флюидами, образующими рассеянную минерализацию в покрове, чем обусловлен нелинейный характер ее распределения. Воздействию подверглась не только полоса приконтактных (экзоконтактных) вулканогенно-осадочных образований (порфириты, туфы, туфопесчаники), но и не менее широкая полоса эндоконтактных (краевых) фаций гранитоидного массива (гранодиорит-порфиры и кварцевые диорит-порфириты). Изменение эндоконтактной части меднопорфирового ядра, по всей вероятности, связано с экранирующей ролью плотных, ранее окварцо-

ванных вулканогенных образований вмещающих пород, с одной стороны, и, с другой – интенсивной трещиноватостью “корки” интрузива. При этом не исключается роль “обратной волны” гидротермального изменения от ранее окварцованных плотных вулкани-тов, что обеспечило растекание рудных растворов и флюидов от “экранирующей” поверхности покрова и вовлечение в сферу метасоматоза и локализацию вкрапленного оруденения в породах эндо-контактной зоны на значительную глубину. Следовательно, эпи-термальному воздействию подвергается весь внешний близповерх-ностный ореол гранитоидного массива в виде сфероида с охватом как вмещающей, так и краевой эндоконтактной части интрузивно-го массива, то есть формирование покрова вторичных кварцитов связано с процессами флюидизации апикальной части интрузива и надинтрузивных вмещающих пород, в связи с отделением значи-тельного объема летучих и паров. Формирование концентраций рудных компонентов происходило в результате процессов окисле-ния, миграции и повторного осаждения сульфидов (свободных ми-нералов) из первично рассеянной минерализации под воздействием экзогенно-гидрогенных процессов. Это дает основание многим ис-следователям металлоносность (золото-ураноносность, медно-золо-тоносность и др.) зон гипергенеза и супергенеза отнести к катего-рии экзогенных формаций (Родин и др., 2006; Голенев и др., 2006), а журналу “Руды и металлы” (Р.Ф., г. Москва, ЦНИГРИ) открыть специальную рубрику (раздел) “Экзогенная золотоносность”. От-метим также, что высказываются два мнения относительно связи оруденения с процессом образования вторичных кварцитов. Одна группа исследователей считает, что четко устанавливается разрыв во времени между образованием кварцитов и оруденения, а вторая группа считает, что эти процессы связаны с единым магматическим очагом и одновременны. Нам представляется, что возможны и дру-гие варианты (с учетом нашей интерпретации), а истина лежит где-то посередине.

В магматических или пегматитовых месторождениях прак-тически не образуется зона окисления или выщелачивания. В этих месторождениях уран индивидуализирован в форме устойчивых минералов (пиррохлор, эвксенит, бетафат, циртолит, ураноторит,

монацит и т.д.), которые при гипергенных процессах подвергаются механическому разрушению и дают ореолы механического рассеяния.

В гидротермальных месторождениях характерно развитие зоны окисления, выщелачивания и вторичного обогащения (цементации), где уран представлен (в зоне гипергенеза) в форме малоустойчивых минералов, подвергающихся химическому разрушению (выветриванию) – урановой смолки и уранинита, к тому же очень часто ассоциирующих с различными сульфидами. В основном, в большинстве урановых гидротермальных месторождений наблюдается интенсивный процесс изменения. При наличии сульфидов происходит интенсивное выщелачивание урана из верхней части месторождения. Развитие зоны окисления и цементации приводит к образованию многочисленных вторичных минералов.

Из зоны выщелачивания уран часто удален. В этих условиях полезными индикаторами урана могут быть его продукты распада – ^{226}Ra и ^{206}Pb , которые (в отличие от многорастворимого урана, свободно мигрирующего в форме UO_2SO_4) в кислой среде, содержащей ион SO_4^{2-} , образуют труднорастворимые сульфаты RaSO_4 и PbSO_4 . Они часто изоморфно замещают друг друга и входят в состав барита, что обусловлено близостью ионных радиусов $\text{Ra}(1,52\text{\AA})$, $\text{Ba}(1,46\text{\AA})$, $\text{Pb}(1,32\text{\AA})$. В этих условиях образуется гокулит – $(\text{Ba}, \text{Pb}, \text{Ra})\text{SO}_4$, радиоактивный церуссит $(\text{Pb}, \text{Ra})\text{CO}_3$, вторичный радиокальцит $(\text{Ca}, \text{Ra})\text{CO}_3$ и др. минералы. Вследствие возможного накопления в урановых месторождениях Ba и Pb , в зоне выщелачивания будет высоким соотношение $^{226}\text{Ra} : ^{238}\text{U}$ и $^{206}\text{Pb} : ^{238}\text{U}$, что может служить благоприятным признаком на урановые руды. Наиболее надежным индикатором урановых руд может служить повышенная концентрация радиогенного свинца ^{206}Pb , т.к. период полураспада ^{226}Ra всего 1560 лет и в течение очень короткого геологического времени все его следы постепенно исчезают (Ягжин, 1961).

Установление аномально высокого отношения радиогенного свинца ^{206}Pb к его нерадиогенному изотопу ^{204}Pb может быть обусловлено наличием избытка урана.

Обычно в зоне цементации (зона обогащения) встречаются урановые черни: остаточные и регенерированные. Их отличие А.А. Ягжин сформулировал следующим образом:

1. Остаточные урановые черни, развиваясь по настурану или ураниниту, сохраняют морфологические черты последних, часто образуя при этом унаследованное “прожилковое” распределение в рудном теле, в то время как регенерированная урановая чернь обычно представлена в виде рыхлой серой, темно-серой или черной массы и тонких корочек и встречается в парагенезисе с лимонитом, марказитом, карбонатами, алюмосиликатами и другими минералами.

2. В остаточных урановых чернях наблюдается большое разнообразие различных примесей (тория и редких земель), а регенерированные черни имеют более “чистый” состав.

3. Отношение $Pb : U$ в остаточных урановых чернях всегда много выше, чем в регенерированных.

4. В остаточных урановых чернях нередко сохраняются реликты урановой смолки или уранинита (Ягжин, 1961).

Вторичные месторождения зоны окисления и цементации разрабатывались в Португалии (Трагос, Уржерика, Виарис и др.), в Южной Австралии (Маунт Пэнтер и др.).

К этой формации мы относим некоторые месторождения (рудные поля) Армении. В отличие от перечисленных объектов, во вторичных кварцитах некоторых месторождений Вайка, Зангезура и Вардадзора установлены значительные содержания урана, тория и радия.

Геотипами Au-U (Th)-S (Fe) руд во вторичных кварцитах являются эпитермально-инфильтрационные месторождения Янакоча, Джулкани (Перу), Голдфильд (Невада, США), Мартабе (Суматра, Индонезия), Саммитвилл и Лейк Сити-2 (США) и др.

4.1.1. Ураноносность покрова вторичных кварцитов Армении.

Ниже поиводятся новые данные по ураноносности вторичных кварцитов одного из интересных рудопроявлений Армении

(Хачинсар). К этому типу относятся также руды Вардадзорского проявления (НКР), однако в этом случае содержание меди приобретает важное значение, достигая в среднем 1%, т.е. это золото (медь)-уран-железистый тип во вторичных кварцитах.

Хачинсарский участок. Участок уран-торий-радиевого рудопроявления сложен вулканогенно-туфогенной толщей олигоценового возраста, интродуцированной штоками и дайкообразными телами гранит-аплитов и кварцевых монзонитов. Верхняя приповерхностная часть вулканогенно-интрузивного комплекса превращена во вторичные кварциты различных фаций и окварцованные породы, мощностью 50-150м. В пределах покрова вторичных кварцитов интенсивно развиты гипергенные и супергенные процессы.

В пределах проявления, на данной стадии изученности, обнаружены минералы урана: отенит, торбернит, метаторбернит, уранинит и разновидности настурана.

Отенит образует сростки кристаллов в виде коробок. Метаторбернит образует кристаллы с розетковидными формами выделения и в виде параллельных сростаний пластинок по 100 и 010. Часто кристаллы метаторбернита замещаются по краям отенитом, а в отдельных случаях замещение происходит с центра кристаллов метаторбернита с образованием очковидных пятнистых структур на фоне вмещающей породы (Рудницкая, 1962).

Нашими исследованиями впервые оптическим методом обнаружены уранинит и разновидности настурана*.

Настуран - один из главных безводных окислов урана. Название минерала с греческого переводится как "уплотненный уран". Строение плотное, скрыто-кристаллическое. По физико-химическому составу в природе выделяются 4 разновидности настурана. Синонимами настурана являются "урановая смоляная обманка", "урановая смоляная руда" и "урановая смолка", что обусловлено смолистым видом минерала и его внешним сходством с цинковой обманкой. В отличие от уранинита настуран преимущественно образует неправильные натечные и почковидные агрегаты, редко – тонкие прожилки. Часто неравномерно распределяется

* Минералогические исследования проводились А.Г. Акопян и Н.И. Магакян.

в цементе породы, цементируя зерна с образованием тончайших "шариков" – стяжений. Настуран часто встречается в низко-среднетемпературных урановых месторождениях и выпадает из восходящих под давлением растворов в условиях температур от 100-150 до 350°C (Соболева, Пудовкина, 1957).

Обычная формула уранинита UO_2 ; часть U^{4+} окислена до U^{6+} с постоянными примесями радиогенного Pb, нередко Th и TR. Химическая формула группы настурана $kUO_2 \cdot lUO_3 \cdot mPbO$.

Урановые минералы – отенит, торбернит, метаторбернит, уранинит и настуран – характерны для зоны окисления урановых месторождений. Содержание урана в отените и метаторберните составляет 48-53%. Урановая минерализация прослеживается в приповерхностном прослое: пока прослежена до глубины 150 м, т.е. в пределах вторичных кварцитов. Содержание урана в кварцитах колеблется в широких пределах – от тысячных долей до 0,5%, при среднем значении 0,025%. Содержание Th колеблется от тысячных до первых сотен долей процента, при соотношении $U:Th = 3-4 : 1$. Торий распределен спорадически и встречается как в зонах, так и в трещинах в виде тончайших налетов и пленок буровато-черного цвета. Иногда Th образует локальные, изолированные от U участки со вторичной ториевой минерализацией, где содержание Th варьирует в пределах 0,02-0,52%. По данным микрохимического анализа, в чистых буровато-черных пленках ториевого агрегата установлено до 38% Th, что значительно меньше тория в торите (66-77%) (Саруханян, Харатова, Петоян, 1953).

Широким распространением на рудопроявлении пользуется радий. Он установлен как в самих урановых минералах, за счет их распада, так и в самостоятельных образованиях. Отметим, что на глубине фиксируется недостаток радия для радиоактивного равновесия (60-80%), что свидетельствует о молодости вторичной урановой минерализации. На поверхности радиоактивное равновесие нарушено в сторону избытка радия (104-134%, реже – 190-160%) (Саруханян, 1955).

На рудопроявлении уран-торий-радиевое оруденение носит рассеянный характер с неравномерным и убогим оруденением штокверкового типа. С генетической точки зрения это эндогенно-

экзогенное оруденение, возникшее в результате перераспределения и переотложения U, Th и Ra в зоне гипергенеза при их эндогенном первичном источнике. Аналогичные данные на U, Th и Ra нами получены по Вардадорскому проявлению. Единичные анализы на радиоактивность руд участка подтвердили наличие этих элементов (ВНИИХТ, Москва).

Рудовмещающие вторичные кварциты представлены различными фациями – преимущественно алунидами и монокварцитами. Минералого-петрографические микроскопические исследования показали, что **алуниды** состоят из мелких (<0,05мм) и относительно крупных (0,1-0,2мм) зерен кварца, окислов и гидрокислов железа (гематита, гетита) и алунида (около 1-2%). Алуниды бесцветный, листоватый, шестоватый и образует плотные скопления в виде гнезд. На краях шлифов видны удлиненные кристаллы алуниды. Наблюдаются также непрозрачные, почти черные рудные минералы, на краях которых видно яркое просвечивание красного цвета. Количество рудных минералов – 3-4%. Структура породы неравномернозернистая, гетеробластовая. На фоне мелких зерен кварца наблюдаются скопления в виде пятен и гнезд относительно крупных зерен, которые являются результатом собирательной перекристаллизации. Отмечается сильная лимонитизация. *Гематит* представлен мелкими зернами (0,05-0,1мм) кроваво-красного цвета. *Гидроокислы железа* пронизывают всю породу, развиваясь по трещинкам или порам, образуя натечные агрегаты с четко выраженной ноздреватой структурой.

В полированных шлифах во вторичных кварцитах отчетливо выделяются частые вкрапления или прожилковидные скопления темно-серого или буровато-серого минерала, диагностированного оптическими методами как **настуран**. Последний отлагается в открытых трещинках с образованием тонких прожилочек, мощностью до нескольких долей миллиметра. Местами настуран выполняет пустоты, поры и промежутки между кварцем и алунидом с образованием прожилково-вкрапленного, редко гнездовидного характера оруденения. Форма выделения шаровидная, почковидная, либо образует очень тонкокристаллические, почти скрытокристаллические агрегаты (рис. III.2, III.3).



Рис. III.2. Формы выделения урановых минералов во вторичных кварцитах. Мелкие кристаллики и шарики урановых минералов в алунизированной породе. Штуф. Бинокулярная лупа. Ув. х25.

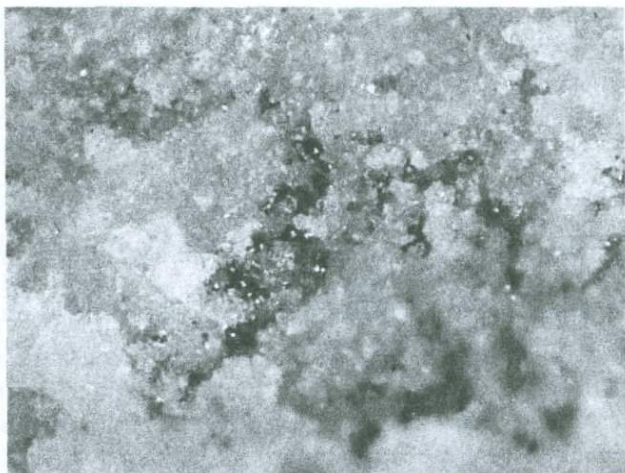


Рис. III.3. Формы выделения урановых минералов во вторичных кварцитах. Мелкие "шарики" урановых минералов в перетолженном кварце. Штуф. Бинокулярная лупа. Ув. х25.

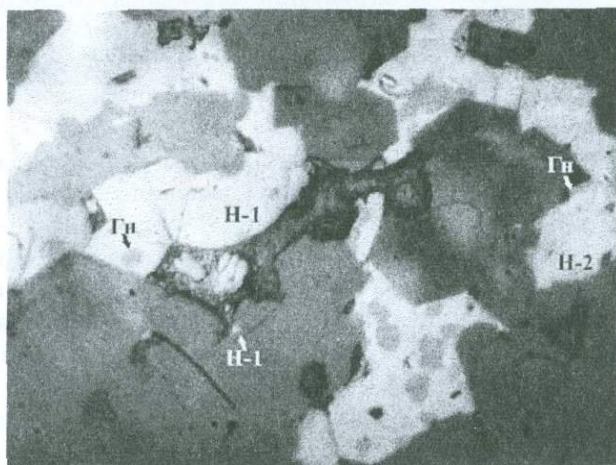


Рис. III.4. Формы выделения урановых минералов во вторичных кварцитах. Сrostки урановых минералов в интерстициях кристаллов кварца. Аншлиф. Ув. x400.

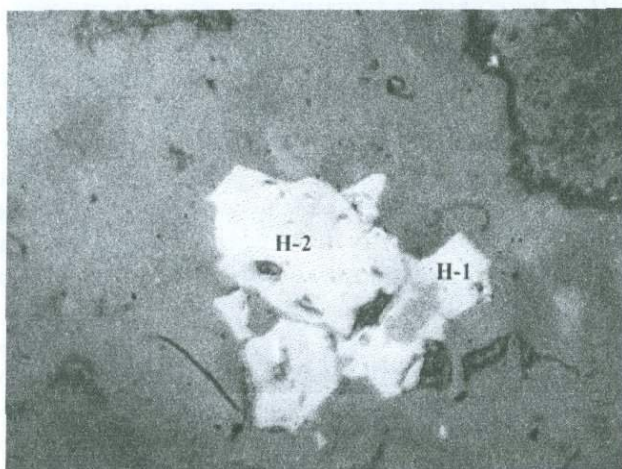


Рис. III.5. Формы выделения урановых минералов во вторичных кварцитах. Сrostки настурана-1 (Н-1) и настурана-2 (Н-2) в кварце. Аншлиф. Ув. x400.

В зависимости от структурно-текстурных особенностей и различных соотношений окислов урана нами выделяются три разновидности настурана с учетом наличия четырех природных его разновидностей с соответствующими кристаллохимическими формулами.

Настуран-1 ($UO_{2,16}-UO_{2,33}$). Образует светло-серые с голубоватым оттенком тонкокристаллические зернистые агрегаты либо одиночные выделения изометричной, вытянутой, неправильной формы, размерами 0,02-0,05мм. Развиваются они в виде примазок по плоскостям трещинок, зачастую заполняя интерстиции кварца, редко алунита. Отражательная способность его колеблется в пределах 18-20%. Характерны желтовато-бурые очень сильные внутренние рефлексы (свечение) (рис. III.4, III.5).

Настуран-2 ($UO_{2,33}-UO_{2,62}$). Образует тесные прорастания с настураном-1, а местами наблюдаются постепенные переходы от одной разновидности к другой. Под микроскопом характеризуется розовато-коричневым оттенком, с отражательной способностью несколько ниже (порядка 16-17%), чем у настурана-1. Подобно настурану-1, образует округлые (почковидные) тонкокристаллические агрегаты с резко выраженными внутренними рефлексами (свечение) (рис. III.5, III.6, III.9).

Настуран-3 (возможно гидронастуран) ($UO_{2,70}-UO_{2,92}$). По данным М.В. Соболевой и И.А. Пудовкиной, содержание воды колеблется в пределах 6,11-7,72%. Имеет явно вторичное происхождение, за счет настурана-1 и настурана-2. Представлен тонко-каемчатыми образованиями вокруг последних, а также проявляется внутри них в виде шарообразных пятнистых выделений. Характеризуется темно-серым цветом и низкой отражательной способностью (около 11-13%) (рис. III.7, III.8).

На данной стадии изученности можно выделить четыре морфогенетические формы настурана (уранинита) во вторичных кварцитах:

1. Агрегаты настурана с расплывчатыми контурами и структурой "разбитой тарелки" (рис. III.10).

2. Кристаллические индивиды настурана в виде идеальных шариков (рис. III.11).

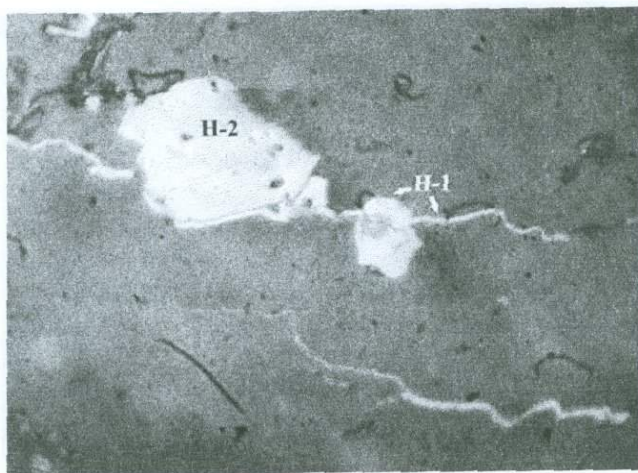


Рис. III.6. Формы выделения разновидностей настурана. Прожилки настурана-1 (Н-1) и настурана-2 (Н-2) в кварце. Аншлиф. Ув. х400.

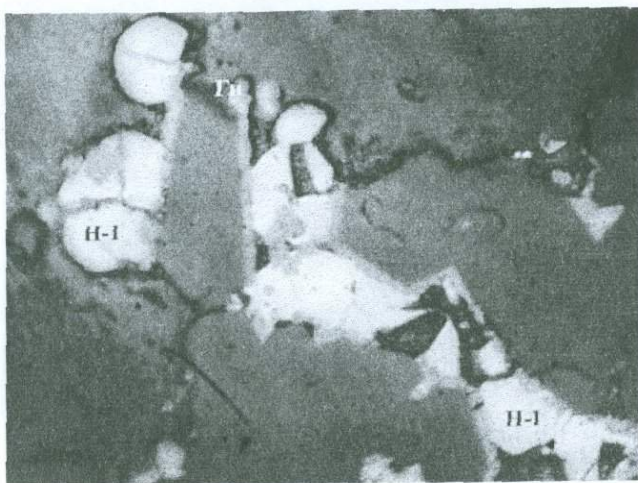


Рис. III.7. Формы выделения разновидностей настурана. “Шарики” настурана-1 (Н-1) и прожилки колломорфного гидронастурана (Гн) в кварце. Аншлиф. Ув. х400.

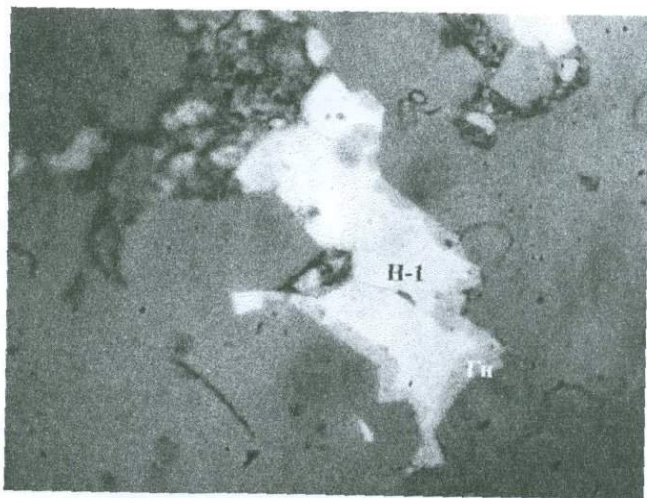


Рис. III.8. Формы выделения разновидностей настурана. Настуран-1 (H-1) с каймой гидронастурана (Гн) в кварце. Аншлиф. Ув. x 400.

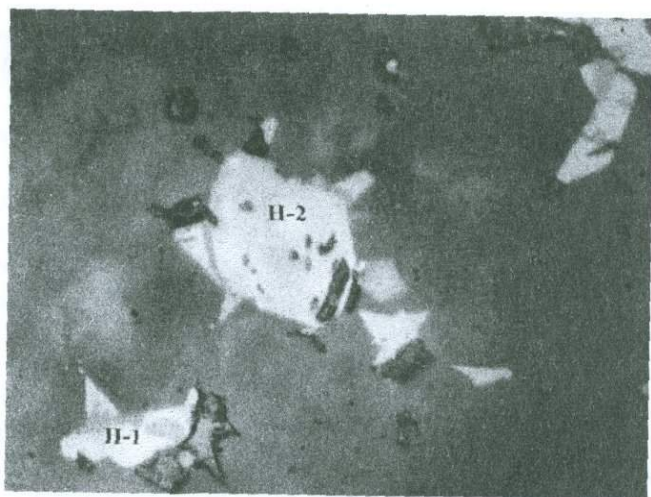


Рис. III.9. Формы выделения разновидностей настурана. Кристаллики настурана-2 (H-2) с сильными внутренними рефлекссами, настуран-1 (H-1) с гидронастураном (Гн) в кварце. Ув. x400.

3. Кристаллы настурана с ровными прямыми (рис. III.13) и сглаженными (рис. III.12) контурами.

4. Кристаллические индивиды настурана с ярко выраженными внутренними рефlekсами и без них (рис. III.14).

Часто наблюдаются сочетания различных морфогенетических форм выделений настурана.

Следует отметить, что ураноносные вторичные кварциты характеризуются сильной лимонитизацией. Порода пропитана вкрапленниками и цепочковидными прерывистыми выделениями магнетита с включениями гематита, маггемита и гидроокислов железа. На этом фоне выделяются мельчайшие включения (до 3-5 микрон) пирита, самородной меди, золота, халькопирита и рутила.

Структура **монокварцитов** гипербластовая, текстура массивная, пятнистая, обусловленная собирательной перекристаллизацией и укрупнением кварцевых зерен.



Рис. III.10. Сферонды (шарики) настурана со структурой «разбитой тарелки» в кварците. Аншлиф. Ув.х400.



Рис. III.11. Трещиноватые сфероиды настурана в железном микрокварците. Аншлиф. Ув.х400.

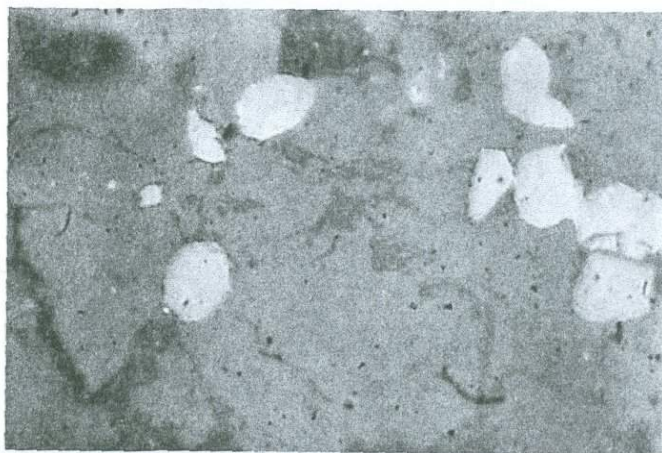


Рис. III.12. Кристаллические индивиды настурана со сглаженными и ровными контурами в кварците. Аншлиф. Ув.х400.



Рис. III.12. Кристаллические индивиды настурана со сглаженными и ровными контурами в кварците. Аншлиф. Ув. x400.

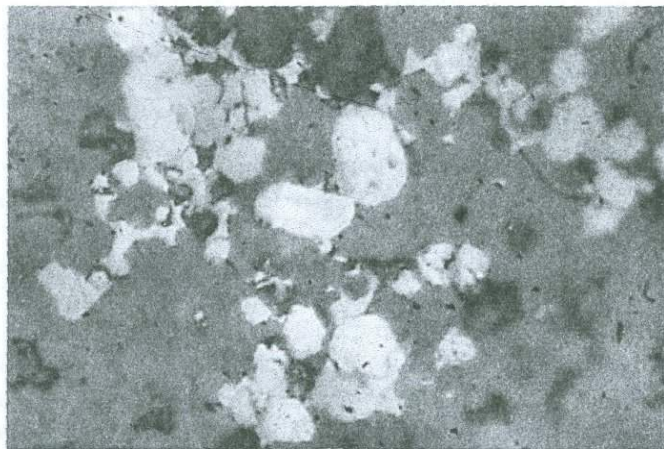


Рис. III.14. Кристаллические индивиды настурана с яркими внутренними рефлексами и без них. Аншлиф. Ув. x400.

Магнетит образует ксеноморфные агрегаты, размерами до 1-2 мм. Часто наблюдаются отдельные продолговатые агрегаты, близкие к идиоморфным, которые ориентированы по направлению сланцеватости и полосчатости породы. Отмечаются сростки зерен магнетита с вкрапленностью гематита и маггемита со структурой распада твердых растворов, мирмекитовые сростания с маггемитом, и возможно, со шпинелью. Кроме того, отмечаются нерудные минералы, пропитанные мельчайшими вкрапленниками магнетита, не выходящими за их контуры. Зерна магнетита в разной степени окислены. Среди мартитизированных зерен магнетита в одних выделяется зональная структура магнетита, в других – гематит образуется по периферии зерен.

Гидроокислы железа представлены различными формами выделений. Часто встречаются игольчатые выделения (гетита), развивающиеся скорее всего по пириту, поскольку общий габитус квадратный. В пределах квадратного контура разноориентированные иголки гетита образуют решетчатые и реже розетчатые структурные образования (рис. III.19). Гидроокислы железа проявляются также в виде сплошных натечных многокомпонентных агрегатов, округлых оолитообразных скоплений, причем различные компоненты чередуются, образуя зональные структуры.

Самородная медь образует мелковкрапленные (0,006мм) шлировые выделения в зоне сильной лимонитизации.

Пирит и халькопирит встречаются в виде тонкозернистых и точечных (размерами 0,003-0,004мм) агрегатов. Часто образуют сростки с магнетитом в виде каемок вокруг его зерен, а также проникают вдоль направлений октаэдрической отдельности в виде решетчатой структуры замещения, размерами до 0,08мм. Наблюдается “компактный” пирит в округлых, кристаллических, зернистых выделениях, наряду с которым наблюдается сфероидальный “пористый” пирит (рис. III.15, III.16). Все стадии образования эпигенетических округлых пиритов из их кристаллических агрегатов в золоторудных месторождениях Кочбулак (Узбекистан) и рифа Вентерсдорп Контакт (Витватерсранд) подробно описываются в литературе (Чухов, 1955; Генкин и др., 1980; Hallbauer, 1986; Сафонов, 2003). По данным З.А. Некрасовой, на уранугольном место-



Рис. III.15. Эпигенетические округлые агрегаты пирита, корродированные настураном (?). Аншлиф. Ув. х400.

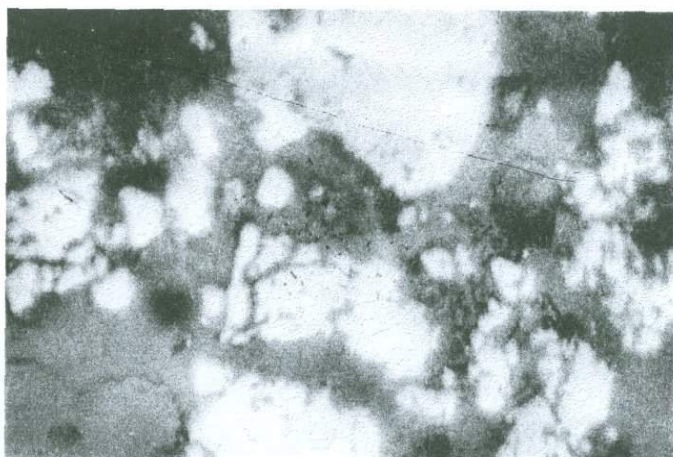


Рис. III.16. Вкрапленность эпигенетического пирита: округлые, и по краям корродированные настураном (?) агрегаты. Аншлиф. Ув. х400.

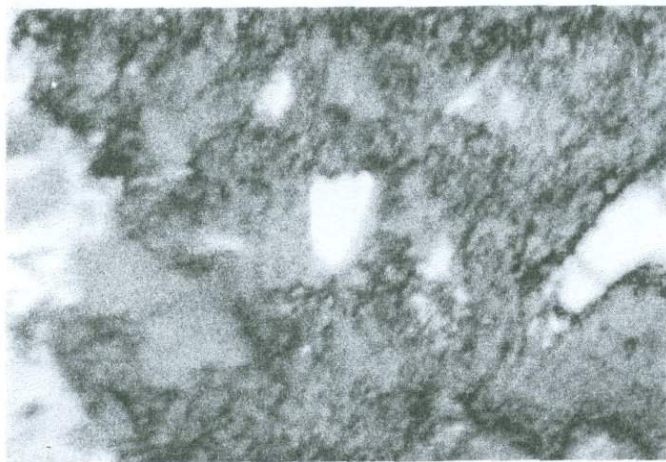


Рис. III.17. Зерно золота в алунигах. Аншлиф. Ув. x400.

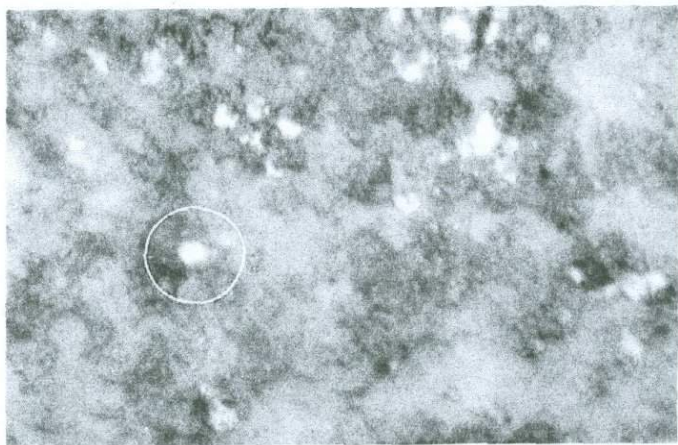


Рис. III.18. Зерно самородного золота на фоне вкрапленного магнетита. Аншлиф. Ув. x400.

рождении Кавак (Киргизия), часто окислы урана концентрируются вокруг скоплений эпигенетического пирита и настуран корродирует его (Некрасова, 1957).

Золото встречается в межзерновых пространствах лимонита, размерами 0,01-0,006мм (рис. III.17, III.18). В отдельных штучных пробах содержание золота достигает 10г/т и более.

Рутил образует мелкие и мельчайшие изоморфные короткостолбчатые и призматические кристаллы, равномерно рассеянные в кварцит-микрогранобластовой массе. Кристаллы образуют скопления и сростки, размерами 0,01мм и менее. Часто встречаются сравнительно более крупные призматические кристаллики рутила, увенчанные пирамидой, а также короткие иглоподобные кристаллики. Часто наблюдаются скопления рутила вокруг рудного минерала. Отмечаются также сростки и кристаллики окисленных минералов золотисто-желтого, бледно-желтого и оранжевого цвета. Эти цвета наблюдаются исключительно при очень больших увеличениях (x320 и более). Кварцевые зерна отличаются своеобразными светло-синими и бледно-синими интерференционными цветами, что никак не характерно для обычных кварцевых зерен. Возможно, это следствие присутствия радиоактивных элементов.

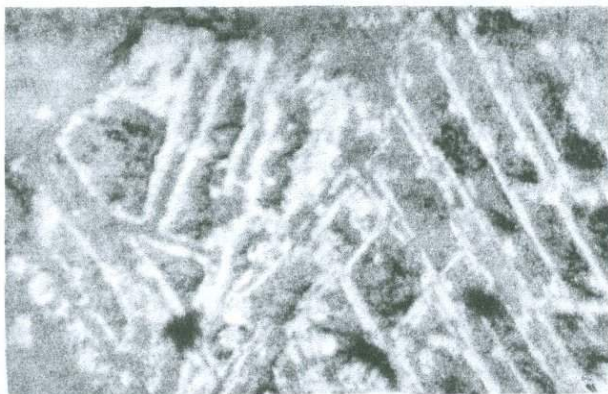


Рис. III.19. Решетчатая структура гидроокислов железа. Аншлиф.
Ув. x400.

Рутил в шлифах отличается высоким рельефом и чрезвычайно сильным двупреломлением. Следует отметить, что концентрация рутила красновато-бурого цвета иногда составляет от 10-12 до 25-30%, в то время как содержание светло-серо-желтоватых и желтовато-зеленых разновидностей не превышает нескольких процентов. Обычно повышенные содержания титансодержащих минералов (рутил – TiO_2 , браннерит – UTi_2O_6 , гидроксид – $TiO_2 \cdot nH_2O$) сопровождаются значительными концентрациями урановых минералов (уранинита-настурана). Интересно отметить, что по данным Ю.М. Дымкова, наиболее часто встречаются структуры одновременного роста сферолитовых корок настурана и кристаллов, реже сферолитов, сопровождающих титансодержащие минералы. Описывается случай одновременного роста почек игольчатого уранинита и кристаллических зерен браннерита (Дымков, 1973). Здесь считаем нужным отметить, что высокая концентрация титансодержащего минерала обусловлена поведением титана (совместно с кремнием) в гидротермально-метасоматических (экзогенно-гидрогенных) процессах, в частности, при формировании пород вторично-кварцитово́й формации.

Таким образом, вышеизложенный фактический материал свидетельствует о том, что покровы вторичных кварцитов медно-порфириновых систем, будучи превосходным алюмосиликатным сырьем, представляют большой интерес с точки зрения металлоносности, в частности, золото-уран-ториево-радиевого оруденения, и классифицируются как новый формационно-генетический и промышленный тип рудно-силикатного сырья.

4.2. Уран-ториевый тип

Овтамечское проявление. Эоцен-олигоценый вулканоплутонический комплекс прослеживается через всю территорию республики, простираясь на северо-запад в Грузию и на юго-восток в Иран. Комплекс сложен измененными вулканогенными, вулканогенно-осадочными и средне-кислыми вулканогенно-обломочными образованиями эоцена, которые прорваны многочисленными крупными и мелкими интрузивными телами различного состава (преимущественно гранитоидами), экструзиями (субвулканически-

ми телами) вулканических и вулканогенно-обломочных купольных тел андезитового, андезито-дацитового состава и их брекчий; габбро, габбро-диоритов; гранит-аплитов, жильных монцосенитов и др. В жильных породах резко преобладают кальциевые полевые шпаты, которые представлены преимущественно идиоморфными выделениями микропертитового строения. Калишпаты сильно пелитизированы, что связано с постмагматическими процессами. Гидротермальный метаморфизм жильных пород выражен интенсивной серицитизацией, образованием небольшого количества микрозернистого вторичного кварца и тонкодисперсного карбонатного вещества.

Эоцен-олигоценый вулкано-плутонический комплекс является наиболее благоприятной рудовмещающей средой для локализации оруденения и включает ряд крупнейших рудно-магматических систем, контролирующих пространственное размещение крупных месторождений меднорудной, медно-молибденовой, золоторудной и полиметаллической промышленных формаций Армении. И сегодня этот комплекс является предметом детального изучения, т.к. его перспективы окончательно не выяснены.

Нашими исследованиями было установлено: что, во-первых, рудно-магматические системы генетически едины как для месторождений меднорудной, медно-молибденовой и золотополиметаллической формаций, так и для ураноториевого оруденения; во-вторых, перспективы радиоактивного сырья связаны с комплексными ураноторийсодержащими рудами; и, в-третьих, ураноториевое оруденение формируется на поздних этапах развития рудогенной системы. Первый вывод нами был подтвержден открытием новой уран-медно-золоторудной формации вторичных кварцитов над апикальными частями медно(молибден)порфировых многоэтажных рудно-магматических систем. Для подтверждения третьего вывода о том, что ураноториевое оруденение проявляется на завершающих этапах развития рудно-магматических систем, нами были проведены специальные поисковые работы и опробование дайкообразных тел граносиенит-аплитов для проведения предварительных исследований.

В настоящей главе приводятся результаты предваритель-

ных исследований по поиску новых формаций жильно-магматических образований на ураноториевое оруденение в завершающей стадии развития эоцен-олигоценового вулканоплутонического комплекса. Рассмотрены порфириовидные граносиенит-аплиты.

В пределах обследованного участка, на водоразделе Зангезурского хребта, мощный комплекс средне-верхнеэоценовых вулканогенных, вулканогенно-пирокластических и вулканогенно-обломочных пород прорван многочисленными мелкими краевыми выходами интрузивных пород основного и кислого составов (вдоль зон разломов), а также центральными многочисленными купольными экструзиями брекчий, андезитов и андезито-дацитов. Весь разрез эоцен-олигоценового комплекса прорван жильными образованиями различного состава повышенной щелочности завершающей стадии вулканоплутонического комплекса, в том числе порфириовидными граносиенит-аплитами, кварц-баритовыми жилами и монцосиенитами.

Процессы гипергенеза развиты интенсивно. Зона окисления широко развита и прослеживается на глубину 250-300м. В зоне окисления широко представлены окварцевание, серицитизация, алунитизация, каолинизация и другие виды постмагматических изменений с образованием монокварцитов, кварц-алунитов и аргиллизитов в различных сочетаниях и проявлениях.

Оруденение контролируется субмеридиональной системой региональных нарушений, секущей в осевой зоне вулканическую постройку и порфириовое ядро и являющейся рудогенерирующей эпитермальной постмагматической (трансмагматической) структурой с дискретным проявлением ядер купольных экструзий. Промышленная концентрация оруденения золота, меди и вторичных минералов урана преимущественно локализуется в зоне окисления в результате наложения гипергенных процессов на первичное рассеянное эпитермальное вкрапленное оруденение, генерирующееся трансмагматическими нелинейными парогазовыми выносами полезных компонентов.

Граносиенит-аплиты сложены микропертитовым калишпатом (микроклином), серицитизированным плагиоклазом, кварцем, рудными непрозрачными минералами, вторичными окислами и

гидроокислами железа (гематит, гетит), а также аксессуарными монацитом, цирконом, по-видимому, и ксенотимом. Структура жильно-магматических пород порфировая. Она обусловлена присутствием мелких фенокристаллов плагиоклаза размерами от 1 до 2-3 мм в длину. Плагиоклазы интенсивно серицитизированы. Они полностью замещены тонкими и тончайшими чешуйками серицита и превращены в агрегатные псевдоморфозы серицита. Изредка отмечаются частично серицитизированные таблитчатые плагиоклазы, в которых ясно видно полисинтетическое двойникование (рис. III.20, III.21).

Кварцевые зерна нередко образуют закономерные прорастания с калишпатом. Они представлены обычно мелкими зернами с неправильными контурами. Количество первичного кварца сравнительно низкое, примерно 22-25%, что характерно для граносиенит-аплитов. Высокое содержание калишпата по отношению к плагиоклазам свидетельствует о граносиенитовом составе аплитов. Калишпатовое число ($K=Kшп/Kшп+Пл$) варьирует в пределах от 0,71 до 0,80.

В прозрачных шлифах рудные минералы представлены мелкими зернами неправильной формы. Это первично-гидротермальные, непрозрачные, неправильной формы, а также изометричные, округлые зерна. Часто окисленные, они превращены во вторичные окислы и гидроокислы красновато-бурого цвета. Для граносиенит-аплитов характерны редкие земли, радиоактивные элементы и аксессуарные минералы – монцонит, циркон, ксенотим. Последние представлены идиоморфными агрегатами, бесцветными короткопризматическими кристалликами с пирамидальными вершинами, с высоким рельефом и сильным двупреломлением (выше 0,045). В шлифах, обычно в мелких кристалликах, эти минералы практически неотличимы.

Рудная минерализация является постмагматической. На это указывают неравномерно рассеянная вкрапленная минерализация и кварцево-рудные прожилки в граносиенит-аплитах. Кроме жильных пород, присутствуют аксессуарные минералы – монацит, циркон ($\approx 1\%$). В этих минералах обычно наблюдаются в значительном

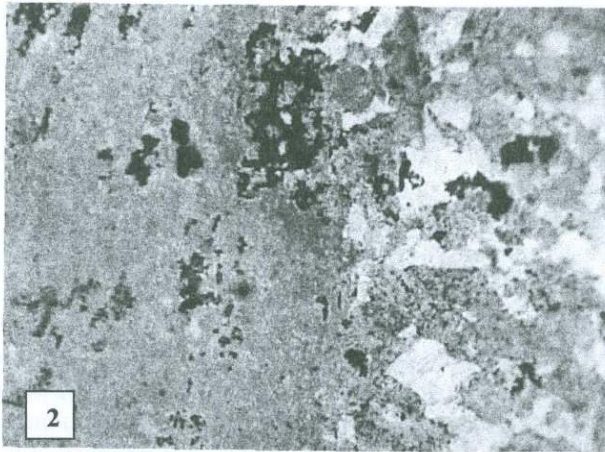
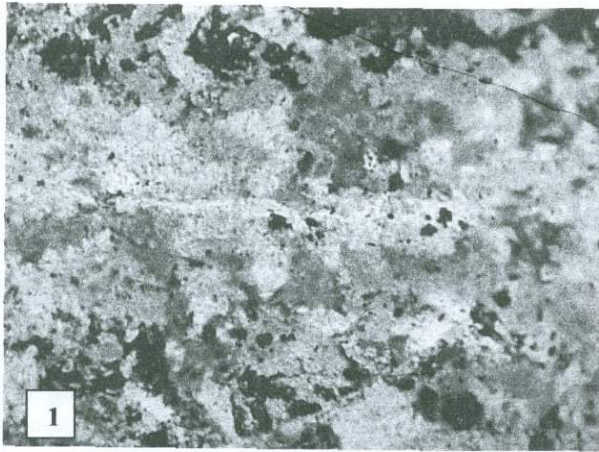


Рис. III.20. Состав и строение граносиенит-аплитов (прозрачный шлиф). Ув. $\times 100$.

1 – кварцево-рудный прожилок в граносиенит-аплите, в зальбандах рудные минералы (черное), в центре – кварц-карбонатная масса с редкими включениями рудных минералов; 2 – граносиенит-аплит с серицитизированным фенокристаллом плаггиоклаза с включениями рудных минералов.

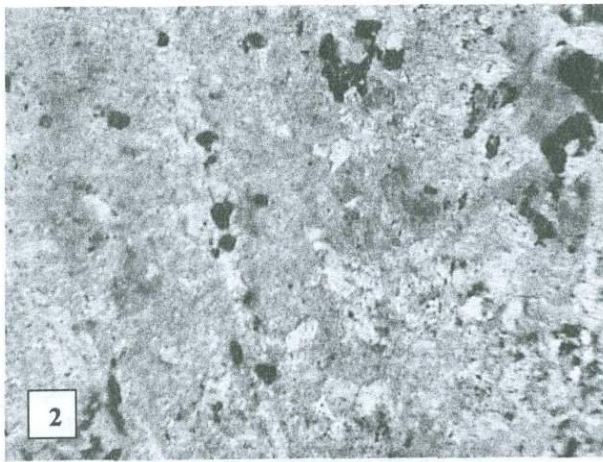
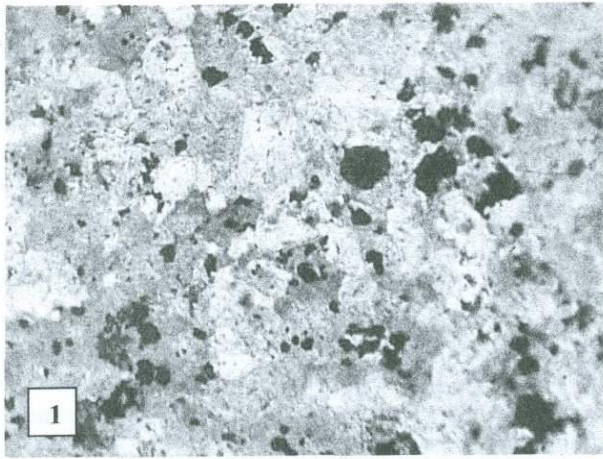


Рис. III.21. Состав и строение граносиенит-аплитов (прозрачный шлиф).
Ув. x100.

1 - серицитизированный оруденелый граносиенит-аплит; 2 - граносиенит-аплит с кварцево-рудным прожилком.

количестве примеси урана и тория. Рассеянные формы выделений радиоактивных, элементов, вероятно, могут быть и в полевых шпатах (плаггиоклаз, калишпат), в светлых слюдах (серицит, мусковит), в биотитах. Рудная минерализация приурочена к серицитизированным и карбонатизированным граносиенит-аплитам, по-видимому, и граносиенитам, в частности, к участкам более позднего карбонатного метасоматоза.

Основными рудными минералами, которые являются как бы “сквозными” и проявляются повсеместно, являются пирит, гематит и рутил. Редко встречаются зерна халькопирита и галенита.

Пирит образует прожилкововидные, гнездовые вкрапления, вкрапленные агрегаты и довольно часто участвует в составе мало-мощных кварц-сульфидных прожилков. Пирит представлен весьма разнообразными агрегатными формами: от кристаллических (кубические сечения) до колломорфно-сферических (фрамбоидных) образований. При этом преобладают неправильные, скелетные, атоловидные агрегаты.

С пиритом тесно ассоциирует гематит. Гематит встречается в значительном количестве и проявляется в виде разнообразных кристаллов и шестоватого игольчатого габитуса, либо в виде неправильных зернистых агрегатов, зачастую в сростании с пиритом.

Относительно много встречается рутил, образующий неравномерно распределенные в породе сгустковатые скопления очень мелкозернистых, толстотаблитчатых, либо коленчатых кристалликов.

Обращает на себя внимание группа урановых слюдок – это, по предварительным оптическим данным, уранофосфаты кальция и меди – отенит $[\text{Ca}(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}]$ и метаторбернит $[\text{Cu}(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$, а возможно, и фосфат тория – монацит $(\text{CeLaYTh})(\text{PO}_4)$. Они представлены единичными разрозненными включениями в виде таблитчатых, ромбических, призматических, квадратных, а иногда и полусферических образований (рис. III.22-III.24). В ряде случаев образование отенита связано с замещением в метаторберните катиона меди кальцитом. По данным петрографических исследований (как уже было отмечено), в граносиенит-аплитах установлено проявление калиевого (серицитизация) и

более позднего карбонатного метасоматоза. Наличие меди в виде халькопирита в граносиенит-аплитах увеличивает вероятность образования торбернита или метаторбернита. Для минералов этой группы характерны очень низкая отражательная способность (~9-10%) и очень сильное внутреннее свечение в желто-оранжевых тонах, местами переходящих в сине-зеленые.

Граносиенит-аплиты секутся тонкими кварц-рудными прожилками шириной от доли миллиметра до 2-3мм. Прожилки имеют симметричное строение. В зальбандах видны плотные скопления рудных минералов, которые распределены параллельно простиранию жил. Центральная часть жилок сложена кварцем, чешуйками серицита, а также плотным тонкодисперсным карбонатным веществом. Пятна тонкодисперсного карбоната рассеяны также в основной кварц-полевошпатовой массе аплитовых жил (рис. III.20-III.21).

С повышением количества щелочных элементов (в частности, калия) и щелочности пород следует ожидать повышения содержания урана и тория. Следует отметить, что ведущая роль в концентрации радиоактивных элементов (кроме собственных минералов урана и тория) принадлежит акцессорным минералам – монцониту, циркону и ксенотиму. В них может быть заключена большая часть радиоактивных элементов породы. Радиоактивные элементы в акцессорных минералах находятся в виде изоморфной примеси. Приведенные данные хорошо согласуются с результатами новейших минералогических исследований. В связи с тем, что на поздних стадиях минералообразования часть урана выщелачивается из вулканогенных пород, ранее предполагалось, что он в значительной степени связан в виде соединений шестивалентного урана и локализуется по границам зерен и в микротрещинах подстилающих пород. Исследованиями Дж.С. Стаклса и И.Т. Никома (1980) установлено, что выщелоченный уран может входить в состав мельчайших зерен акцессорных минералов, не обнаруженных прежними исследователями.

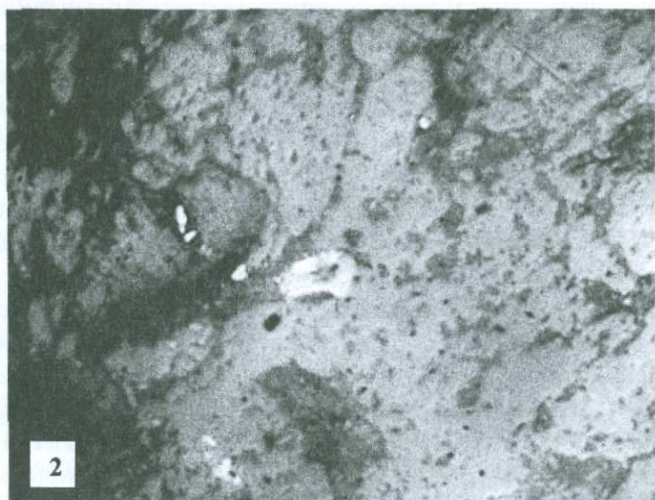
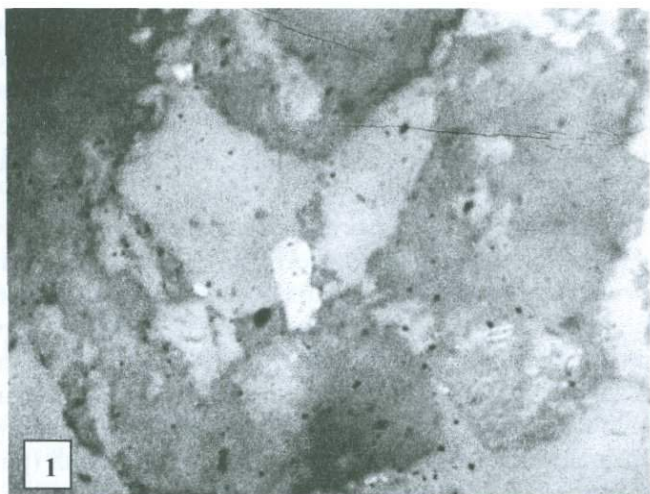


Рис. III.22. Морфологические разновидности кристаллов отенита (метаторбернита) в гранит-аплитах. Аншлиф. Ув. $\times 250$.

1 и 2 - призматический кристалл отенита.

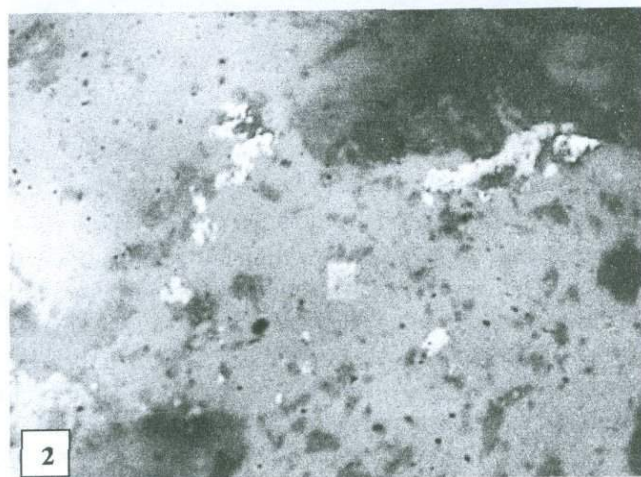
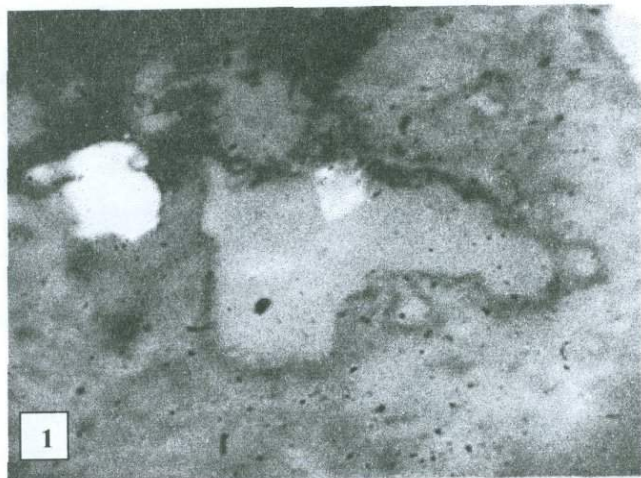


Рис. III.23. Морфологические разновидности кристаллов отенита (метаторбернита) в гранит-аплитах. Аншлиф. Ув. x250.

1 - отенит ромбического сечения; 2 - отенит прямоугольного сечения.

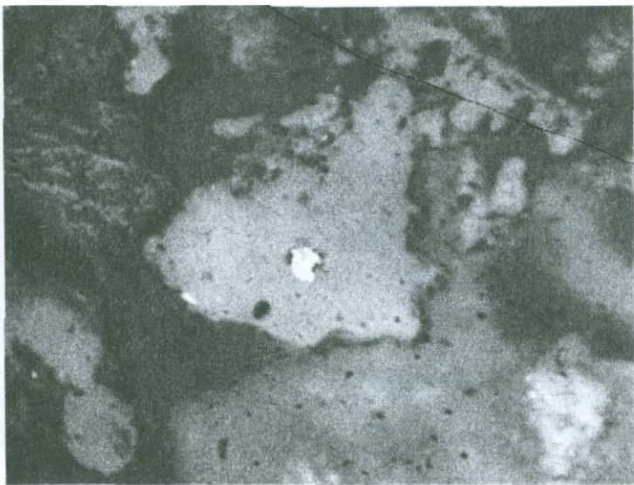


Рис. III.24. Морфологические разновидности кристаллов отенита (метаторбернита) в гранит-аплитах. Полусферический (фрамбоидный) кристалл отенита. Аншлиф. Ув. $\times 250$.

Теоретическое обоснование полученных данных о месте уранового оруденения в процессе формирования рудно-магматической системы имеется в фундаментальной работе Дж.Т. Нэша, Х. Гейнджера и С.С. Адамса (1984). Они установили, что в процессе кристаллизации магмы уран накапливается в остаточных флюидах до тех пор, пока не возникают условия для изоморфного вхождения или для образования собственных минералов. Авторы подчеркивают, что в силикатных расплавах в значительной степени поддерживаются довольно низкие значения Eh, что препятствует образованию уранила и его соединений. “Эта обстановка сохраняется вплоть до постмагматической стадии или до тех пор, пока внедрение интрузии в сильно окисленные породы или ее контакт с атмосферой (выход на поверхность) не вызовут возрастания фугитивности кислорода” (Нэш и др., 1984). О природных концентрациях урана на “последней стадии собственно магматического процесса” свидетельствуют также Д.Я. Суражский, (1956), В.Е. Бойцов и А.А. Верчеба (2008).

Таким образом, предварительные исследования по выяснению ураноносности жильно-магматических образований завершающей стадии развития эоцен-олигоценового вулканоплутонического комплекса Армении показали, что уран-ториевое оруденение локализовано в граносиенит-порфириновых жилах, основными минералами которых являются полевые шпаты (микроклин, серицитизированный плагиоклаз), кварц, биотит, мусковит, а также акцессорные монацит, циркон и ксенотим.

4.3. Золото-уран-железистый тип в рифтогенных конгломератах и конглобрекциях Армении

Подробно золото-ураноносность рифтогенных конгломератов и конглобрекций нораревикской свиты плиоценового возраста рассмотрена в разделе 1, глава 1.5.

4.4. Золото-уран-железистый тип в андезитовых туфобрекчиях

Зовашенское проявление урана расположено в 2 км к северо-востоку от с.Зовашен Араратского марза, в ущелье р.Зовашен. Участок сложен туфобрекчиями трахитов и андезитов олигоцена, перекрывающихся покровом андезитов миоплиоцена.

Образования олигоцена имеют широкое распространение, мощностью 100-120 м, интенсивно изменены, обохрены, а также пиритизированы. В ущелье р.Зовашен в них установлена вторичная урановая минерализация, представленная "различно окрашенными урансодержащими гиалитом, отенитом и уранофаном" (Кочарян, 1969). Содержание урана прямо пропорционально степени интенсивности изменения рудовмещающих туфобрекчий. В этом сказалась сорбирующая роль водных окислов железа. Глубина распространения урановой минерализации на этих участках колеблется в пределах 1,5-7 м, при среднем содержании урана 0,2% (от 0,028 до 0,671%). Выходы урановой минерализации опоиствованы короткометражными подземными выработками. В большинстве случаев оруденение морфологически представлено линзами в пиритизированных, почти черных туфобрекчиях андезитов (цвет

урановой черни).

Зовашенское проявление относится к инфильтрационным месторождениям собственно уранового типа. По данным П.С. Саакяна и др. (1955), рудопроявление возникло за счет выщелачивания и переотложения урана из пород миоплиоценового возраста, широко представленного в районе в виде экструзивных и эффузивных трахириолитов и трахиандезитов. Процессу выщелачивания и переотложению урана способствовали серно-кислотные воды от региональной пиритизации рудовмещающих пород.

Перспективы Зовашенского проявления связываются с крупной Зовашенской синклинальной структурой, погребенной под покровом андезитов и туфобрекчий плиоценового возраста на площади 7км².

Глава 5. ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ (ГИДРОГЕННО-ХЕМОГЕННЫЕ) ПРОЯВЛЕНИЯ В ТЕРРИГЕННО-УГЛЕСЛАНЦЕВЫХ КОМПЛЕКСАХ АРМЕНИИ

В группе инфильтрационных (гидрогенно-хемогенных) проявлений на данной стадии исследований выделяется только один золото (платина)-уран-железистый тип в терригенно-углесланцевых комплексах. Это для Армении новый тип и выделяется впервые.

5.1. Золото (платина)-уран-железистый тип в терригенно-углесланцевых комплексах. (обзор литературы)

Первые сведения об урансодержащих углях появились в 1875 г. в описаниях Бертауда по шахте Лейден (Денвер, штат Колорадо, США).

Исследования по радиоактивности терригенно-углесланцевых комплексов получили новый импульс после открытия американскими учеными А.Л. Слотером и Дж.М. Нельсоном в 1946 г. урансодержащих углей в районе Ред Дезерт в центральной части штата Вайоминг, а в 1948 г. Д.Г. Уайнетом и Е.П. Берони – урансо-

держащих лигнитов^{*)} в палеоценовой свите Форт Юнион в северной части Великих равнин (шт. Северная Дакота). По меткому выражению Я.Э. Юдовича, началась “подлинная эпидемия урановой лихорадки”, в результате которой “подобно тому, как изучение германия в углях двинуло вперед геохимию углей, так и изучение урана дало мощный толчок изучению геохимии черных сланцев” (Юдович, Кетрис, 1994). Были выявлены новые месторождения радиоактивных лигнитов в штатах Айдахо, Нью-Мексико и Вайоминг. В дальнейшем ураносодержащие углесланцы были обнаружены на обширной территории США, СССР, Швеции, Великобритании, в Центральной Африке, Аргентине и других странах.

Важным рубежом в обобщении материалов по ураноносности углей и сланцев в середине XX века явилась Женевская Международная конференция по мирному использованию атомной энергии (1955 г.). На этой конференции был проанализирован и обобщен (в обзорных докладах) весь накопленный материал в этой области и намечены ориентиры на ближайшее и перспективное будущее. Материалы этой конференции были опубликованы и стали достоянием всех специалистов, занимающихся минерально-сырьевыми ресурсами радиоактивных элементов. К сожалению, советские специалисты свои материалы по ураноносному сырью докладывали и в последующем публиковали по “анонимным” объектам, что нанесло и до сих пор наносит существенный урон развитию геологической науки в этой области и делают почти бессмысленными ссылки на эти работы.

Современный этап в исследованиях металлоносности углей и черных сланцев начался в 1987-1991 гг. с международного проекта “*Metalliferous black shales*”. По этому проекту в мире и, в частности, в СССР, был проведен большой объем исследований, ре-

^{*)} Под термином “лигнит” в США понимают бурый уголь калорийностью более 8300 британских тепловых единиц (Btu). Термин “бурый уголь” употребляют только для мягких бурых углей калорийностью менее 8300 Btu. К суббитуминозным углям относят угли, примерно отвечающие маркам длиннопламенных и переходных от бурых к длиннопламенным. Различают С, В и А марки суббитуминозных углей, из которых первая близка к лигниту (Юдович, 1989).

зультаты которых опубликованы и доступны для практического использования и теоретических обобщений. При этом особое внимание уделялось редким и благородным металлам. Для нас большой интерес представляет фундаментальная монография Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис “Элементы-примеси в черных сланцах” (1994).

В настоящее время существует довольно обширная научно-техническая литература по металлоносности углей и черных сланцев, что является надежной базой для теоретических обобщений и выдвижения научно-производственных задач. Опять следует сожалеть, что Кавказский регион выпал из поля зрения международного проекта и углесланцевые комплексы региона остались неизученными на предмет их металлоносности. Идея о металлоносности углесланцевых комплексов Армении нами была выдвинута в начале 2000 г. и частично реализована, о чем было сказано выше.

Прежде чем изложить результаты наших исследований по радиоактивности углесланцевых комплексов Армении, считаем нужным привести краткий обзор литературного материала по углям и сланцам мира, что поможет нам правильно интерпретировать новый фактический материал и наметить важные задачи, подлежащие исследованию в будущем. Это одно из первых наиболее полных обобщений в армянской геологической литературе.

Необходимо отметить, что публикации по ураноносности терригенно-углесланцевых комплексов за последние десятилетия значительно сократились и к тому же в России (ранее в СССР) эти материалы засекречены. Поэтому в настоящем обзоре это сказывается, хотя в принципе геохимические особенности концентрации урана в углях и сланцах достаточно хорошо изучены. Имеются обобщающие фундаментальные работы А.А. Ягжина (1961), Х.У. Хейнриха (1962), Л.С. Евсеевой, А.И. Перельмана и К.Е. Иванова (1974), В.И. Данчева (1963, 1972, 1973, 1977, 1980), С.Г. Батурина с соавторами (1965, 1980), Ф.И. Вольфсона и К.Г. Королева (1990), В.Е. Бойцова, Г.Н. Пилипенко и Н.А. Солодова (1999), В.Е. Бойцова и А.А. Верчеба (2008), в которых рассматриваются и анализируются материалы по ураноносности геологических формаций и оцениваются перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов отрасли.

Огромный фактический и теоретический материал по геологии урановых месторождений различных генетических типов, по геохимическим особенностям концентрации радиоактивных элементов и вопросам генезиса радиоактивного сырья содержатся в исследованиях советских ученых: Д.Я. Суражского (1953), С.М. Манской с соавторами (1964, 1965), Б.А. Власова и И.М. Воловиковой (1966), А.И. Перельмана (1972), А.И. Тугаринова (1972), Ф.Я. Сапрыкина с соавторами (1973), А.К. Лисицына (1975), С.Г. Неручева (1982), Е.М. Шмариовича с соавторами (1986), Я.М. Кислякова и В.Н. Щеточкина (2000).

Наиболее полные сведения об ураноносности углеспанцевых комплексов имеются по месторождениям США. Содержания урана промышленного значения обнаружены в углях и сланцах всего разреза фанерозоя и в более древних отложениях. Урансодержащие угли обнаружены на территории различных штатов США. Основными месторождениями урансодержащих углей являются низкосортные (бурые, высокозольные) угли мелового и третичного возраста в северной части Великих равнин и в Скалистых горах.

Угли (от битуминозных до антрацитовых) палеозойского возраста в восточной части США содержат 0,001-0,005% урана, редко около 0,019% (штат Пенсильвания). Следует отметить, что ураноносные не только угли, но и подстилающие их глины и глинистые сланцы. Содержания те же, однако иногда встречаются глины с содержанием урана 0,017%. В западной части США развиты угли мелового и третичного возраста, которые характеризуются относительно повышенным содержанием урана. Часто встречаются угли с содержанием урана в несколько процентов, на которых проводились добычные работы (штаты Колорадо, Северная и Южная Дакота). Эоценовые полубитуминозные формации Уосеч (округ Суитвотер, штат Вайоминг) содержат уран от 0,001 до 0,05% (в золе углей содержание урана от 0,003 до 0,023%), а угли мелового возраста того же типа – до 0,1% урана (округ Сендовел, штат Нью-Мексико). В палеоценовых лигнитах, широко распространенных в сланцевых глинах формации Форт Юнион (Ландлоу, Тонг-Ривер, Сентинал Бютт, а также в штатах Ю. Дакота, С. Дакота и Монта-

на), содержание урана составляет от 0,001 до 10%^{**}). Добыча лигнитов производилась в Кейв Хиллс (округ Гардинг, шт. Ю. Дакота) при содержании 0,4% U_3O_8 . Было добыто более 600 т лигнитов. Наиболее высокие концентрации урана характерны для угольных пластов, перекрытых галечниками миоценового возраста. В этих углях установлены повышенные концентрации галлия, германия, железа, молибдена, свинца, ванадия и редких земель.

Повышенные содержания урана (от 0,1 до 3-5 и >%) установлены в лигнитах палеоценового возраста в округе Нардинг (шт. Южная Дакота). На месторождении Билли Дейя запасы урана составляют более 5000 т при среднем содержании 0,4% U_3O_8 . Добычные работы проводились на месторождениях Лоусам Пит и Хилтон Майн, где в общей сложности был добыт значительный объем руды со средними содержаниями (%): U_3O_8 – 0,34-0,33; V_2O_5 – 0,02-0,04; $CaCO_3$ – 6,1-3,4. Огромные запасы урансодержащих углей были обнаружены в штатах Монтана и Дакота со средним содержанием урана 0,008% (в золе – 0,05-0,1%). В штате Вайоминг обнаружено уникальное шрекингеритовое месторождение ($NaCa_3[UO_2 \cdot FSO_4 \cdot CO_3]_3 \cdot 10H_2O$).

В США было опробовано свыше 200 свит на содержание урана, сложенных черными сланцами различного возраста – от докембрийских до третичных. Богатые ураноносные сланцы сопровождаются большим содержанием органического вещества (в виде растительных остатков), пирита и фосфатного вещества; они содержат мало углекислого кальция и при сухой перегонке дают смолу. Сланцы Чаттануга девонского возраста и стратиграфически коррелирующиеся с ними горизонты на большей части территории восточных и центральных штатов США содержат уран от 0,001 до 0,035%. В черных сланцах Скалистых гор и в районе Великих рав-

^{**}) Данные по урансодержащим углям, лигнитам, битуминозным углям, глинистым и черным сланцам приводятся по материалам Женевской Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в 1955г: 1. Геология атомных сырьевых материалов. М., Госгеолтехиздат, 1956, 508с. 2. Геология урана и тория. М., Объединенные нации, 1958, том VI., 966с.

нин содержание урана составляет от 0,005 до 0,01%. Возраст отложений различный: от докембрийского до позднемелового.

В Швеции (провинция Нерки) в углях кальме содержание урана составляет около 0,33%. Аналогичные данные получены по углям Йоркшира Великобритании, Центральной Африки (Карри и Ньясаленд), Аргентины (Кукуй и Эской), СССР, Чили, Франции, Португалии, Испании, Австралии, Бразилии и т.д.

Более сложно строение ураново-редкометалльных углей России, Казахстана, Узбекистана и Киргизии, расположенных во впадинах Урало-Алтайского региона и связанных с юрскими отложениями. Большинство объектов здесь связано с инфильтрационными процессами в юрских (отложениях) песчаниках. Ураново-редкометалльное оруденение контролируется зоной окисления и восстановления в проницаемых песчаниках, а угленосные пласты обогащаются рудными компонентами на тех участках, где они контактировали с урансодержащими растворами. Наиболее крупным объектом является месторождение Кольджат; разведаны Туракавакское, Джильское, Нижнеилийское, Бозшакольское и Донское месторождения. Установлено, что в бурых углях Кольджатского месторождения кроме урана концентрируются Se, Mo, Cu, Th, Be, Ag; в Джильском месторождении – Mo, Ge, Be, V; в Туракавакском – группа редких земель и Mo (Кисляков, Щеточкин, 2000; Холодов, 2006). Это объекты следует рассматривать как геотипы эпитермальных ураново-редкометалльных месторождений “пятиметалльной формации” (U, V, Co, Ni, Mo).

Сходные закономерности распределения химических элементов были ранее установлены в других регионах. Исследование угленосных отложений верхнедудьской свиты о-ва Сахалин показало, что максимальное содержание элементов-примесей в углях сопоставимы с их концентрациями во вмещающих песчаниках, алевролитах и глинах, а иногда даже уступают им (Баранов, 1966). При этом характерно, что угли этого региона, имеющие возраст эоцено-олигоцен, находятся на стадии коксующихся, реже длиннопламенных и, несмотря на сравнительно молодой возраст, испытали воздействие эффузивного и регионального метаморфизма (Холодов, 2006).

В.Н. Холодовым (1968, 1973, 2006) детально изучены ураново-редкометалльные месторождения Каратау-Баласаускандык и Джебаглы, локализованных в пределах хр.Каратау. Район представляет собой сложную систему антиклинориев, вытянутую на 400км в северо-западном направлении, примерно параллельно среднему течению р.Сыр-Дарьи. Продольный Ферганский разлом (сдвиг) является границей хр.Большого Каратау на юго-западе и Малого Каратау на северо-востоке, в районе г.Джамбул. В ядрах крупных антиклинориев обнажаются отложения венда и нижнего палеозоя, представленные черносланцевыми толщами и фосфоритоносными отложениями. Углеродисто-кремнистые и углеродисто-глинистые отложения имеют мощность 80-500м и перекрываются карбонатными толщами кембрий-ордовика. Рудоносный горизонт залегает в основании толщи, имеет мощность 9-12м и содержит минералы урана, меди, ванадия и других химических элементов. Содержание урана колеблется в пределах 0,05-0,1%, пятиокиси ванадия – 0,2-2,5%, P_2O_5 - от 3-5% до 24-26%.

На фоне месторождений Баласаускандык и Джебаглы (Казахстан) выделяются единовозрастные с ними (венд-кембрий) золото-платиновое месторождение Мурунтау (Узбекистан), золото-вольфрамовое месторождение Кумтор (Киргизия), ванадий-уран-селеновое и вольфрам-киноварь-висмутовые рудопоявления Янзюзятаня и Душаная (юго-западный Китай), молибден-вольфрамовые месторождения Пхеньяна (Корея). Особое место занимают кварцевые сланцы южной Швеции, в которых установлено очень высокое содержание U и V (Хейнрих, 1962).

В девонских (пенсильванских) углеродистых сланцах Чаттануга (шт.Теннесси, Алабама, Кентукки, США) известны высокие содержания U, Mo, Sn и As. Молибденовый модуль этих образований позволяет однозначно отнести их к бассейнам с ярко выраженным сероводородным заражением вод.

В пермских углеродисто-кремнистых сланцевосных толщах формации Фосфория, в месторождениях шт.Айдахо (США) содержится от 1,5 до 2,5% V_2O_5 , до 0,1% Mo, до 0,3% Ni, до 0,1% Se. Хорошо изучены также пермские (цехштейновые) углеродистые слан-

цы Манфельда (Германия), в которых накапливались Cu (1-5%), Pb (0,5-0,6%), Zn (до 0,5%), а также Ag, U, V, Ni, Co, Mo.

В целом, геохимическая специализация черносланцевых толщ заметно эволюционирует во времени: от золоторудной в архейских зеленокаменных поясах она переходит к U-V-Mo-W в венде и кембрии, затем к U-V-Mo в верхнем и среднем палеозое (Холодов, 2006).

Уран обычно относят к наиболее биофильным элементам, что связано с токсичностью его соединений. По мнению Я.Э. Юдовича, этим объясняется тот факт, что поглощение урана растениями ограничено физиологическим барьером; среднее содержание урана в золе растений суши варьирует в пределах 0,1-0,5г/т (Юдович, 1989).

Концентрация урана в углеродсодержащих веществах дало основание некоторым исследователям предположить, что уран был адсорбирован живыми растениями и животными. Исследования Дж. Гоффмана в неураноносном районе Вены и Г. Кэннона в ураноносной провинции плато Колорадо показали, что различные растительные вещества и животные, адсорбирующие уран из растений в процессе пищеварения, в принципе содержат ничтожное количество (1-3 ррт) урана, крайне недостаточного для того, чтобы объяснить наличие больших концентраций (процентов) урана в углеродсодержащих веществах. На основании вышеизложенного делается вывод, что причиной концентрации урана в месторождениях углеродсодержащих веществ должны быть вторичные процессы (Брегер, Дьюл, 1956).

Интересные данные приводятся о концентрации урана растениями. Считается, что более высокоорганизованные растения слабее поглощают уран, чем низкоорганизованные, т.е. допускается, что в ходе биологической эволюции развивается у растений способность дискриминировать уран. Иначе говоря, палеозойские угли должны быть более ураноносными, чем мезо-кайнозойские (Юдович, 1989). Исследования А.П. Лопаткиной с соавторами показали, что концентрация урана начинается сразу после отмирания растительности и попадания ее в воду, обогащенную ураном, т.е. в результате контакта отмершего растения с водой. Например, в хвое

живой лиственницы содержание урана составляет 0,9г/т, в отмершей (опад) хвое – 1,2г/т, а в хвое из мха в мочажине – 76г/т (Лопаткина и др., 1970; Лопаткина, 1967).

В чем причины низкого содержания урана в живом веществе? На этот вопрос дают ответ результаты исследований Л.С. Евсеевой с соавторами (1974), а именно: “главная причина малого содержания урана в живом веществе заключается в ядовитости урана. Растворимость его соединений играет скорее всего отрицательную, чем положительную роль. Известно, что химические элементы 6-ого и 7-ого рядов Периодической системы являются сильными ядами. Таковы ртуть, таллий, свинец и уран. Ядовитость урана определяется именно его химическими свойствами, а не радиоактивностью, т.к. радий, значительно более радиоактивный, чем уран, энергично поглощается организмами.” И далее: “чем проще организовано растение, тем энергичнее оно поглощает уран”, а “семена высших растений значительно более чувствительны к ядовитому действию солей урана, чем микроорганизмы: мхи содержат в золе больше урана, чем высшие растения” (Евсеева, Перельман, Иванов, 1974; Лопаткина, Комаров, Сергеев, Андреев, 1970; Мураками Ю. и др., 1959).

Считается, что сингенетическое накопление урана в торфяниках само по себе не способно образовать концентрации урана промышленного значения. Здесь считаем нужным отметить, что в очень древних органических комплексах – в докембрийском “углероде” Баброско в Южной Африке или в кембрийском калье Швеции – уран имеет, по всей вероятности, водорослевое происхождение, а тухолит (углеподобный углеводород, твердый битум), встречаемый в Канаде, имеет магматическое происхождение, при этом допускается, что органическое вещество произошло из нефти, которая просачивалась из палеозойских пород (Брегер, Дьюл, 1956; Ягжин, 1961). Интересный случай наложения эпигенетического рудного процесса на слабое сингенетическое накопление урана приводится В.Н. Данчевым и Н.П. Стреляновым. Анализ фактического материала дает им основание утверждать, что источником урана и других редких элементов являются гранитоиды, а по условиям образования ураноносные угли они относят к классу место-

рождений экзогенеза, т.е. допускают, что рудные концентрации возникли еще на стадии торфообразования, а последующее эпигенетическое их перераспределение было незначительным по масштабам (Данчев, Стрелянов, 1979).

Многочисленными исследованиями доказано, что наиболее повышенные концентрации урана характерны для наиболее зольных разновидностей бурых углей. Каменные угли имеют невысокую концентрацию, а антрацитовые - в еще меньшей степени. Исследования А.З. Юровского показали, что по мере усиления степени углефикации угольной массы количество элементов-примесей несколько сокращается, о чем свидетельствуют данные по среднему содержанию металлов в углях некоторых угленосных бассейнов России. Расчеты показали, что почти все металлы в углях в среднем заметно уступают своему кларковому содержанию в стратосфере (Юровский, 1968). Высокосортные малозольные угли, наиболее пригодные в качестве топлива, редко содержат уран. Экспериментальными исследованиями Дж.У. Мура показано, что торф, лигнит и полубитуминозный уголь адсорбируют из водного раствора 98% урана, в то время как битуминозный уголь и антрацит – соответственно лишь 17 и 34%. Дальнейшая (поступательная) углефикация залежей увеличивает плотность (и кристалличность) углей и уменьшает их способность извлекать элементы-примеси из поверхностных, подземных, пластовых и грунтовых вод (Моогс, 1954; Рожкова, 1959). Интересные сведения по данному вопросу опубликованы В.Н. Холодовым. Он отмечает, что переход каменных углей в антрацит в Донбассе сопровождался их молекулярной перестройкой и упрощением молекул, а это, в свою очередь, вызвало высвобождение химических элементов из органического вещества, их растворение в водах и газоводных флюидах и перераспределение внутри угленосной осадочной толщи. В результате возникают формационные связи концентраций элементов-примесей, они накапливаются в различных частях угленосных толщ, нередко в связи с зонами повышенной проницаемости и трещиноватости. Локализация рудопроявлений контролировалась при этом не одним пластом углей, а всей угленосной формацией региона (Холодов, 2006). Аналогичные выводы в свое время сделали Ф.Я. Сапрыкин, В.Р. Клер и

А.Ф. Кулачкова (1973). Следует отметить, что по мнению В.Е. Бойцова и А.А. Верчеба, с увеличением степени метаморфизма углей органическое вещество полимеризуется, снижается степень его химической активности и сорбционная способность (Бойцов, Верчеба, 2008).

Исследования также показали, что более 90% урана в лигнитах находится в виде ураноорганических соединений, содержащихся в основном в органическом веществе лигнитов, а не в неорганических примесях – анальците, ярозите, кварце, гипсе, кальците и глинистых минералах. На этом основании делается вывод, что уран в угле представлен ураноорганическими комплексами, не растворимыми при рН от 3 до 6 (Вайн, 1958). В издании 1962 года Дж.Д Вайн говорит об обнаружении корреляции урана в высокозольных углях с кальцием, магнием и железом.

Экспериментальные исследования З.А. Некрасовой показали, что легко уран адсорбируется на угле из растворов его азотно-кислых и серно-кислых солей. При этом подчеркивается одно очень важное обстоятельство: *“уменьшение размера сорбента и увеличение в нем количества минеральных примесей оказывает положительное влияние на сорбцию”*(курсив наш) (Некрасова, 1957). Нам представляется, что последним обстоятельством, по-видимому, обусловлена повышенная концентрация урана в высокозольных бурых углях. Материалы по Армении еще раз подтверждают это предположение (Г. Алоян, 2008).

Здесь считаем нужным изложить точку зрения Я.Э. Юдовича по данному вопросу, которая идет вразрез со всеми имеющимися представлениями. Он считает, что не зольность определяет степень концентрации урана в углях, а ураноносность определяет зольность углей. Я.Э. Юдович, ссылаясь на исследования Дж.Д Вайна (1962), подчеркивает, что в высокозольных углях он обнаруживает корреляцию урана с Са, Mg и Fe, в то же время ничего не говорит о том, что наиболее зольные угли могут, например, сорбировать больше урана, чем низкозольные. Я.Э. Юдович считает, что *“скорее должно быть наоборот, поскольку в последних больше органического вещества”* и *“процессы уранового оруденения и выветривания суть одни и те же”* (Юдович, 1989), т.е. делает заключение,

что “высокозольные угли сами по себе не являются предпосылкой для уранового оруденения, а высокая зольность возникает как неизбежный параллельный результат процессов оруденения”. По его мнению, химизм процесса состоит в том, что образующиеся при выветривании угля гуминовые кислоты связывают не только уран, но и Са, Mg, Fe, “давая сильно повышенную зольность” (Юдович, 1989). Трудно согласиться с этим утверждением, т.к. в противном случае все высокозольные угли можно рассматривать как урановые руды, что в практике не наблюдается. Постановка вопроса свидетельствует о необходимости в каждом конкретном случае обратить особое внимание на механизм избирательной концентрации урана в углях.

В действительности, как пишет сам Э.Я. Юдович, “ураноносные угли – это лишь ничтожная по своей массе доля мировых запасов углей”.

1. Исследованиями было установлено, что естественная радиоактивность (кларковые содержания) углей на 70-90% обусловлена радиоактивными рядами урана и тория, при почти равных (соизмеримых) долях, и лишь на 10-30% обусловлена калием. Отношение Th/U было близко к таковому в нормальных осадочных породах (2-4г/т), но заметно росло по мере увеличения зольности. Содержания Th и U хорошо коррелируются с величиной зольности, но торий коррелируется сильнее.

2. Исследования показали, что естественная радиоактивность не имеет прямой связи ни с петрографическим составом углей, ни с содержанием в нем аутигенных минералов – пирита и кальцита. Суммарную гамма-активность контролирует только зольность, а точнее ее глинистая терригенная составляющая. Именно в ней находится львиная доля всего кларкового содержания U, Th и K. Сравнительный анализ содержания урана в углях (1-1,5г/т) и во вмещающих аргиллитах (1,4-2,3г/т) показал, что одна только глинистая примесь не может обеспечить необходимое содержание. Делается вывод, что значительная доля кларкового урана в углях должна присутствовать и в составе “сорбционной золь”, т.е. вещество торфа сорбировало некоторое количество урана из торфяных вод.

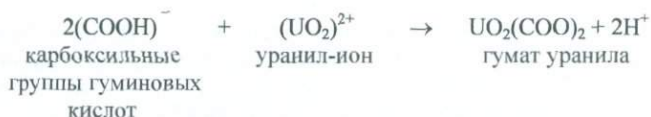
3. Экспериментальные данные А.П. Лопаткиной и А.В. Коченова показали, что прочное связывание урана из раствора на торфе возможно при условии подщелачивания среды торфяника; в очень кислых средах этого не происходит.

При формировании высокозольных углей и углекислых пород торфяные воды подщелачивались (и обогащались ураном) за счет частичного растворения в них обильной терригенной взвеси. Напротив, при формировании малозольных углей среда торфяного болота была наиболее кислой, неблагоприятной для сорбционного поглощения торфом урана.

Специальные расчеты И.В. Рязанова показали, что существует сорбционный оптимум, т.е. оптимальное значение pH древнего торфяника – порога зольности, при котором имеют место сорбционные процессы. Определена цифра оптимальной зольности – 70-80%, выше которой углистые породы не содержат сорбционного урана.

4. Я.Э. Юдович (1989) разграничивает механизм “кларковой” и “рудной” концентрации. Отличие кларковых процессов от рудных состоит в том, что первые существенно многофакторны, а вторые существенно однофакторны, т.е. зависят исключительно от значительного привноса урана.

5. Многолетние экспериментальные исследования А. Салаи показали, что процессом связывания урана органическим веществом торфа или лигнита является катионный обмен по схеме:



Последующие исследования советских ученых показали, что процесс связывания урана органическим гумусовым веществом протекает значительно сложнее.

1. В осадке гуминовых кислот уран (VI) эффективно фиксируется в форме нерастворимого гумата уранила на торфе лишь в узком диапазоне pH (между 4 и 5), за пределами которого ураноорганические компоненты являются хорошо растворимыми (Манская и др., 1964, 1975). Максимальное обогащение осадка (82% извлечения урана из раствора) происходит при pH = 4,73. Для фульвокислотной фракции торфов максимальное связывание урана в форме нерастворимого фульвата уранила приходится на значения pH, близкие к нейтральным (7-7,5). При опытах с натриевым карбонатом уранила $\text{Na}_4\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2$ максимум связывания с фульвокислотами приходится на pH = 6-6,6. Отметим, что по данным некоторых исследователей, максимальное количество элементов-примесей извлекается бурными углями в восстановительной и слабо-кислой среде, при pH = 5-6 (Лисицын, 1975).

Результаты экспериментов убедительно показали, что отдельные группы гуминовых кислот по-разному взаимодействуют с уранилом, хотя все они способны фиксировать уран в форме нерастворимых соединений в зависимости от pH среды. Распределение урана, захваченного торфом, имеет следующий вид: на гуматы приходится только 10,2%, а на фульваты – 80,5% всего урана (Юдович, Кетрис, 1994).

2. Экспериментальные исследования П.Ф. Андреева и его сотрудников по поглощению урана из раствора нитрата уранила лигнитом, целлюлозой, древесной мукой, т.е. соединениями, в которых еще нет кислых функциональных групп, показали следующее: до начала гумификации поглощение идет почти исключительно за счет образования оксониевых ком-

понентов на целлюлозе и лигните. **Ионный обмен становится возможным только с появлением в органическом веществе кислотных групп.** Позже окислительно-восстановительные процессы внутри сложных урано-органических комплексов приводят к восстановлению части U(VI) до U(IV), а смесь оксидов четырех- и шестивалентного урана дает псевдоморфозы по исчезающей в результате окисления растительной ткани (Андреев, Андреева, Рогозина, 1962). На этой основе П.Ф. Андреев и А.Т. Чумаченко (1964) предложили схему циклического самопроизвольного накопления урана в ОВ в результате чередования процессов сорбции U(VI) и восстановления его до U(IV), **причем восстанавливается только тот уран, который перешел из раствора в состав органического комплекса.** В результате равновесие сдвигается в сторону извлечения новых количеств урана. Процесс идет до тех пор, пока не будет израсходовано органическое вещество или не прекратится поступление урансоздающего раствора (Евсеева, Перельман, Иванов, 1974).

Электронно-микроскопическими исследованиями А.В. Коченова и соавторов (1971, 1981) показано, что одновременно с сорбцией происходит практически выделение минеральной фазы и при наличии высоких концентраций гумусового органического вещества уран фиксируется из раствора хемосорбционным путем, но затем восстанавливается и частично кристаллизуется в виде кубических оксидов (или коффинита), а также колломорфных выделений вокруг пирита.

6. По данным С.М. Манской и Т.В. Дроздовой (1964), гумусовые вещества углей, торфов или окисленных битумов являются не единственными органическими соединениями, связывающими уран из природных растворов. Этими качествами наделены также некоторые природные азотистые соединения – особенно меланоиды – продукты взаимодействия белков и углеводов. На это указывала также З.А. Некрасова (1957).

Таким образом, сингенетическое накопление урана, происходящее на кларковом фоне, имеет место не во всех случаях (обстановках). При нормальном торфогенном процессе в кислой среде основная часть урана удерживается в растворе в форме растворимых фульватов и может быть вынесена за пределы торфяника. Осаждения урана можно ожидать, **во-первых**, при существенных подщелачиваниях среды, вплоть до нейтральных значений, и, **во-вторых**, при наличии азотистых соединений, делающих возможной реакцию меланоидообразования (Юдович, 1989).

Петрографические исследования показали, что условия осадконакопления не влияют на концентрацию угля, т.е. не наблюдается зависимости между содержанием урана и петрографическим составом угля. Наиболее разложенный растительный материал адсорбирует наибольшее количество угля. В большинстве американских месторождений мелового и третичного возраста уран адсорби-

ровался углями из грунтовых водных растворов и фиксировался органическим веществом угля. Уран является одной из неорганических эпигенетических составных частей угля. Конечно, петрографический состав угля не играет важной роли в концентрации урана, однако отметим, что физико-механические параметры вмещающих пород (следовательно, и петрографический состав, трещиноватость, дислоцированность и т.д.), играют важную роль в инфильтрационных процессах. Отсюда происходит понятие “проницаемость” пород, что включает не только пропускную – фильтрационную способность, но и пористость, дислоцированность, положение в общей структуре, трещиноватость и т.д. Под проницаемостью пород обычно понимают их способность пропускать жидкость при гидравлическом градиенте (Джобин, 1954). Этот параметр наиболее эффективен для вышележащих и контактирующих с углями пород. Детальное описание таких примеров приводит Дж. Вайн для северной части Великих равнин и для района Скалистых гор. Большие концентрации урана в угольных пластах наблюдаются вблизи от проницаемых слоев песчаников, независимо от их стратиграфического положения (угольные пласты в эоценовой формации Уосач в Ред Дезерт). Г. Мазурский, рассматривая процесс накопления урана и редких элементов в свитах Уосач и Грин Ривер, отмечает следующее. Самые высокие концентрации урана в углях встречены в наиболее приподнятых участках в Крестон Ридж, где угольный пласт свиты Уосач непосредственно покрыт конгломератами (миоценового возраста). Содержание урана здесь в угольном пласте составляет 0,051%, в то время как пласт, лежащий на 40 футов ниже, содержит менее 0,001% урана. По мнению Г. Мазурского, это обусловлено проницаемостью пород. Оказывается, что песчаники характеризуются водной проницаемостью около 270 миллидарси, а сланцы имеют проницаемость менее 0,1 миллидарси. Широкое распространение концентраций урана и других редких элементов в пластах углей, богатых органическими веществами, сланцах и глинах в контакте с высокопроницаемыми крупнозернистыми песчаниками, дает основание предположить, что эти элементы являются эпигенетическими и привнесены грунтовыми водами, циркулирующими через эти породы. К тому же, уголь извлекает не только

уран из раствора, образуя металлоорганические соединения (Мазурский, 1958).

Для некоторых месторождений наблюдается структурный контроль. Самая высокая концентрация урана в Груз Крик была обнаружена вдоль мульды и крыльев широкой синклинальной складки (Ла Вентана Меса, Ред Дезерт). На отдельных месторождениях концентрация урана увеличивается вблизи нарушений – сбросов (Ла Вентана Меса) (Вайн, 1956). В.И. Маккелви с соавторами подчеркивают, что повышенные концентрации урана проявляются в его неравномерном распределении в отдельных пластах, в региональной связи с несогласиями, в местной концентрации по трещинам, в проницаемых пластах и т.д. (Маккелви и др., 1956). Особое внимание проницаемости пород уделил П.Ф. Керр (1956). По данным Ф.Р. Джобина, из пород плато Колорадо сланцы, аргиллиты, эвалориты и известняки считаются породами, не пропускающими жидкость, а конгломераты, песчаники считаются пропускающими жидкость породами (Джобин, 1954). В обзорном докладе Комиссии по атомной энергии США в Женеве (1955г) приводится подробное описание проницаемости пород и концентрации урана на наиболее детально изученном месторождении полубитуминозных углей в Грейт Дайвайд Бейсн (округ Суитоутер, шт.Вайоминг). Месторождение шрекингерита приурочено к грабену эоценовых ураноносных углей. Самые мощные (до 12м) угольные пласты залегают сравнительно узкой полосой в мульде синклинали, сложенной невыдержанными пластами сильно проницаемых крупнозернистых аркозовых песчаников и менее проницаемых глин, глинистых сланцев, алевритов, тонкозернистых песчаников и битуминозных сланцев. Наиболее высоким содержанием урана отличаются угольные пласты, перекрытые галечниками миоценового возраста. Как правило, содержание урана возрастает по мере увеличения проницаемости пород (обзорный доклад КАЗ США, 1956).

Интересные данные по проницаемости пород, перекрывающих ураноносные лигниты, приводятся по материалам речных отложений раннетретичного (палеоцен) или позднемелового возраста, мощностью до 600м, в западной части штатов Северная и Южная Дакота и в восточной части шт.Монтана. Эти отложения пере-

крываются толщей слабо радиоактивных туфов и бентонитовых глин олигоцена и миоцена, мощностью более 75м. Граница речных отложений и туфогенно-терригенных отложений выражена несогласием. Лигниты, расположенные в непосредственной близости к поверхности несогласия, имеют довольно высокую концентрацию радиоактивного элемента (от 0,005 до 0,02%, в среднем 0,008%). Часто встречаются отенит и метацейнерит ($\text{Cu}[\text{UO}_2\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). В этих лигнитах содержание урана достигает 5%. Предполагается, что уран в лигнитах и каменных углях был выщелочен из выщележащих туфогенных образований.

Урановые минералы не встречаются в углях, где его содержание меньше 0,1%. Урановые минералы образуются в углях только тогда, когда количество урана больше того, что может быть связано органическим веществом. Однако в отдельных случаях, например, в лигнитах и полубитуминозных углях, встречаются карнотит, отенит, торбернит, коффинит, метацейнерит (Вайн, 1958). Отметим, что впервые в лигнитах (бурых углях) шт.Юж. Дакота в 1954 г. был обнаружен собственный минерал урана – карнотит, что послужило новой “конъюнктурной волной”. При содержаниях урана $>0,1\%$ считается, что уголь можно рассматривать как урановую руду (Юдович, 1989).

Уран в углях проявляется в основном в виде настурана и урановой черни, которые большей частью находятся в тонкорасеянном недиагностируемом состоянии. Морфологические формы проявления настурана в углях многообразны. По описаниям З.А. Некрасовой, он проявляется в виде мелких тонких прожилков, в виде неправильных скоплений и тонкой вкрапленности, редко в форме неправильных зерен, корродирующих эпигенетические кристаллы пирита и сфалерита, а иногда настуран проявляется как цементирующий каркас обломков угля.

Интересные данные по формам нахождения урана в черных сланцах приводят Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис. Результаты этих исследований полностью применимы и к ураноносным углеспанцевым комплексам. По данным этих исследователей, формы нахождения урана в черных сланцах многообразны, однако доминирующей формой они считают **микроминеральную фазу UO_2** . В зави-

симости от приуроченности микровыделений UO_2 к той или иной фазе, можно условно говорить о формах $U_{\text{мин}}$, $U_{\text{орг}}$, $U_{\text{фосф}}$, $U_{\text{гл}}$ (глинистая), $U_{\text{пир}}$ (пиритная) и других “более экзотичных”. Установлено, что в относительно более древних (докембрийских и палеозойских) сланцах отношение $U_{\text{мин}} : U_{\text{орг}}$ всегда выше, чем в более молодых мезокайнозойских. Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис подчеркивают, что несмотря на многообразие современных форм урана в черных сланцах, доминирующей исходной формой нахождения урана была форма $U_{\text{орг}}$, а все прочие возникли позже – “в диагенезе и катагенезе за счет перераспределения урана из исходной формы $U_{\text{орг}}$ ” (Юдович, Кетрис, 1994). Нам представляется спорным это утверждение.

Связь ураносодержащих углей с породами магматического (как интрузивного кислого состава, так и преимущественно вулканического – вулканиты и пирокластолиты) происхождения в некоторых районах указывает на то, что они могут быть одним из источников урана (Вайн, 1958; Некрасова, 1957). В частности, отметим, что по мнению Дж. Вайна, уран попал в лигниты при его перераспределении из первоначально рассеянного в вулканическом и пирокластическом материале, одновременно с отложением лигнитов или вскоре после их отложения. На основании материалов месторождения Кавак (Киргизия), З.А. Некрасова делает вывод, что граниты явились основным источником урана в подземных водах. На материале западных штатов США также делается вывод для некоторых месторождений, что источником урана являются выветривающиеся граниты и аркозовые породы (Керр, 1958; Маккелви и др., 1958). В отдельных случаях, например, в углях Йоркшира (Великобритания) и Карри (Ньясаленд, Ц.Африка) допускается вынос урана из вышележащих осадочных пород (Дэвидсон, 1956). Установлено, что ассоциация химических элементов в торфяниках (углях) обычно отражает металлогеническую специфику региона. Так, например, для торфяников Приуралья типичны концентрации Sr, Cu, Ga, Ni, Co, Mo; для Балтийского щита – Zr, Pb; для Валдайской возвышенности – Mo, Cu, Pb и P; для Черниговского полесья – Zn, Ga, Pb и P (Крештанова, 1967; Тараканова, 1968; Холодов, 2006). Иногда повышенные содержания элементов-примесей в торфяниках достигают промышленного значения. Достаточно упо-

мянуть широко известные современные торфяные залежи острова Мадагаскар, где в среднем течении р.Фиталамала и районе поселка Андрононахори разрабатывались пласты торфа, содержащие до 0,5% урана и повышенные содержания Та и Nb (Bein, 1950; Roubault, 1956). Урановая минерализация в торфе проявляет себя в виде отенита и ураноцирцита. По имеющимся данным, непосредственным источником высоких содержаний (фосфатов U и Ba) в торфе явились выветривающиеся выходы металлоносных нефелиновых сиенитов (Хейнрих, 1962). Аналогичные сингенетические проявления урана в торфяных залежах известны в Боснии (Верхний Дунай), в Киргизии (Камышановка); медные проявления – в торфяниках Англии (Долгели), Ирландии и в Канаде (Davidson, Pousford, 1954; Холодов, 2006).

На основании обобщения всего имеющегося фактического материала некоторыми исследователями делается вывод, что концентрация урана не связана по времени с процессом торфообразования и является результатом эпигенетического отложения урана из подземных гидрокарбонатных вод в уже сформировавшихся пластах углей и песчаников и первоначально рассеянного как в кислых магматических (интрузивных, эффузивных и пирокластических), так и в осадочных и пегматитовых породах. Таким образом, исследования показали, что уран генетически не связан с углеродистыми веществами (Брегер и Дьюл, 1956) и является, как уже было отмечено, одной из неорганических эпигенетических составных частей угля. Наиболее эффективной средой, транспортирующей уран от его источника к месту конечного нахождения в углеродистых веществах, одними из первых И.А. Брегер и М. Дьюл назвали воду, вследствие ее изобилия и высокой растворяющей способности.

Во вторичной концентрации урана важную роль играют углеродистые вещества различных типов. Экспериментальные исследования показали, что взаимодействие урана с органическими компонентами (преимущественно в углистых сланцах) скорее физическое, чем химическое. Органическое вещество создает химические условия (т.е. кислую среду), разрушающие комплекс, приводящие к освобождению урана с дальнейшим его захватом. Ион урана, со-

прикасаясь с углями, образует ураноорганический уранил-гуматный комплекс, который при $\text{pH} > 2,2$ уже не растворим (Брегер, Дьюл, 1956). Разрушение органического вещества в восстановительных условиях ведет к образованию сероводорода, который, как известно, способен восстанавливать ион уранила до нерастворимой двуокиси урана (Дж.У. Грунер, А. Розенцвейг, Д.К. Шмидт, 1954), т.е. шестивалентный уран превращает в четырехвалентный.

В дальнейшем исследования А.В. Коченова и соавторов показали, что из темных торфяных вод, богатых гумусом, уран очень плохо сорбируется на гуминовых кислотах, причем при $\text{pH}=7,5-7,8$ (околонеutralных) уран свободно десорбируется водой. Был сделан вывод, что концентрация урана в торфах требует восстановительной обстановки – отрицательных значений E_h в диапазоне от 50 до 100 мВ (Коченов, Зиновьев, Ковалева, 1965). Сорбция UO_2^{2+} могла играть заметную роль только в слабо разложившихся торфах, при E_h , близком к 0 (Лисицын и др., 1967). По мнению Я.Э. Юдовича (1985), это может происходить только при начальной концентрации урана в торфах; дальнейшее обогащение должно происходить за счет восстановления шестивалентного урана до четырехвалентного.

Здесь уместно привести обобщенное мнение Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис о сорбционных и восстановительных процессах в углесланцевых комплексах. Они считают, что процесс сорбции U на ОВ важен не только сам по себе. Сорбция U (VI) является необходимым условием для начала восстановления U (VI)→U (IV). Даже при очень высоких концентрациях H_2S в среде процесс восстановления не пойдет без предварительной сорбции шестивалентного урана. Восстановление сорбционного U (VI) сопровождается радиолитическим окислением ОВ (радиация вызывает локальное изменение свойств органического вещества углей, увеличивает их твердость и отражательную способность, нарушает их внутреннюю структуру и т.д.) (Данчев, Стрелянов, 1979), что создает активные функциональные группы в ОВ, способные извлекать из раствора новые порции U (VI). В результате, поглощение урана органическим веществом носит характер самоподдерживающегося процесса и может продолжаться длительное время (Юдович, Кетрис, 1994).

В качестве активного восстановителя ими рассматривается само органическое вещество или сероводород (и метан). Последний образуется в результате редукции сульфатов при взаимодействии сульфатных растворов с органическим веществом угля или с углеводородными газами. Подтверждением этого процесса является тесная парагенетическая ассоциация урановой смолки с пиритом и органическим веществом (Ягжин, 1961). Кроме того, пирит играет важную роль в процессе адсорбции. О значительной роли процессов адсорбции в концентрации урана, по мнению многих исследователей (Ягжин, 1961), свидетельствует частая ассоциация уран-молибден-редкие земли. Обычно в углистых формациях устойчивыми спутниками урана являются Mo, Ti, Zn, V, реже Pb, Sn, Ni, Cu, иногда Ge, Se, Ga, Be, Re. В ураноносных черных сланцах устойчива только ассоциация U-Mo-V-P; в молодых торфяниках установлены повышенные количества Be, V, Ce, La, Th. Широкий спектр элементов в сингенетических месторождениях связан с процессами как восстановления, так и обменных реакций и сорбции.

По данным Л.С. Евсеевой и соавторов, при эпигенетическом рудообразовании ассоциации элементов-спутников урана обусловлены рядом химических свойств. Из них наиболее важными являются следующие свойства:

- переменная валентность, высокая миграционная способность в окисленном состоянии и низкая в восстановленном;
- тесная геохимическая связь с природными органическими веществами;
- высокая способность к комплексообразованию с теми же аддендами, что и уран;
- халькофильность;
- осаждение гидроокисей из водных растворов при pH, близких к pH осаждения гидроокислов урана.

С учетом всех вышеизложенных свойств, наиболее характерными элементами-спутниками урана являются Mo, Cr, V, Cu, Se, Re (Евсеева, Перельман, Иванов, 1974).

Исследователи предпочтение отдают инфильтрационному происхождению концентрации урана в углях и сопровождающих их углистых сланцах (Брегер, Дьюл, 1956; Клеппер, Уайнт, 1956;

Керр и Дейк, 1956; Дэвидсон и Пангфорд, 1956). Из советских геологов эпигенетический генезис урана в углях поддерживали Д.Я. Суражский (1956), А.А. Ягжин (1961), З.А. Некрасова (1957), Я.Э. Юдович (1989) и другие исследователи. Большой неоченимый вклад в разработку эпигенетической теории образования инфильтрационных урановых месторождений внесли С.Г. Батурин, Е.А. Головин и О.И. Зеленова (1965). Их теория основывается на сочетании геологических, геохимических и гидрогеохимических исследований. Согласно этой теории, в различных вмещающих породах формируются кислородные пластовые воды, содержащие уран, молибден, селен и другие спутники урана (Cr, V, Cu, Re, P), проникающие в водоносные горизонты, содержащие твердые, жидкие или газообразные восстановители (сульфиды, углистые или битумные органические вещества и т.д.), расходуя свой кислород на окисление, в ходе которого формируется зона пластового окисления (или, как мы называем, пластовая зона минералообразования). По краям пласта, на его выклинивании формируется восстановительный геохимический барьер, на котором осаждается уран (Евсеева, Перельман, Иванов, 1974).

Инфильтрационные месторождения урана известны в глинистых и битуминозных сланцах, конгломератах и даже в бентонитах (месторождение Соберания, Аргентина). Содержание урана в этих месторождениях низкое, но в отдельных пересечениях достигает 1,5%. На Мадагаскаре концентрация урана характерна для торфяников, в Японии – конгломератов неогенового возраста (месторождение Нинге-Тогге, префектура Тоттори). В конгломератах, залегающих на гранитах, среднее содержание урана составляет около 0,05%, а в отдельных участках – 0,1%. Значительный интерес представляет концентрация урана в торфяниках Манитобы в Канаде. Здесь ураноносный торф находится в зоне вечной мерзлоты. Уран в этих торфах тесно коррелируется с медью, молибденом, железом, марганцем, цинком, никелем, мышьяком и радием. В сфагновом мхе и в подстилающем его слаборазложившемся торфе содержание урана низкое, на уровне 0,1–0,5г/т с максимумом 10г/т золы. В слое темного торфа содержание урана с глубиной стремительно возрастает, что соответствует нарастанию зольности тор-

фа и макроскопически оцениваемой степени его разложения. При средних содержаниях 1000-2000г/т в базальных слоях содержание урана в золе доходит до 5840г/т. Допускается, что источником урана могли быть продукты выветривания докембрийских гранитов, гнейсов или же зона урановой минерализации в этих породах (Юдович, 1989).

Рассматривая ураноносность углесланцевых комплексов, мы считаем, что вопрос ставится о попутном извлечении урана при переработке углей. Предполагается, что использование ураноносных углей в топках ТЭС может создать некоторые экологические проблемы, т.к. определенная часть урана может уйти в летучую золу-унос и в дымовые газы. Но из этих газов извлекают германий, галлий и другие редкие металлы, так что будут извлекать уран и торий.

Новейшие исследования показывают, что во время сжигания угля большая часть урана, тория и продуктов их распада освобождаются из общей горной массы и распределяются между газами и твердыми продуктами сгорания. Распределение между газами и твердыми продуктами контролируется испарением и химическим составом индивидуальных частиц. Фактически 100% радона, содержащегося в добываемом угле, трансформируется в газ и теряется в выделенном дыме. В то же время непостоянные элементы, такие, как уран, торий и большинство продуктов распада, почти полностью сохраняются в твердых отходах сгорания (Р. Зелински, Р. Финкельман, 2007). Эти исследования показали, что радиационный риск от воздушных соединений из углеперерабатывающих предприятий за десятилетний период минимальный. Максимальная доза радиации на человека, живущего в 1км от современного предприятия, возможно, на 1-5% больше радиации от природной окружающей среды. В среднем для человека доза радиации от угля значительно меньше: естественные источники составляют 82% радиации, из искусственных источников доминируют рентгеновские лучи (11%), а средняя доза для населения, получаемая при сгорании угля, намного меньше 1% от общей дозы.

Золу обычно добавляют в бетонные стройматериалы, а радиоактивность типичной золы не отличается сильно от других

стройматериалов. По мнению Р. Зелински и Р. Финкельмана, бетонные продукты с содержанием золы могут быть источником радона, однако их расчеты показывают, что бетонные стройматериалы всех видов содержат <10% общего количества внутреннего радона. Считается, что выщелачивание радиоактивных элементов из золы является необходимым с точки зрения Агентства по защите окружающей среды США.

Прямые измерения растворения в воде урана и радия в золе указывают на их незначительное количество. Следует учесть, что складирование золы производят далеко от источников воды. Обычно концентрация радия ниже в питьевой воде (допустимая норма 5 picocuries на литр), а допустимая норма урана в воде составляет 20 ppb (частица на миллиард).

Таким образом, радиоактивные элементы в угле и золе не должны вызывать особую тревогу. Снижение общественного беспокойства по поводу возможной радиации и радоновой опасности открывают перспективу геологическим исследованиям по радиоактивности углесланцевых комплексов.

Геотипами армянских терригенно-углесланцевых ураноносных комплексов являются: для ураноносных углей – Трутнов (Чехия), Кавак (Киргизия), Дакота (США); для ураноносных терригенных отложений – Северочешский рудный район (Гамр, Страж, Голичка, Осечно-Котел, Бржевниште), Лодев (Франция), Мечек (Венгрия), Приморское, Оглахтинское, Онкажинское (РФ).

5.2. Геохимические особенности избирательной концентрации радиоактивных элементов в терригенно-углесланцевых комплексах Армении.

За прошедшее столетие черносланцевые комплексы Армении рассматривались исключительно как топливное сырье. Опоисковано и разведано более 10 относительно крупных месторождений углей и горючих (углистых) сланцев, однако в связи с их низким качеством (высокозольностью и низкой теплотворностью) эти объекты оценены как неперспективные. “Мертвыми” объектами

считаются такие углесланцевые месторождения, как Джерманис, Иджеван, Шамут, Антарамут, Нор-Аревик, Джайджур и др., хотя в условиях энергетического и экономического кризиса местные жители (и некоторые специализированные организации) вынужденно их используют как бытовое топливо.

Исследованиями последних лет доказана металлоносность терригенно-углесланцевых комплексов, в особенности на благороднометалльное оруденение (Алоян П., Алоян Гайк, 2003; 2004; 2005). Этот новый вид **рудно-топливного** сырья по качеству и количеству редких и благородных металлов, а также простоте технологической схемы обогащения и благоприятными горно-геологическими условиями открытой разработки в ближайшие годы может составить серьезную конкуренцию разведанным и эксплуатируемым месторождениям коренных золотосульфидных месторождений Армении. Вопросы геологического строения и закономерности пространственного положения углесланцевых месторождений слабо изучены, а геохимические особенности не изучены, и исследования в этом направлении не проводились. Результаты наших исследований по благороднометалльности и редкометалльности терригенно-углесланцевых комплексов подробно рассмотрены в разделе I (глава 1.2).

В настоящей главе впервые рассматриваются некоторые геохимические особенности распределения и избирательной концентрации редких, цветных и радиоактивных элементов в терригенно-углесланцевых комплексах Армении и делается первая попытка сравнительного анализа роли минеральных и органических частей в концентрации металлического оруденения.

В основе наших исследований лежат фактические данные, полученные в результате полевых и камеральных работ, а также количественные химические анализы, выполненные в ведущих лабораториях России. Спектральные анализы углей и углистых сланцев (50 анализов) на 30 элементов проведены в лаборатории ЦНИГРИ (г.Москва); определены Ag, As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc, Sr, Ti, V, Zn, Zr, Y. При анализе не обнаружены Cd, Hf, Sb, Sn, Ta, Tl, W, Yb (аналитики Мандругин А.В. и Григорьев И.В.). Для изучения углесланцевых комплексов

Армении на радиоактивность нами впервые были отобраны 14 образцов из углей, углистых сланцев, углистых гравитационных концентратов и шлаков газификации углей разновозрастных комплексов (месторождений). Анализы проводились в лаборатории рентгенофлуоресцентного анализа ИГЕМ РАН (г.Москва). Одновременно проводился полный силикатный анализ – определялась сера (S) и спектральный анализ на 16 элементов: Cr, Sc, V, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Nb, Ba, Pb, As, Cl, Ga. Радиоактивность разновозрастных углесланцевых комплексов приводится по импульсу радиоактивности в мкр/час, во избежание преждевременной оценки промышленного значения суммарных содержаний урана и тория.

Результаты усредненных содержаний основных породообразующих окислов, серы, органического вещества и импульса радиоактивности в углесланцевых комплексах по стратиграфическим уровням приводятся в таблице III.6. Усредненные результаты спектральных анализов углесланцевых комплексов по стратиграфическим уровням в виде суммы литофильных (редких и редкоземельных), халькофильных (цветных) и редких элементов с амфотерными свойствами приводятся в таблице III.7.

С учетом геохимических особенностей концентрации элементов в угольном веществе, парагенетических ассоциаций элементов и минералов в углесланцевых комплексах, а также нового фактического материала (табл. III.6 и III.7), построены три группы графиков:

1. Графики распределения усредненных содержаний основных породообразующих окислов и органического вещества, а также импульса радиоактивности в терригенно-углесланцевых комплексах Армении по стратиграфическим уровням (рис. III.25).

2. Графики распределения суммы усредненных содержаний литофильных и халькофильных элементов и элементов с амфотерными свойствами относительно кривой содержания органического вещества по стратиграфическим уровням (рис. III.26).

3. Графики содержаний K_2O , потерь при прокаливании образцов углей и углистых сланцев при производстве силикатных

Таблица III.6

Химический состав и радиоактивность терригенно-углесланцевых комплексов Армении^{*)}

NN п.п	Месторождение	Относительный возраст комплексов	Содержание, %								$\frac{K_2O}{Na_2O}$	имп.р.а., мкр/час	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.	S	ОВ			
1	Джерманис	триас											105
2	Иджеван	ср.юра	29,23	9,9	0,36	0,47	0,17	48,61	2,28	45	2,76	69	
3	Шамут	ср.эоцен	33,1	11,8	0,45	1,15	0,17	36,2	4,06	27	6,76	97	
4	Ангарамут	в.эоцен	48,2	12,15	0,73	3,31	0,34	27,44	0,88	24	9,74	115	
5	Нор-Аревик	плиоцен	28,45	6,53	0,13	0,22	0,07	56,54	1,14	55	3,14	62	
6	Джаджур	плиоцен-квартер	15,87	4,22	0,27	0,28	0,26	68,20	7,18	61	1,08	65	

^{*)} Силикатные анализы, а также анализы на радиоактивность проводились в ИГЕМ РАН (г.Москва). Аналитики Марченко и Якушев; пробоподготовка – Майстер и Сычева. Содержание ОВ получено расчетным путем

Содержание редких элементов и цветных металлов в терригенно-углесланцевых комплексах Армении^{*)}

N/N	Место-рожде-ние	Содержание, ppm																	Возраст место-рожде-ния
		литофильные									халькофильные				редкие элементы с амфотерными свойствами				
		редкие элементы					редкие земли				цветные								
		Ba	Be	Sr	Zr	Nb	Rb	Sc	Y	Σ	Cu	Pb	Zn	Σ	Ga	Ge	V	Σ	
1	Джер-манис	143	1	7	61	13	-	6	16	247	98	215	25	338	10	-	41	51	триас
2	Идже-ван	68	1	8	44	2	38	6	8	175	186	20	320	526	4	2	14	20	ср. юра
3	Шамут	70	1	11	62	6	67	13	14	244	28	26	50	104	8	-	45	53	ср. эоцен
4	Анта-рамут	320	4	9	60	6	123	3	14	539	103	14	157	274	4	20	57	81	в. эоцен
5	Нор-Аревик	85	1	5	10	8	28	8	13	158	98	215	25	338	4	-	33	37	плиоцен
6	Джа-джур	172	0,2	8	56	2	27	12	12	289,2	74	74	40	188	19	4	54	77	плиоцен-квартер

^{*)} Анализы выполнены в спектральной лаборатории ЦНИГРИ (г.Москва)

Аналитики: Мандругин А.В. и Григорьева Н.В.

Список литофильных, халькофильных и элементов с амфотерными свойствами приводится по "Справочнику минерального сырья", Москва, Геоинформмарк, 1999, 302; под редакцией В.П. Орлова

анализов и импульса радиоактивности по стратиграфическим уровням (рис. III.27).

Таким образом, впервые использован уникальный прием моделирования концентраций элементов в угленосном веществе, обеспечивающее установление геохимических особенностей накопления и избирательной концентрации редких, цветных и радиоактивных элементов в органической и минеральной частях по стратиграфическим уровням.

Обобщение фактического материала и анализ построенных графиков дают основание на данной стадии исследований сделать некоторые выводы относительно геохимических особенностей избирательной концентрации литофильных, халькофильных и радиоактивных элементов в углесланцевых отложениях Армении по стратиграфическому уровню.

1. Максимальные содержания органических веществ характерны для угленосных отложений средней юры, плиоцена и плиоцен-квартера; минимальные – для эоценовых комплексов (около 25%), что, по-видимому, обусловлено интенсивным развитием магматических процессов, как интрузивных, так и эффузивных. Естественно, максимальные содержания минеральных компонентов наблюдаются в угленосных комплексах эоцена, составляя в среднем около 75% от угольного вещества.

2. Кривые распределения усредненных содержаний породообразующих основных окислов – SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ – по стратиграфическим уровням в принципе параллельны друг другу (т.е. совпадают) и имеют зеркальный характер по отношению к соответствующей кривой ОВ, что свидетельствует об их концентрации в минеральной части (рис. III.25). Характерно, что с основными минеральными компонентами хорошо согласуется кривая импульса радиоактивности (вместе с кривой п.п.п.), которая ярко выражена для эоцена и имеет довольно высокий показатель, значительно превышающий нормальный геохимический фон в разы и составляющий в среднем 85,5 мкр/час, что соответствует рудогенным аномалиям (рис. III.25, III.27). Концентрация радиоактивных элементов в минеральной части углистого вещества подтверждается еще и тем, что в гравитационных концентрациях, где концен-

трируются рудные минералы и, в особенности, в шлаках газификации угля, также сохраняется повышенный радиоактивный геохимический фон в пределах указанного среднего. Такая природа концентрации на первый взгляд противоречит имеющимся литературным данным, т.к. в накоплении урана в угленосных формациях большую роль играет сорбция коллоидами, в первую очередь органическими с образованием ураноорганических соединений, главным образом гуминовых и фульвокислот (Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов, 1987).

С учетом теоретических идей Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис о возможном титановом геохимическом барьере концентрации урана, можно предположить, что в составе углесланцевых комплексов Армении имеется гидролизатный терригенный материал – продукт размыва коры выветривания, который содержит “такой мощный поглотитель урана, как $TiO_2 \cdot nH_2O$ ” (Юдович, Кетрис, 1994). Исследовался процесс соосаждения урана с гидроокисью титана из черноморской морской воды соленостью 19‰ и рапа Сиваша различной солености (от 35 до 100‰). Концентрация урана составляла $4,2 \cdot 10^{-8}$ г-ион/л. Количество сорбента в пересчете на титан равнялось 2,2 мг. Температура поддерживалась в пределах $22 \pm 2^\circ C$; общий объем раствора 1 л (Касьянов, Безбородов, Жоров, Кобелянская, 1975). Исследованиями А.В. Касьянова и соавторов установлено, что при $pH=8$, гидроокись титана поглощает из морской воды до 70% урана, обогащаясь им до “фантастической” концентрации (~7%). “При $pH=5$ состояние насыщения не достигается даже при содержании урана в сорбенте, в 4 раза превышающем массу самого сорбента. Максимальная емкость сорбента при $pH=8$ составляет 0,073 мгU/мгTi”. Эти экспериментальные исследования показали, что в условиях отсутствия ионов CO_3^{2-} при $pH=5-8$, происходит совместное соосаждение гидроокисей урана и титана с образованием твердого раствора или сополимеризация (Касьянов и др., 1975). Об этом свидетельствуют данные о титансодержащих глинистых минералах, сильно обогащенных ураном. По мнению Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис, $TiO_2 \cdot nH_2O$ способен “перекачивать на себя уран, захваченный органическим веществом углеродистых

осадков". Этим можно объяснить тот факт, что в некоторых угленосных (черных) сланцах характерны не органические, а минеральные формы урана. Механизм этого процесса, по мнению этих исследователей, протекает следующим образом. Первоначально уран содержался в ОВ, которое было сорбировано на поверхности глинистых частиц. В процессе катагенеза углистое вещество сбрасывает титан, а ОВ при термолитизе освобождает уран, т.к. по мере углефикации отложений, происходит перестройка форм связи урана с органическими комплексами – уменьшается содержание функциональных групп, нарушается связь урана с ними, затем с конденсированными группами молекул и ураноорганическими комплексами. В итоге на поверхности глинистых частиц нарастают эпитаксиальные пленки браннерита (UTi_2O_6), образуются также урановая чернь, настуран и коффинит. Уран частично выносится с образующимися при катагенезе большими количествами активных вод (Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов, 1987; Юдович, Кетрис, 1994). Сказанное полностью можно отнести к углесланцевым комплексам Армении, т.к. они характеризуются сравнительно высокими содержаниями титана и ванадия, а их кривые – полностью идентичны кривой мкр (табл. III.6, III.7; рис. III.25, III.26).

Весьма эффективным концентратором уранил-иона является гидроокись титана. Исследования Н.М. Девиса и соавторов показали, что искусственные гели TiO_2 могут путем адсорбции экстрагировать уран из морской воды. При этом предельная концентрация урана в них достигает 268 млн^{-1} (тоже 268 ppm). К.Г. Королев и Г.В. Румянцева путем добавления гидроокислов аммония к растворам урана и титана в соляной кислоте добились практически количественного соосаждения гидроокисей титана и урана. Когда атомные отношения соосажденных урана и титана составляли 1:2, рентгенограмма выпавшего гелия, после его высушивания и прокаливания при температурах до $800-900^\circ\text{C}$ в восстановительной среде, отвечала чистому браннериту (UTi_2O_6). При иных соотношениях урана и титана в геле дифракционная картина образующихся продуктов также соответствовала браннериту, но осложнялась рефлексами, характерными для UO_2 или TiO_2 (в зависимости от того, какой

из элементов был в избытке). Браннерит может образоваться в результате различных геологических процессов, но существует мнение, что одна из его разновидностей может формироваться за счет восстановления урансодержащей фазы TiO_2 , возникшей при разложении минералов, подобных ильмениту, в урансодержащем растворе с высоким потенциалом кислорода (Форрис, Рууд, 1971).

Интересные данные о концентрации урана в угленосных пластах среднеюрского месторождения Кавак (Киргизия) приводит З.А. Некрасова (1957). Эта статья интересна тем, что она была опубликована в след Женевской Международной конференции по

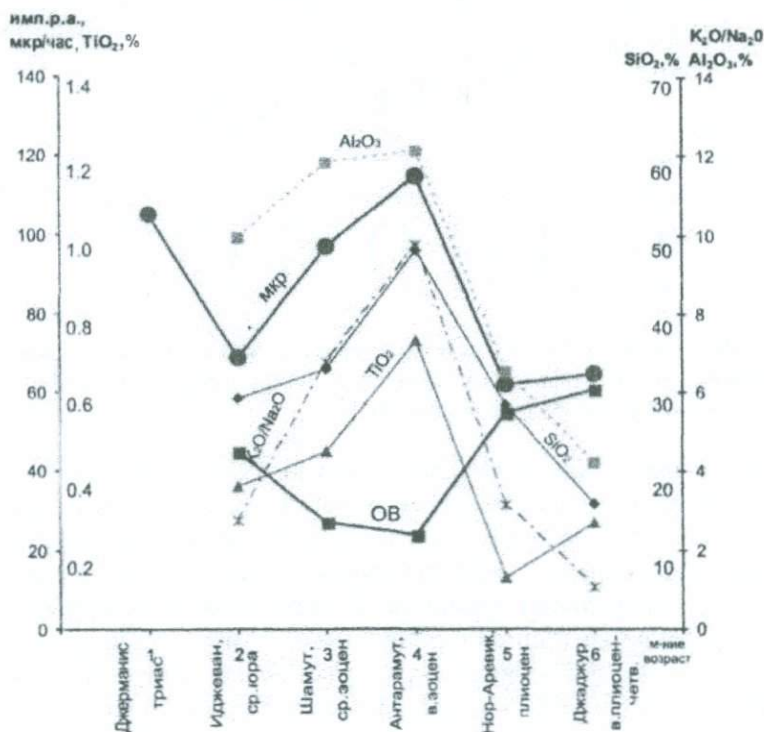
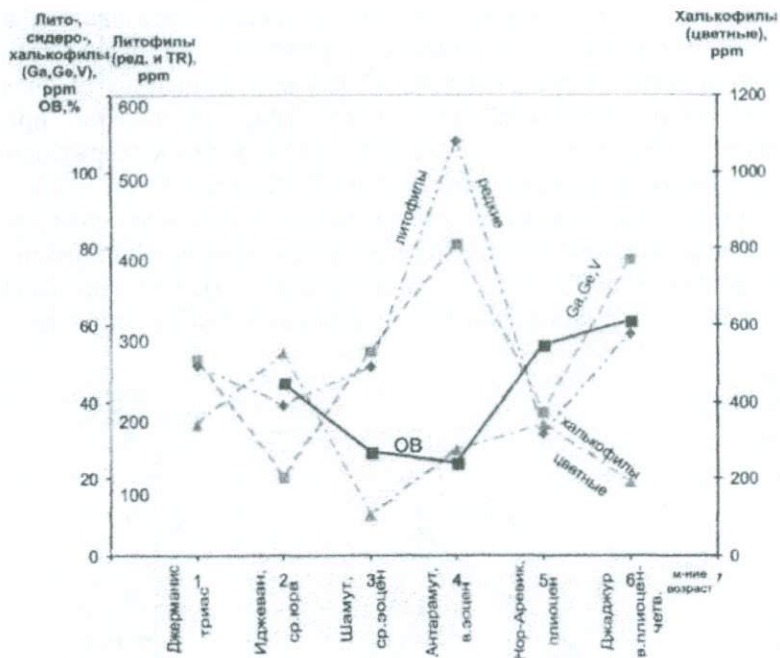


Рис. III.25. Графики распределения усредненных содержаний основных окислов и органического вещества в терригенно-углесланцевых комплексах Армении (по данным табл. III.6).



Я

Рис. III.26. Графики распределения суммы усредненных содержаний литофильных и халькофильных элементов в терригенно-углесланцевых комплексах Армении (поданным табл. III.7).

мирному использованию атомной энергии 1955г. и в ней были использованы материалы ведущих мировых специалистов по урану, и, в частности, по урану в углях. З.А. Некрасова акцентирует, что “содержание урана в углях находится в прямой зависимости от количества *минеральных примесей* (курсив наш), находящихся в тесном прорастании с органическим веществом угля”, и далее “в наиболее тяжелых и высокозольных фракциях концентрация урана в 10-30 раз выше, чем в исходных пробах, и в 50-100 раз - чем в легких фракциях” (т.е. в органике). По данным З.А. Некрасовой, наиболее высокие концентрации урана приурочены к пиритизированным углям и песчаникам, которые характеризуются повышенной степенью окисления. Кроме того, особо подчеркивается, что

характерна тесная ассоциация настурана с глинистым веществом. Настуран присутствует в глинистом веществе в виде мельчайших сферолитов размерами до 0,001-0,003мм, образуя местами сплошные скопления. К тому же описываются случаи, когда окислы урана концентрируются вокруг эпигенетического пирита и корродируют его. В песчаниках настуран присутствует в глинистом и углисто-глинистом цементе, образуя в нем тонкодисперсную эмульсионную вкрапленность. Экспериментальные исследования показали, что увеличение количества минеральных примесей в углях оказывает положительное влияние на сорбцию урана (Некрасова, 1957). Нам представляется, что этим обстоятельством обусловлена повышенная концентрация урана в высокозольных бурых углях. Выше уже было сказано о том, что некоторые исследователи это объясняют ядовитостью урана. По новейшим данным геохимических исследований установлено, что концентрация урана в равной мере происходит как в минеральной, так и в органической частях угля, в зависимости от условий инфильтрационных процессов (Зелински, Финкельман, 2007). Интересные данные были получены

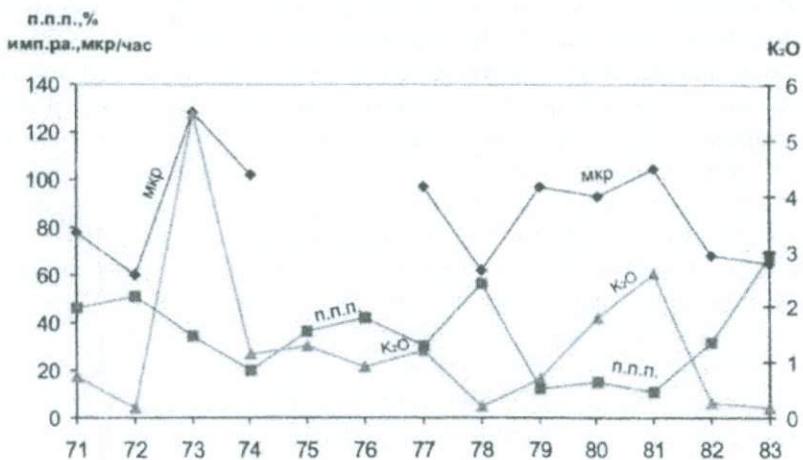


Рис. III.27. Графики содержаний K_2O , п.п.п. и импульса радиоактивности в терригенно-углеспанцевых комплексах Армении.

А.А. Гипшом и Г.Г. Капатуриным при исследовании связи естественной радиоактивности и зольности углей Варкутского месторождения. Ими установлено, что, во-первых, связь между зольностью и естественной радиоактивностью углей является корреляционной линейной зависимостью, а, во-вторых, радиоактивные элементы в варкутских углях содержатся главным образом в их **минеральной части** (Гипш, Капатурин, 1970). Эти данные хорошо корреспондируются с нашими материалами и еще раз подчеркивают необходимость дальнейших планомерных исследований о формах нахождения урана в углях Армении.

Концентрация урана в угленосных и сланцесодержащих отложениях бывает как сингенетичной угленакоплению, так и в значительной степени вторичной-эпигенетической. Поэтому основное значение при формировании высоких концентраций урана в углесланцевых комплексах принадлежит инфильтрационному типу месторождений. Относительную роль комплексных сорбционных восстановительных и сероводородных барьеров в накоплении урана в высоких концентрациях исследователи оценивают по-разному, т.к. для различных объектов она различна и вызвана широким диапазоном геолого-геохимических условий концентраций. При дальнейших исследованиях следует обратить особое внимание на минеральные формы нахождения урана в углесланцевых комплексах Армении, которые на фоне полученных данных могут подтвердить или опровергнуть высказанные предположения о титановом (или ванадиевом) барьере концентрации урана в минеральной части угольного вещества. При этом следует учесть, что концентрация радиоактивных элементов в углесланцевых комплексах Армении, возможно, в меньшей степени связана с восстановительными функциями органического вещества углей (восстановление U^{4+}), т.к. их концентрация происходит в минеральной части, что может быть следствием в основном адсорбционных процессов, о чем свидетельствует частая парагенетическая ассоциация урана в углях с молибденом и редкими землями, как проявление сходства путей их миграции и концентрации в одинаковых условиях.

С другой стороны, следует учесть и такой факт, что на кривой распределения средних содержаний урана по стратиграфи-

ческим уровням для мировых угленосных комплексов отчетливо выделяются три пика, отвечающих кембрию (венду-кембрию), девону-карбону и палеогену. Эти пики соответствуют трем “урановорудным эпохам”. Оценка средних по стратиграфическим уровням дают аномальные содержания только в фанерозое (Юдович, Кетрис, 1994). В нашем случае, по стратиграфическому уровню выделяются два пика: отчетливо выраженный эоценовый и триасовый, что согласуется с региональными (планетарными) данными с небольшим смещением, связанным с этапами геотектонического развития области (рис. III.25).

3. Анализ имеющихся материалов по литофильным (редким и редкоземельным), халькофильным (цветным) и элементам с амфотерными свойствами указывает на интересные геохимические особенности их концентрации в угольном веществе.

Литофильные элементы в угленосных комплексах Армении преимущественно концентрируются в минеральной части, в особенности на эоценовом стратиграфическом уровне, а для комплексов средней юры, триаса и плиоцена наиболее отчетлива их связь с органической частью. Обычно Ва и Ве преимущественно концентрируются в глинистых веществах в силу изоморфизма с Al (в особенности Ве), а Ва часто изоморфно замещает калий в силикатах. Известны случаи его концентрации в ОВ. Часто ниобий изоморфно замещает железо в сульфидах последнего и преимущественно концентрируется в минеральной части. Редкие земли (Sc^{*}) и Y концентрируются преимущественно в минеральной части. Часть скандия, возможно, присутствует в виде изоморфизма с алюминием (Al_2O_3), а часть – привносится минеральными примесями с терригенным материалом. Следовательно, преимущественная концентрация литофильных (как редких, так и редкоземельных) элементов в углесланцевых комплексах Армении укладывается в общие закономерности концентраций этих

^{*} Скандий, находящийся в первой подгруппе третьей группы Периодической системы элементов, сходен по своим свойствам с лантаном и иттрием и поэтому часто рассматривается с редкоземельными элементами.

элементов, установленные более ранними исследованиями в различных угольных и сланцевых комплексах мира.

Особый интерес вызывает кривая распределения халькофильных элементов по стратиграфическим уровням углесланцевых комплексов Армении. Наблюдается относительно хорошая сходимость кривой халькофильных элементов с кривой ОВ, что свидетельствует об их концентрации в органической части. Общеизвестно, что халькофильные цветные металлы преимущественно концентрируются в минеральной части углистого вещества (Клер, Ненахова, 1981; Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов, 1987; Юдович, Кетрис, 1988; 1994; Юровский, 1968). Содержание Cu, Pb и Zn в угленосных комплексах Армении низкое и в основном сингенетическое, т.е. привнесенное с терригенным материалом. Механизм их концентрации нами пока не выявлен, но важно отметить необходимость исследований в этом направлении, т.к. по нашим данным рудные компоненты в угленосных комплексах могут иметь не только гидротермальное, но и биогенное или хемогенно-гидрогенное происхождение, что связано с жизнедеятельностью микроорганизмов или особых форм микрорастений, чем и обуславливается их значительная концентрация в органической части углей (Г. Алоян, 2007). Сам факт их концентрации в ОВ указывает на возможное наличие также иных форм нахождения цветных металлов.

Кривая распределения редких элементов с амфотерными свойствами в целом совпадает с кривой литофильных, хотя на отдельных стратиграфических уровнях совпадает с тенденцией кривой ОВ. Отметим лишь, что их пики наблюдаются в эоцене и плиоцене. Однако Ge установлен в комплексах средней юры и верхнего эоцена, а содержания Ga равномерно низкие по всем стратиграфическим уровням. Среди этой группы наблюдаются **повышенные равномерные** содержания ванадия (75-80% от суммы элементов) по всем стратиграфическим уровням, что и определяет характер кривой их суммарного распределения, т.к. он концентрируется в минеральной части. Природа кривой ванадия может иметь и другое объяснение. В условиях аридного климата при гипергенном окис-

лении сульфидоносных углистых (черных) сланцев формируются очень кислые кислородсодержащие воды, выщелачивающие из сланцев уран и ванадий и окисляющие их до уранила и ванадата, с образованием труднорастворимых урановых слюдок – карнотита или тьюмунита (Юдович, Кетрис, 1994). Следовательно, ванадий также рассматривается в качестве эпигенетического геохимического барьера для урана, как титан, и потому их кривые в общем очень симметричны по стратиграфическим уровням. Этот вопрос нуждается в специальной доработке, что выходит за рамки настоящей работы.

Обобщая вышеизложенный материал по выявлению геохимических особенностей накопления и избирательной концентрации редких, цветных и радиоактивных элементов в угленосных комплексах Армении по стратиграфическим уровням, отметим следующее.

1. Эоценовые (средне- и верхнеэоценовый) комплексы углесланцевых комплексов характеризуются максимальными (до 75%) усредненными содержаниями основных породообразующих окислов – SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , K_2O и отношением $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (рис. III.25). В то же время эоценовые комплексы характеризуются минимальными содержаниями органического вещества (около 25%), что, по-видимому, обусловлено интенсивным развитием процессов магматизма, как интрузивного, так и эффузивного. Максимальные содержания органических веществ (до 55-61%) характерны для углесланцевых комплексов средней юры, плиоцена и плиоцен-квартера.

2. Литофильные редкие (Ba, Be, Sr, Zr, Nb, Rb) и редкоземельные (Sc, Y) элементы преимущественно концентрируются в минеральной части углистых веществ, а халькофильные (Cu, Pb и Zn) – в органической части. Последнее обстоятельство требует детального изучения минеральных форм нахождения цветных металлов, т.к. общепринято, что они концентрируются исключительно в минеральной части углей и углистых сланцев.

3. По импульсу радиоактивности выделяются 2 пика – резко выраженный эоценовый и триасовый, что в принципе хорошо согласуется с региональными (планетарными) данными и уклады-

вается в “урановорудные эпохи”. Радиоактивность углесланцевых комплексов в целом довольно высокая, а эоценового и триасового комплексов – в особенности, что значительно (в несколько раз) превышает нормальный геохимический фон. Урансодержащие соединения концентрируются в минеральной части угольного вещества, что на первый взгляд явление “аномальное”. Однако допускается, что это обусловлено наличием эпигенетических титановых или ванадиевых барьеров, содержание которых в минеральной части для армянских углесланцевых комплексов достаточно высокое. Это требует специального детального изучения минеральных форм нахождения урана в углесланцевых комплексах Армении.

4. Для уточнения геохимических особенностей накопления и повышенной концентрации элементов в углесланцевых комплексах по стратиграфическому уровню следует в каждом конкретном случае проявлять избирательный подход, т.к. геодинамические и природно-климатические условия формирования комплексов различны и многообразны, а диапазон геолого-геохимических условий концентрации элементов очень широк. По имеющимся данным наиболее интенсивным концентратором рудных компонентов являются угленосные комплексы эоценового возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для создания завершеного металлургического производства на базе местного сырья с получением металлов высокой чистоты нужна долгосрочная государственная программа. Сырьем для металлургического производства являются медные, молибденовые, золотосодержащие и полиметаллические концентраты, выпускаемые Зангезурским и Агаракским медно-молибденовыми, Ахталским и Капанским горнорудными комбинатами, Айгедзорской золотоизвлекательной фабрикой (временно законсервированной) и рядом горнорудных предприятий малой мощности (Арманис, Мгарт, Тухманук и др.). На Арагатской золотоизвлекательной фабрике, перерабатывающей руды Меградзорского и Соткского месторождений и лежалые хвосты, товарным продуктом является сплав Доре, реализуемый за рубежом. Восстановлено медеплавильное производство в г.Алаверди по выпуску черновой меди, мощностью до 10 тыс. т в год, что является незавершенным циклом. Частично начата переработка молибденовых концентратов на ЗММК (г.Каджаран), заводе “Чистое железо” (г.Ереван) и на ЗАО Armenian Molybdenum Production (AMP) (г.Ереван), но производство редких металлов не налажено.

Состояние минерально-сырьевой базы меднорудной и медно-молибденовой подотраслей в долгосрочной перспективе достаточно надежное, а с перспективой создания черной металлургии пока не определились ни правительство РА, ни частные инвесторы, хотя сырьевой потенциал более чем надежный, достоверный и технологически подготовлен.

Важнейшей народнохозяйственной и стратегической проблемой является оценка ресурсного потенциала благородных, редких, редкоземельных и радиоактивных элементов в долгосрочной перспективе. Имеются в виду не только традиционные виды сырья – коренные месторождения рудных формаций, а также новые, еще не востребованные, но несомненно перспективные для XXI века сырьевые ресурсы многоцелевого назначения. Решение этой проблемы базируется на фундаментально-прикладных геологических, а также новейших технологических исследованиях, что дает возмож-

ность осуществить прорыв в этой области по примеру открытия крупного уникального Амулсарского высокосульфидного эпитермально-инфильтрационного золоторудного месторождения. Этот подход дает возможность традиционно нерудные ресурсы – силикатные, топливные и строительные – переквалифицировать в рудно-силикатные, рудно-топливные и рудно-строительные ресурсы многоцелевого назначения.

Золотоносная промышленность Армении обеспечена достаточными запасами за счет золоторудных и золотосодержащих (медных, медно-молибденовых и полиметаллических) месторождений. В ближайшем будущем возможно значительное увеличение потенциальных ресурсов **золота**, а также не числящихся на госбалансе республики **платиноидов** в связи с установлением золотоплатиноносности терригенно-углесланцевых комплексов, золотоносности покрова вторичных кварцитов меднопорфировых систем и золотоносных конгломератов и конглобрекций плиоценового возраста, по аналогии с ведущими геотипами мира. Уникальным сырьем золоторудной (золото-редкометалльной) промышленности в далекой перспективе могут стать продукты новейшего вулканизма (возраст 0,5-1 Ма) – титано-магнетитовые пемзовые пески, шлаки, туфы, перлиты, обсидианы и другие продукты массива г.Арагац и других регионов, не имеющих пока аналогов-геотипов в мире.

Имеющийся в нашем распоряжении фактический материал дает нам основание выделить платиносодержащие **рудные** и **нерудные** формации. В составе рудных формаций рассматриваются хромитовая (дунит-гарцбургитовая), медно-молибденовая (меднопорфировая), меднорудная, золотополиметаллическая в альпийских андезитовых и офиолитовых поясах, а в составе нерудных – терригенно-углесланцевые комплексы и рифтогенные конгломерато-конглобрекции фанерозоя, а также кислые продукты новейшего вулканизма.

В качестве прогнозной выделяется железорудная формация. По этой формации в настоящее время у нас нет пока достоверных данных, однако имеющийся литературный материал по другим регионам мира дает нам основание по аналогии прогнозировать эту

формацию как золото-платиносодержащую и рекомендовать проведение целенаправленных минералого-геохимических работ. Результаты наших исследований убедительно показывают, что среди рудных формаций Армении, кроме платиносодержащей хромитовой (дунит-гарцбургитовой), перспективными объектами являются месторождения медно-молибденовой формации, в первую очередь эксплуатируемые Каджаран и Агарак, как по содержанию, так и по масштабам и техническим возможностям попутного извлечения, с учетом установленной парагенетической триады молибден-рений-радиоогенный осмий (платиноиды). Это – новая и принципиальная постановка вопроса, которая открывает огромные возможности по организации автономных специализированных цехов при ММК по доизвлечению платиноидов (радиоогенного осмия). По качеству сырья, благоприятным горнотехническим условиям отработки и простой технологической схеме обогащения с медно-молибденовой формацией в ближайшей перспективе могут конкурировать вновь выявленные нами золото-платиносодержащая терригенно-углесланцевая и конглобрекчиевая “нерудная” формации.

Повышение комплексного использования минерально-сырьевой базы и продуктов технологического передела – сложная и многогранная задача, имеющая важное народнохозяйственное значение. Поэтому разработка технологических моделей переработки коренных месторождений должна идти по пути создания гибких, экологически безопасных технологических модулей завершённого цикла, с учетом многосортности и многокомпонентности товарной руды. Кроме основных полезных компонентов (медь, молибден, золото, серебро, свинец, цинк), в медных, молибденовых, золотосодержащих и полиметаллических концентратах имеются промышленные содержания ценных редких металлов, учтенных в госбалансе республики (рений, селен, теллур, висмут, галлий, индий, кадмий, германий, таллий). В настоящее время эти полезные компоненты (частично, кроме рения) в составе концентратов вывозятся за пределы республики без соответствующей компенсации. В ряду неучтенных в госбалансе элементов особое место занимают (кроме платиноидов) ванадий, скандий, стронций, радиоогенный осмий и др. В медно-молибденовых рудах Каджаран-

кого гиганта ванадий концентрируется в магнетите и переходит в хвосты обогащения, где концентрируется и скандий. Хвосты обогащения медно-молибденовых руд – это уникальное сырье для производства ферромолибдена, феррованадия, скандия, магнетитового концентрата (Fe до 60-64%) и не имеют аналогов в мире. Редкие элементы пользуются постоянным повышенным спросом на мировом рынке. В развитых странах многие редкие элементы отнесены к категории стратегических и находятся под контролем военно-промышленного комплекса.

Следует учесть, что научно-технологическая база извлечения и производства редких металлов в республике пока не подготовлена и, как следствие, при создании завершеного металлургического производства ожидаются большие безвозвратные потери дорогостоящих металлов стратегического значения, хотя имеются некоторые эффективные наработки армянских специалистов по редким металлам.

В советское время в Армении многие редкие элементы Минцветметом СССР принудительно игнорировались и не учитывались в госбалансе по конъюнктурно-отраслевым соображениям, а в настоящее время в условиях свободных рыночных отношений – по меркантильным соображениям недропользователя. С баланса месторождений необоснованно списываются ранее утвержденные запасы редких металлов, что недопустимо. При лицензировании таких объектов правительство должно строго контролировать и обязать недропользователя обеспечить извлечение всех числящихся в госбалансе полезных компонентов, в противном случае оплачивать их рыночную стоимость в двукратном размере с каждой добытой тонны руды за порчу имущества и загрязнение экосистемы, а не проводить “чистку” баланса месторождения по “усмотрению” или “указанию”.

В настоящее время крайне слабо изучена редкометалльность нерудного сырья. Рудный потенциал нерудного сырья, в особенности терригенно-углесланцевых комплексов, гидроминерального сырья (минеральных и термальных источников, рудничных вод и протстоков), соленосных отложений и новейших кислых вулканитов нами рассматривается впервые. Важнейшим источни-

ком щелочных редких металлов (лития, рубидия и цезия) являются гидроминеральные ресурсы, которыми очень богата республика. Они нуждаются в детальном мониторинге и технологическом тестировании. В отличие от рудных формаций, где организация редкометалльного производства требует вложения огромных (хотя и окупаемых) финансовых средств и создания коммуникаций, для извлечения редких металлов из гидроминерального сырья не требуется столь крупных капитальных вложений. К тому же стимулируется очистка экосистемы.

Потенциал рудных формаций Армении на редкоземельные элементы изучен слабо; в госбалансе республики они не числятся. Относительно повышенные концентрации РЗЭ установлены в пределах Тежсарского и Мегринского щелочных комплексов, а также в рудах месторождений железорудной формации. Наиболее перспективен Тежсарский щелочной массив, который считается самой крупной интрузией комплекса щелочных пород в Армении. В массиве установлены как собственные редкоземельные минералы (монацит, ортит, рабдофанит, пирохлор), так и минералы-носители (апатит, флюорит, сфен, циркон, торит и др.). Преобладают элементы цериевой группы, а иттриевые земли либо отсутствуют, либо играют подчиненную роль. В пределах Тежсарского комплекса наибольшая концентрация редких земель с резко выраженным цериевым максимумом приурочена к флюоритовому проявлению Лагерного участка, что подтверждает представление о генетической связи между редкими землями и фтором и отличает Тежсарский комплекс от Хибин и Ловозера (РФ). Некоторые разновидности пород наделены радиоактивностью, обусловленной наличием тория и урана (участки Лагерный, Омар, Тежагет). Это фактически уран-торий-редкоземельная формация.

На данной стадии изученности месторождений железорудной формации на редкоземельность можно говорить о гидротермально-метасоматическом редкоземельно-апатит-магнетитовом (Абовян) и контактово-метасоматическом редкоземельно-золото-магнетитовом (Раздан) типах руд. Руды этих месторождений прошли технологические испытания, результаты которых подтвердили целесообразность их промышленного освоения с обеспечением

комплексного использования сырья. Руды месторождений железорудной формации Армении впервые выдвигаются как промышленный тип редкоземельного сырья.

Возобновление комплексных геологических исследований и коренной переоценки ресурсного потенциала радиоактивного сырья в независимой Армении – императив времени, который диктуется не только необходимостью обеспечения потребностей атомной энергетики, но и развитием новых областей технологии, науки и производства, одновременно способствуя развитию военно-промышленного комплекса и гарантии безопасности страны.

Имеющийся материал по закономерностям размещения уран-торий-радиевого оруденения, парагенезис минералов, геолого-структурные условия локализации, вещественный и физико-химический состав рудовмещающей среды свидетельствуют о том, что рудоконтролирующие узлы рудно-магматических систем генетически едины как для месторождений меднорудных, медно-молибденовых и золотополиметаллических формаций, так и для уран-торий-радиевого оруденения. Отсюда необходимость комплексного подхода к изучению перспективных многоэтажных рудно-магматических систем, в особенности в пределах крупных разведанных или эксплуатируемых месторождений с учетом того, что радиоактивное оруденение формируется на более поздних этапах развития рудогенной системы.

Имеющийся к настоящему времени фактический материал дает нам основание предложить новую генетическую группировку ураноносных проявлений Армении и наметить новые объекты и перспективные площади для первоочередного изучения.

Для Армении наиболее перспективны гидротермальные (Пахрут, Анд) и гидротермально-инфильтрационные проявления уран-молибденового (Лесное), уран-полиметаллического (Каятхское рудное поле) типов. Особый промышленный интерес представляют гидротермально-инфильтрационные проявления уран-редкоземельного (уранинит-флюорит-биотитового) типа (Тежсар), а также эпитермально-инфильтрационные золото-уран-торий-железистого типа во вторичных кварцитах (Хачинсар, Вардадзор), уран-ториевого в гранит-аплитах (Овтамеч), золото-уран-железистого

типа в туфобрекчиях андезитов (Зовашен) и в конгломератах и конглобрекчиях плиоцена (Нор-Аревик). Особый интерес представляют инфильтрационные (гидрогенно-хемогенные) проявления золото-уран-железистого типа в терригенно-углесланцевых комплексах Армении (Джерманис, Иджеван, Шамут, Антарамут, Нор-Аревик, Джаджур и др.). Крайне слабо изучены осадочные проявления уран-карбонатного типа (Гетап, Суренаван, Восточное), перспективы которых пока неясны.

Имеющийся материал свидетельствует о том, что армянский регион представляет определенный интерес на радиоактивное сырье с учетом комплексного характера урансодержащих руд, с одной стороны, с другой – локализация урана и тория в рудах разведанных и эксплуатируемых месторождений главных рудных формаций в пределах крупных горнорудных центров с развитой инфраструктурой и резервами для организации редкометалльного производства.

Изложенный материал по благородным, редким, редкоземельным и радиоактивным металлам свидетельствует о том, что в недалеком будущем можно ожидать резкого обострения **проблемы воспроизводства запасов** по многим видам полезных ископаемых в ведущих развитых странах мира. Ресурсный потенциал рудного сырья Армении огромен, и Армения может избежать этого кризиса. Развитие дальнейших исследований следует вести не только по пути еще более глубокой (комплексной) технологической переработки традиционных видов сырья, но также по пути освоения новых нетрадиционных видов минерального сырья, требующего внедрения новейших фундаментальных идей и технологий, технических средств для прогноза, поисков, разведки и геолого-экономической оценки объекта, добычи и переработки руды, а также высококачественного и квалифицированного научного (геолого-технологического) обслуживания горнорудного производства.

Перспективы потенциала рудного сырья Армении в XXI веке базируются на огромных ресурсах “нерудного сырья” – вторичных кварцитах, терригенно-углесланцевых отложениях, гидроминеральном сырье, продуктах новейшего вулканизма и других видах нетрадиционного сырья многоцелевого назначения.

Հայաստանում տեղական հումքի վերամշակմամբ բարձր մաքրության մետաղների ստացման նպատակով անհրաժեշտ է պետական երկարաժամկետ ծրագիր՝ ստեղծելու փակ ցիկլի ավարտուն մետաղաձուլական արտադրություններ: Մետաղաձուլական արտադրության համար հումք են հանդիսանում պղնձի, մոլիբդենի, ոսկերեր և բազմամետաղային խտանյութերը, որոնք արտադրվում են Ջանգեզուրի և Ագարակի պղնձամոլիբդենային, Ախթալայի և Կապանի լեռնահանքային կոմբինատներում, Այգեձորի ոսկու կորզման ֆաբրիկայում (ժամանակավորապես կոնսերվացված) և մի շարք փոքր հզորությամբ (Արմանիս, Մդարթ, Թուխմանուկ և այլն) ձեռնարկություններում: Արարատի ոսկու կորզման ֆաբրիկայում, որը վերամշակում է Մեղրաձորի և Սոթքի հանքաքարերն ու պահեստավորված տեխնոլոգիական մնացուկները. ապրանքային արտադրանք է հանդիսանում Դորեի համաձուլվածքը: Ալավերդում վերականգնվել է սև պղնձի թողարկումը՝ տարեկան մինչև 10 հազ. տ արտադրողականությամբ, ինչը ևս անավարտ ցիկլ է հանդիսանում: Մոլիբդենի խտանյութերի վերամշակման մասնակի աշխատանքներ են սկսված Ջանգեզուրի ՊՄԿ-ում (ք.Քաջարան), «Մաքուր երկաթ» գործարանում (ք.Երևան) և Armenian Molibdenum Production ՓԲԸ-ում (ք.Երևան), սակայն հազվագյուտ մետաղների կորզումը չի կարգավորված:

Պղնձահանքային և պղնձամոլիբդենային ենթաճյուղերի հեռանկարները երկարաժամկետ ապագայում բավականին որոշակի են, իսկ սև մետաղաձուլության ստեղծման հեռանկարներն անորոշ են թե կառավարական, և թե մասնավոր ներդրողների ծրագրերում, չնայած հումքային հենքը առավել քան հուսալի է, իրական և տեխնոլոգիապես նախապատրաստված:

Կարևորագույն սոցիալ-տնտեսական և ռազմավարական խնդիր է հանդիսանում ազնիվ, հազվագյուտ, հազվագյուտհողային և ռադիոակտիվ տարրերի բնապաշարների ներուժի սկզբունքային գնահատումը երկարաժամկետ հեռանկարում: Այսինքն, հաշվառվում են հումքի ոչ միայն ավանդական տեսակները՝ հանքային ֆորմացիայի արմատական հանքավայրերը, այլև նոր, մինչ այժմ չպահանջված, բայց, անկասկած, XXI դարում հեռանկարային, բազ-

մանպատակ օգտագործման բնապաշարները: Այս խնդրի լուծումը հիմնվում է հիմնարար-կիրառական երկրաբանական, ինչպես նաև նորագույն տեխնոլոգիական հետազոտությունների վրա, ինչը հնարավորություն է տալիս իրականացնել թռիչքային առաջընթաց այս ոլորտում, Անուսարի յուրօրինակ բարձր սուլֆիդային խոշոր էպիթերմալ-ինֆիլտրացիոն ոսկեբեր հանքավայրի հայտնաբերման օրինակով: Այս մոտեցումը հնարավորություն կտա ոչ հանքային ավանդական հումքատեսակները՝ սիլիկատային, վառելիքային և շինանյութային, վերաորակավորել որպես հանքասիլիկատային, հանքավառելիքային և հանքաշինանյութային բազմանպատակ օգտագործման բնապաշարների:

Հայաստանի ոսկու արդյունաբերությունն ապահովված է բավարար պաշարներով՝ ի հաշիվ ոսկեհանքային և ոսկի պարունակող բազմատարր (պղնձահանքային, պղնձամոլիբդենային և բազմամետաղային) հանքավայրերի: Մոտ ապագայում հնարավոր է ոսկու, ինչպես նաև հանրապետության պետհաշվեկշռում չհաշվարկված պլատինոիդների բնապաշարների ներուժի նշանակալի աճ՝ կապված տերրիզեն-ածխաթերթաքարային առաջացումների ոսկի-պլատինաբերության հետ, պղինձպորֆիրային կառույցների երկրորդային քվարցիտների ծածկոցների, ինչպես նաև պլոտցենի հասակի կոնգլոմերատների և կոնգլոփշրաբեկորային նստվածքների ոսկեբերության հետ՝ աշխարհի գլխավոր գեոտեսակների նմանօրինակով: Հեռանկարում ոսկեհանքային (ոսկի-հազվագյուտմետաղային) արդյունաբերության համար եզակի հումք կարող են դառնալ Արագած լեռան զանգվածի և այլ տարածքների նորագույն հրաբխականության (հասակը 0,5-1Ma) առաջացումները՝ տիտանամագնետիտային պեմզային ավազները, խարամները, տուֆերը, պեռլիտները, օբսիդիանները և այլ գոյացություններ, որոնք առայժմ նմանակը չունեն աշխարհում:

Առկա փաստացի նյութը մեզ հնարավորություն է տալիս առանձնացնել պլատին պարունակող **հանքային** (քրոմիտային-դունիտ-հարցբուրգիտային, պղնձամոլիբդենային-պղնձապորֆիրային, պղնձահանքային, ոսկի-բազմամետաղային՝ ալպիական անդեզիտային և օֆիոլիտային գոտիներում) և ոչ **հանքային** (ֆաներոզոյի հասակի տերրիզեն-ածխաթերթաքարային և կոնգլոփշրաբեկորային, նորագույն հրաբխականության թթու առաջացումներ)

Ֆորմացիաներ: Որպես կանխատեսումային առանձնացվում է երկաթահանքային ֆորմացիան, ինչի վերաբերյալ ներկայումս չկան բավականին հավաստի տվյալներ, սակայն գոյություն ունեցող փաստացի գրական նյութը աշխարհի գեոտեսակների վերաբերյալ հիմք է տալիս մեզ կանխատեսել այս ֆորմացիան որպես ոսկի-պլատին պարունակող և առաջարկել նպատակաուղղված միներալոգա-երկրաքիմիական աշխատանքների անցկացում: Մեր աշխատանքների արդյունքները համոզիչ վկայում են, որ Հայաստանի հանքային ֆորմացիաների մեջ բացի պլատին պարունակող քրոմիտայինից (դունիտ-հարցբուրգիտայինից), հեռանկարային են նաև պղնձամոլիբդենային ֆորմացիայի հանքավայրերը, առաջին հերթին շահագործվողները՝ Քաջարանը և Ագարակը, ինչպես պարունակությամբ, այնպես էլ արդյունահանման ծավալների չափերով և հարակից տարրերի կորզման ու տեխնիկական հնարավորություններով, հաշվի առնելով ի հայտ եկած մոլիբդեն-ռենիում-ռադիոձին օսմիում (պլատինոիդներ) պարագենետիկ երրորդությունը: Սա նոր և սկզբունքային հարցադրում է, որը մեծ հեռանկարներ է բացում լեռնահանքային ձեռնարկություններին կից մասնագիտացված ինքնուրույն արտադրամասերի ստեղծման նպատակահարմարության համար: Հումքի որակի, վերամշակման լեռնատեխնիկական բարենպաստ պայմանների և հարստացման պարզ տեխնոլոգիական սխեմայի շնորհիվ մոտ ապագայում պղնձամոլիբդենային ֆորմացիայի հետ կարող են մրցակցել տերրիզեն-ածխաթերթաքարային և կոնգլոմերատափշրաթեկորային “ոչ հանքային” ֆորմացիաները՝ մեր կողմից հայտնաբերված ոսկի-պլատինաբերությամբ:

Հանքահումքային հենքի և տեխնոլոգիական արտադրատեսակների համալիր օգտագործման մակարդակի բարձրացումը բարդ և բազմակողմանի խնդիր է, որն ունի սոցիալ-տնտեսական կարևոր նշանակություն: Ուստի, արմատական հանքավայրերի յուրացման տեխնոլոգիական սխեմաների մշակումը պետք է ընթանա ճկուն և էկոլոգիապես անվտանգ ավարտուն ցիկլով տեխնոլոգիական մոդուլների ստեղծման ճանապարհով՝ հաշվի առնելով հանքանյութի բազմորակությունը և բազմատարրությունը: Բացի հիմնական օգտակար բաղադրատարրերից (պղինձ, մոլիբդեն, ոսկի, արծաթ, կապար, ցինկ), արտադրվող խտանյութերում առկա

են քանկարժեք հազվագյուտ մետաղներ՝ հաշվառված հանրապետության պետհաշվեկշռում (ռենիում, սելեն, քելուր, բիսմութ, գալիում, ինդիում, կադմիում, գերմանիում, թալիում): Այդ օգտակար տարրերը ներկայումս խտանյութերի հետ օտարվում են՝ առանց համապատասխան փոխհատուցման: Պետհաշվեկշռում հաշվի չառնված տարրերի մեջ առանձնակի տեղ են գրավում (բացի պլատինոդիդներից) վանադիումը, սկանդիումը, ստրոնցիումը, ռադիոժին օսմիումը և այլ մետաղներ: Քաջարանի պղնձամոլիբդենային հանքավայրի հանքաքարում վանադիումը կուտակվում է մագնետիտում և անցնում հարստացման մնացուկների մեջ, ուր նաև սկանդիումն է կուտակվում: Պղինձ-մոլիբդենային հանքաքարերի հարստացման մնացուկները եզակի հումք են հանդիսանում ֆերրոմոլիբդենի, ֆերրովանադիումի, սկանդիումի, մագնետիտային խտանյութերի (երկաթը մինչև 60-64%) արտադրության համար և իրենց նմանատիպը չունեն աշխարհում: Հազվագյուտ տարրերը համաշխարհային շուկայում մշտապես ունեն կայուն և բարձր պահանջարկ: Ջարգացած երկրներում բազմաթիվ հազվագյուտ տարրեր դասվում են ռազմավարականների շարքին և գտնվում են ռազմարդյունաբերական համալիրի հսկողության տակ: Պետք է հաշվի առնել, որ հանրապետությունում հազվագյուտ մետաղների կորզման ու արտադրության գիտատեխնիկական հիմքը դեռևս նախապատրաստված չէ, ուստի ավարտուն մետաղածուլական արտադրության ստեղծման դեպքում սպասվում է ռազմավարական նշանակության քանկարժեք մետաղների անվերադարձ մեծ կորուստներ, թեև գոյություն ունեն հայ մասնագետների կողմից ստեղծված հազվագյուտ մետաղների կորզման մի շարք շահավետ տեխնոլոգիական մշակումներ: Հայաստանում խորհրդային տարիներին բազմաթիվ հազվագյուտ մետաղներ ԽՍՀՄ Գունմետնախարարության կողմից ստիպողաբար անտեսվում էին և չէին հաշվառվում հաշվեկշռում՝ ելնելով ոլորտի կոնյուկտուրային սկզբունքներից, իսկ ներկայումս՝ նույնն է արվում ընդերքը շահագործողների շահադիտական նպատակներից: Հանքավայրերի հաշվեկշռից անհիմն կերպով դուրս են գրվում հազվագյուտ մետաղների հաստատված պաշարները, ինչն անթույլատրելի է: Այդպիսի հանքավայրերի արտոնագրումը կառավարությունը պետք է խստորեն վերահսկի և պարտադրի ընդերքօգտագործողներին պետհաշ-

վեկշռում հաշվարկված բոլոր օգտակար տարրերի կորզման ապահովում, եթե ոչ, ապա դրանց շուկայական արժեքի կրկնակի վճարում հանքաքարի յուրաքանչյուր արդյունահանված տոննայի դիմաց, հումքը ոչ պիտանի՝ անօգտագործելի դարձնելու և էկոհամակարգը աղտոտելու համար, այլ ոչ թե համաձայն ոմանց «հրահանգների» կամ «ժայեցողության» իրականացնի հանքավայրի հաշվեկշռի «մաքրում»:

Ներկայումս ծայրահեղ թույլ է ուսումնասիրված ոչ հանքային հումքի հազվագյուտմետաղաբերությունը: Ոչ հանքային հումքի, հատկապես տերրիզեն-ածխաթերթաքարային առաջացումների, ջրամիներալային հումքի (հանքային և ջերմային աղբյուրներ, հանքաջրեր ու արդյունաբերական ջրահոսքեր), աղային կուտակումների և նորագույն հրաբխածին թթու գոյացությունների հանքային ներուժը, առաջին անգամ է դիտարկվում մեր կողմից: Հազվագյուտ ալկալային մետաղների (լիթիում, ռուբիդիում, ցեզիում) կարևորագույն հումք են հանդիսանում ջրահանքային բնապաշարները, որոնցով այդքան հարուստ է մեր հանրապետությունը: Դրանց մանրակրկիտ հետախուզավերլուծական և տեխնոլոգիական գնահատումը անհրաժեշտություն է, քանզի ջրահանքային հումքից հազվագյուտ տարրերի կորզումը խոշոր կապիտալ ներդրումներ չի պահանջում՝ ապահովելով էկոհամակարգերի մաքրությունը:

Հայաստանի հանքային ֆորմացիաների ներուժը հազվագյուտ հողերի տեսակետից թույլ է ուսումնասիրված և հանրապետության պետհաշվեկշռում դրանք հաշվի չեն առնված: Հազվագյուտ հողերի համեմատաբար խոշոր կուտակումներ հայտնաբերված են Թեժսարի և Մեղրու ալկալային ներժայթքուկային կոմպլեքսներում, ինչպես նաև երկաթահանքային ֆորմացիայի հանքաքարերում: Առավել հեռանկարային է Թեժսարի ալկալային զանգվածը, որը համարվում է ալկալային ներժայթքուկային ապարների ամենախոշոր կոմպլեքսը Հայաստանում: Այստեղ հայտնաբերվել են ինչպես բուն հազվագյուտհողային միներալներ (մոնացիտ, օրտիտ, ռաբբոֆանիտ, պիրոքլոր), այլ նաև ողեկցող միներալներ (ապատիտ, ֆլյուորիտ, սֆեն, ցիրկոն, թորիտ և այլն): Գերակշռում են ցերիումի խմբի միներալները, իսկ խորիումային հողերը կամ բացակայում են, կամ էլ երկրորդական դեր են կատարում: Թեժսարի կոմպլեքսի սահմաններում հազվագյուտ հողերի

առավելագույն կուտակումները՝ կտրուկ արտահայտված ցերիումային մաքսիմումով հարում են Լազերնայա տեղամասի ֆլյուորիտային երևակմանը, ինչը հաստատում է հազվագյուտ հողերի ու ֆտորի միջև եղած գենետիկ կապը և տարբերում Թեժարի զանգվածը Ռ-Դ Խիբինների և Լովոզերոյի ալկալային զանգվածներից: Ապարների որոշ տեսակներ օժտված են ռադիոակտիվությամբ, ինչը թորիումի և ուրանի ներկայության հետևանք է (Լազերնայա, Օմար, Թեժագետ տեղամասեր): Գ-ա, փաստորեն, ուրան-թորիում-հազվագյուտհողային ֆորմացիան է: Ուսումնասիրվածությունն անբնական փափուկ կարելի է խոսել երկաթահանքային ֆորմացիայի հազվագյուտհողաբերության երկու ենթաֆորմացիաների հեռանկարայնության մասին. հիդրոթերմալ-մետասոմատիկ հազվագյուտհողային-ապատիտ-մագնետիտային (Աբովյան) և կոնտակտ-մետասոմատիկ հազվագյուտհողային-ոսկիմագնետիտային (Հրազդան): Տեխնոլոգիական փորձարկումների արդյունքները հավաստել են այս հանքավայրերի արդյունաբերական յուրացման նպատակահարմարությունը՝ հումքի համալիր օգտագործմամբ: Երկաթահանքային ֆորմացիայի հանքավայրերը Հայաստանում առաջին անգամ են առաջադրվում որպես հազվագյուտհողային արդյունաբերական տեսակ:

Հայաստանի ռադիոակտիվ հումքի բնապաշարների ներուժի արմատական վերագնահատումը և համալիր երկրաբանական ուսումնասիրությունների իրականացումը ժամանակի հրամայականն է, որը թելադրվում է ոչ միայն ատոմային էներգետիկայի կարիքների բավարարման կարևորությամբ, այլև գիտության, արտադրության և տեխնոլոգիաների նոր ոլորտների զարգացմամբ, միաժամանակ նպաստելով ռազմաարդյունաբերական համակարգի զարգացմանը և երկրի անվտանգության ապահովմանը:

Ուրան-թորիում-ռադիում հանքայնացման տեղայնացման օրինաչափությունների, միներալների պարագենեզիսի, երկրաբանականոցվածքային պայմանների, հանքանյութ պարփակող միջավայրի նյութական և ֆիզիկաքիմիական կազմի վերաբերյալ փաստացի նյութը վկայում է, որ հանքամագմատիկ կառույցների հանքվերահսկող հանգույցները գենետիկորեն ընդհանուր են ինչպես պղնձահանքային, պղինձ-մոլիբդենային և ոսկի-բազմամետաղային ֆորմացիաների հանքավայրերի, այնպես էլ ուրան-

թորիում-ռադիում հանքայնացման համար: Այստեղից հետևում է, անհրաժեշտ է իրականացնել հեռանկարային բազմահարկ հանքամագմատիկ կառույցների համալիր ուսումնասիրություններ, հատկապես խոշոր, հետախուզված կամ շահագործվող հանքավայրերի սահմաններում, հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ ռադիոակտիվ հանքաբերությունը կուտակվում է հանքաբեր կառույցի ձևավորման ավարտական փուլերում: Ներկայումս գոյություն ունեցող փաստացի նյութը մեզ հիմք է տալիս առաջարկել Հայաստանի ուրանաբեր հանքերևակումների նոր գեներտիկ խմբավորում և առաջնահերթ ուսումնասիրման համար կանխատեսել նոր հեռանկարային հանքային դաշտեր ու տարածքներ: Հայաստանի համար առավել հեռանկարային են հիդրոթերմալ (Պախրուտ, Անդ), հիդրոթերմալ-ինֆիլտրացիոն ուրան-մոլիբդենային (Լեսնոյե) և ուրան-բազմամետաղային (Կայատեղի հանքային դաշտ) տիպերը: Հատուկ արդյունաբերական հետաքրքրություն են ներկայացնում ուրան-հազվագյուտհողային (ուրանինիտ-ֆլյուորիտ-բիոտիտ) տիպի հիդրոթերմալ-ինֆիլտրացիոն երևակումները (Թեժսար), էպիթերմալ-ինֆիլտրացիոն ոսկի-ուրան-թորիում-երկաթային տիպը՝ երկրորդային քվարցիտներում (Խաչինսար, Վարդաձոր), ուրան-թորիումայինը՝ գրանիտ-սպիտներում (Հովտամեջ), ոսկի-ուրան-երկաթային տիպը պլոցենի հասակի անդեզիտների տուֆափշրաբեկորային (Չովաշեն) և կոնգլոմերատային ու կոնգլոփշրաբեկորային (Նոր Արևիկ) առաջացումներում: Հայաստանում առանձնահատուկ հետաքրքրություն են ներկայացնում ինֆիլտրացիոն (հիդրոժին-քիմիաժին) ոսկի-ուրան-երկաթային տիպի երևակումները տերրիգեն-աժխաթերթաքարային նստվածքներում (Ջերմանիս, Իջևան, Շամուտ, Անտառամուտ, Նոր Արևիկ, Ջաջում և այլն): Չափազանց թույլ են ուսումնասիրված ուրան-կարբոնոտային տիպի (Գետափ, Սուրենավան, Արևելյան) նստվածքային երևակումները, որոնց հեռանկարները դեռևս պարզ չեն: Առկա փաստացի նյութը վկայում է այն մասին, որ հայկական տարածաշրջանը որոշակի հետաքրքրություն է ներկայացնում ռադիոակտիվ հումքի տեսակետից՝ հաշվի առնելով ուրանաբեր հանքատեսակների բազմատարբ բնույթը մի կողմից և զարգացած ինֆրակառույցներով ու հազվագյուտ մետաղների արտադրության համար անհրաժեշտ ներուժով լեռնահանքային կենտրոնների սահմաններում հետա-

խուզված և շահագործվող հանքավայրերի հանքակառույցներում ուրանի ու թորիումի տեղայնացումը՝ մյուս կողմից:

Ազնիվ, հազվագյուտ, հազվագյուտհողային և ռադիոակտիվ մետաղների մասին շարադրված նյութը վկայում է այն մասին, որ մոտ ապագայում աշխարհի գլխավոր զարգացած երկրներում կարելի է սպասել օգտակար հանածոների պաշարների վերարտադրման խնդրի կտրուկ սրացում: Հայաստանի հանքային հումքի բնապաշարների ներուժը հսկայական է և նա կարող է խուսափել այդ վերարտադրման պրոբլեմից: Հետագա ուսումնասիրությունների զարգացումները պետք է ընթանան ոչ միայն հումքի ավանդական տեսակների տեխնոլոգիական վերամշակման առավել խորացման ուղիով, այլև նոր, ոչ ավանդական միներալային հումքի յուրացման ճանապարհով, ինչը պահանջում է հանքավայրերի կանխատեսման, որոնման, հետախուզման, երկրաբանատնտեսական գնահատման և հանքաքարի հանույթի ու վերամշակման տեխնիկական միջոցներ նորագույն հիմնարար երկրաբանական գաղափարների ու տեխնոլոգիաների ներդրում, ինչպես նաև հանքային արտադրության բարձրորակ և մասնագիտական (երկրաբանատեխնոլոգիական) սպասարկում:

XXI դարում Հայաստանի հանքային հումքի հեռանկարային ներուժ կհանդիսանան “ոչ հանքային” հումքի՝ երկրորդային քվարցիտների ծածկոցները, տերրիգեն-ածխաթերթաքարային ու կոնգլոմիշրաքարային նստվածքները, նորագույն հրաբխագոյացումները, ինչպես նաև ջրահանքային և բազմանպատակ օգտագործման հումքի այլ տեսակների հսկայական բնապաշարները:

CONCLUSION

Long-term government program is necessary for establishing complete metallurgical processing with the extraction of high-purity metals on the basis of local raw materials. Raw materials for metallurgical processing are copper, molybdenum, gold-bearing and any polymetallic concentrates produced by Zangezur and Agarak copper-molybdenum, Akhtala and Kapan mining enterprises, Aygedzor gold-recovery factory (temporarily suspended) and a number of low power mining enterprises (Armanis, Mghart, Tukhmanuk, etc.). Gold doré's realized abroad, is a commodity product on Ararat gold-recovery factory processing minerals of Meghradzor and Sotk deposits and tailings. The copper smelting industry on production of draught copper is restored in Alaverdi with the output of 10 thousand tons per year which is an incomplete metallurgical process flowsheet. The processing of molybdenum concentrates is partially started in Zangezur Copper Molybdenum Enterprise (Kadgaran), "Pure Iron" (Yerevan) and in Joint-Stock Company Armenian Molybdenum Production (AMP) (Yerevan), but the production of rare metals is not developed yet.

The conditions of mineral raw-materials base of copper-ore and copper-molybdenum subindustries are reliable enough in a long-term perspective but the outlook for the ferrous metallurgy creation is not defined yet either by RA government or by private investors though the raw-materials potential is more than reliable, trustworthy and prepared from the technological viewpoint.

The major economic and strategic objective is an assessment of resource potential of noble, rare, rare-earth and radioactive elements in the long-run perspective. Not only conventional raw materials such as primary deposits of ore formations are considered, but also new, yet not claimed, multipurpose raw materials sources undoubtedly perspective for the XXI century. The solution of this problem is based on fundamental application-oriented geological as well as on the newest technological research that allows to carry out breakthrough in this sphere by an example of discovering a large unique Amulsar high-sulphide epithermal-infiltrating gold deposit. This approach allows to re-

qualify traditional nonmetallic resources (silica-base, fuel and building) into multipurpose ore-silicate, ore-fuel and ore-building resources.

The gold-bearing industry of Armenia is provided by sufficient supplies of gold and gold-bearing (copper, copper-molybdenum and polymetallic) deposits. In the nearest future the substantial growth of potential **gold** and **platinoids** resources (not registered in state balance) would be possible with the ascertainment of gold-platinum-bearing of terrigenous coal-shale complexes, gold-bearing of secondary quartzite mantles of copper-porphyry complexes and Pliocene gold-bearing conglomerates and conglobreccias compare with leading geotypes of the world. Modern volcanism products (age 0,5-1 Ma) such as titanium-magnetite pumice sands, slags, tuffs, perlites, obsidians and other products of the Mt.Aragats and other regions, that have no similar geotypes in the world yet, would be able to become unique raw materials for gold and gold-rare metals industry in the long-term perspective.

The available facts give grounds to single out platinum-bearing ore and non-ore formations. As a part of ore formations there considered chromite (dunite-harzburgite), copper-molibdenum (copper-porphyry), copper, gold-pollimetallic in Alpine andesite and ophiolite belts, and as a part of non-ore formations terrigenous coal-shale complexes and Phanerozoic rift conglomerates and conglobreccias as well as products modern volcanism are considered.

Iron-ore formation is singled out as a predictable one. We haven't got any reliable data on this formation at present; however, the available literature on other regions of the world on the bases of comparison gives us grounds to forecast this formation as gold-platinum-bearing and to recommend task-oriented mineralogical and geochemical research. The results of our research convincingly show that among the ore formations of Armenia, except for platinum-bearing chrome ore (dunite-harzburgite) formation, there are promising deposits of copper-molybdenum formation first of all Kadzharan and Agarak, being under exploitation, both on the content, and on scale and technical possibilities of by-recovery, taking into account the established paragenetic triad of molybdenum-rhenium-radiogenic osmium (platinoides). It's a new and fundamental statement of the question that

opens great possibilities on the organization of independent specialized shops at the Copper-Molybdenum Enterprise on a pre-recovery of platinoids (radiogenic osmium). The anew revealed gold-platinum-bearing terrigenous coal-shale and conglobreccia "non-metallic" formations would be able to compete in the nearest future with copper-molybdenum formation by the quality of raw materials, favorable mining conditions of and simple technological scheme of enrichment.

The enhancement of the complex use of the mineral-raw-materials base and products of technological process is a difficult and many-sided problem having the important economic value. Therefore the designing of technological models for primary deposits processing should go on a way of flexible, ecologically safe technological modules creation with complete cycle, taking into account a multi-rating and multi-element commodity ore structure. In addition to basic minerals (copper, molybdenum, gold, silver, lead, zinc), in copper-molybdenum, gold-bearing and polymetallic concentrates there are industrial contents of valuable rare metals (rhenium, selenium, tellurium, bismuth, gallium, indium, cadmium, germanium, thallium), registered in the State balance. Now these basic minerals (partially, except for rhenium) as a part of concentrates are exported out of the Republic without corresponding indemnification. Among the elements that are not registered in the State balance particularly come (except for platinoids) vanadium, scandium, strontium, radiogenic osmium, etc. In copper-molybdenum ores of Kadzharan giant vanadium concentrates in magnetite and passes into the enrichment tailings where scandium concentrates as well. The enrichment tailings of copper-molybdenum ores are unique raw materials for the production of ferromolybdenum, ferrovanadium, scandium and magnetite concentrate (Fe up to 60-64 %). In the world market rare elements are in constantly increasing demand. In developed countries many rare elements are rating as strategic and are under the control of military-industrial complex.

It is necessary to consider that scientific-technical base for extraction and production of rare metals in the Republic is not developed yet and, as consequence, while establishing metallurgical processing, huge irretrievable losses of expensive metals having

strategic value are possible, though there are some effective groundwork of Armenian experts concerning rare metals.

In Soviet time many rare elements in Armenia were forcibly ignored and not registered in the State balance for market and industry reasons by the USSR Ministry of non-ferrous metals and now in the conditions of free market relations they are ignored because of resources user mercenary considerations. Earlier asserted reserves of rare metals are unreasonably charged off from the balance of deposits that is inadmissible. While licensing such objects the Government should supervise and strictly oblige the user of mineral resources to provide the extraction of all useful components registered in the State balance, otherwise instead of "cleaning" the balance of a deposit under "discretion" or "instructions" to pay their double market price for each extracted ton of ore for damage of property and ecosystem pollution.

Now the problem of rare metal-bearing non-metallic raw materials is extremely poorly explored. The ore potential of non-metallic raw materials, especially terrigenous coal-shale complexes, hydromineral raw materials (mineral and thermal sources, mine waters and industrial drainages), salt deposits and modern acid vulcanite is considered for the first time. The Republic is very rich in hydromineral resources which are the major sources of alkaline rare metals (lithium, rubidium and caesium). They require detailed monitoring and technological testing. Unlike ore formations where the organization of rare metals processing requires investment of huge (though paid back) financial assets and creation of communications, the extraction of rare metals from hydromineral raw materials does not require such large capital investments. Besides, the cleaning of ecosystem is stimulated.

The potential of ore formations of Armenia on rare-earth elements is poorly studied; they are not registered in the State balance of the Republic. Relatively increased concentrations of rare-earth elements are specified within Tezhsar and Megry alkaline complexes, as well as in minerals of iron-ore formations deposits. The most perspective is Tezhsar alkaline massif which is considered to be the largest intrusion of alkaline rocks complex in Armenia. Both native rare-earth minerals (monazite, orthite, rabdofanit (rabdofan), chalcoprite), and minerals-carriers (apatite, fluorite, grothite, zircon, thorite, etc.) are revealed in

the massif. Elements of cerium group prevail, and yttrium earths are either missing, or playing the subordinated part. Within the limits of Tezhsar complex the greatest concentration of the rare earths with steep cerium maximum is dated to fluorite occurrence of Lagerniy site. That comes to prove the idea about genetic relationship between the rare earths and fluorine and distinguishes Tezhsar complex from Khibin and Lovozero (Russian Federation). Some varieties of rocks are radioactive stipulated by thorium and uranium (sites Lagerniy, Omar, Tezhaget). It is actually an uranium-thorium-rare-earth formation.

At the present stage of study of the iron-ore formations deposits on rare earth-bearing we can speak about hydrothermal-metasomatic rare earth-apatite-magnetit (Abovyan) and contact-metasomatic rare-earth-gold-magnetite (Hrazdan) types of minerals. Minerals of these deposits have been subjected to technological tests. The results of these tests have confirmed the expediency of their industrial development providing multipurpose use of raw materials. For the first time the minerals of iron-ore formation deposits of Armenia are suggested as the industrial type of rare-earth raw materials.

The renewal of complex geological research and radical reevaluation of resource potential of radioactive raw materials in the independent Armenia is a time imperative which is dictated not only by atomic engineering requirements but also by the necessity for the development of new areas of technology, science and production, simultaneously promoting the development of the military-industrial complex and the country's safety guarantee.

The available facts on uranium-thorium-radium mineralization distribution, minerals paragenesis, geological and structural conditions of localization, material and physical-chemical structure of mineral-containing medium indicate that ore-controlling knots of mineral-magmatic systems are genetically uniform, as for deposits of copper-ore, copper-molybdenum and gold-polymetallic formations as well as for uranium-thorium-radium mineralisation. Hence there is a necessity of the complex approach for studying perspective multi-storey ore-magmatic systems; in particular within the large prospected or exploited deposits taking into account that radioactive mineralization is formed at later stages of ore-bearing systems development.

The actual material available by this time gives us grounds to suggest new genetic classification of uranium-bearing occurrences of Armenia and to outline new objects and the perspective areas for top-priority research.

Hydrothermal (Pakhrut, And) and hydrothermal-infiltrating occurrences of uranium-molybdenum (Lesnoe), uranium-polymetallic (Kajatekh ore field) types are the most perspective for Armenia. The particular industrial interest represent hydrothermal-infiltrating occurrences of uranium-rare-earth (uraninit-fluorite-biotite) type (Tejsar), as well as epithermal-infiltrating occurrences of gold-uranium-thorium-ferriferous type in secondary quartzites (Khachinsar, Vardadzor), uranium-thorium into granite-aplites (Hovtamech), gold-uranium-ferriferous type in andesite tufa-breccias (Zovashen) and Pliocene conglomerates and conгло-breccias (Nor-Arevik). Also the particular interest represent infiltrating (hydrogenic-chemogenic) occurrences of gold-uranium-ferriferous type in terrigenous-coal-shale complexes of Armenia (Dzhermanis, Idzhevan, Shamut, Antaramut, Nor-Arevik, Dzhadzhur, etc.). Sedimentary occurrences of uranium-carbonate type (Getap, Surenavan and Vostochnoe) are extremely poorly explored and have no clear prospects yet.

The available facts indicate that Armenian region is of definite interest concerning radioactive raw materials, on one hand, taking into account the complex character of uraniumiferous minerals, on the other hand uranium and thorium concentration in the minerals of the prospected or exploited deposits of the main ore formations within the large mining centers with the developed infrastructure and reserves to organize rare-metal production.

The stated facts on noble, rare, rare-earth and radioactive metals indicate that in the nearest future in the leading developed countries of the world it is possible to expect a sharp aggravation of **the resource reproduction management problem** on many minerals. The resource potential of mineral raw materials of Armenia is huge, and Armenia will be able to avoid this crisis. Further research should be conducted not only on the way of thorough (complex) technological processing of conventional raw materials, but also by the way of development of new non-conventional kinds of mineral raw materials which require

introduction of the newest fundamental ideas and technologies, technical facilities for forecasting, surveying, prospecting and a geological-economic assessment of the object, mining and ore processing, and also the high-quality and qualified scientific (geological-technological) service of mining industry.

The perspectives of mineral raw materials potential of Armenia in the XXI century are based on huge resources of “nonmetallic raw materials”, i.e. secondary quartzites, terrigenous-coal-shale sediments, hydromineral raw materials, products of the modern volcanism and other kinds of non-conventional multipurpose raw materials.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ալոյան Պ.Գ., Ալոյան Հ.Պ., Դավթյան Ա.Ա. և ուրիշ. ՄԵՏԱՂՆԵՐ. Սև, գունավոր, ազնիվ, հազվագյուտ մետաղներ և հազվագյուտ հողեր: Երևան. Գեոիդ. 2006, 250էջ:
2. Սաֆարյան Վ. Որոնումներ «մեռած» լեզուների պանթեոնում: «Շումերական արձանագրությունների հայերեն ընթերցանության ապացույցներ»: Երևան. Գրիգոր Տաթևացի. 2003, 79էջ:
3. **Абовян С.Б.** Платина и металлы группы платины. В кн.: Геология Арм. ССР, т.6, Металлические полезные ископаемые. Ереван. Изд. АН Арм ССР. 1967, с. 490-496.
4. **Алоян Г.П.** Металлоносность терригенно-углесланцевых отложений Армении. В кн.: Вопросы эффективного использования минерально-сырьевых ресурсов Армении. Ереван. ГЕОИД. 2004, с. 63-67.
5. **Алоян Г.П.** Редкие металлы в рудах Армении и перспективы их промышленного освоения. Научные труды ГМИ. Ереван. 2005, с. 5-12.
6. **Алоян Г.П.** Морфогенетические особенности пирита в угленосных комплексах Армении. Изв. НАН РА, Науки о Земле. 2007, N 3, с. 39-45.
7. **Алоян Г.П.** Ресурсный потенциал радиоактивного сырья Армении и перспективы его освоения. М.: Горный журнал. 2007, N 6, с. 34-37.
8. **Алоян Г.П.** Геохимические особенности избирательной концентрации металлов и радиоактивных элементов в терригенно-углесланцевых комплексах Армении. Вестник ИАА. 2008, N 3, с. 347-353.
9. **Алоян Г.П., Алоян П.Г.** Редкие металлы в углесланцевых комплексах Армении. Вестник ИАА. 2008, N 4, с. 523-527.
10. **Алоян Г.П.** Галлий и германий в терригенно-углесланцевых комплексах Армении. Вестник ИАА. 2009, N 2, с. 230-235.
11. **Алоян П.Г.** Геолого-структурные особенности и рудоконтролирующие структуры Зангезурского сегмента Малого Казказа. Изв. НАН РА, Науки о Земле. 2000, N 1-2, с. 11-19.
12. **Алоян П.Г.** Геология горно-рудных регионов Армении. Повышение эффективности освоения рудных месторождений. Ереван. ГЕОИД. 2001, 243с.
13. **Алоян П.Г., Алоян Г.П., Амирян Ш.О.** Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы золоторудной промышленности Армении. Изв. НАН РА, Науки о Земле. 2003, N 2, с. 3-13.
14. **Алоян П.Г., Алоян Г.П.** Платиноиды в промышленных рудах Армении. Ереван. ГЕОИД. 2003, 130с.
15. **Алоян П.Г., Алоян Г.П.** Металлоносность черносланцевых (терригенно-углесланцевых) комплексов Армении. Изв. НАН РА, Науки о Земле. 2003, N 3, с. 8-13.
16. **Алоян П.Г., Алоян Г.П.** Редкие металлы в промышленных рудах Армении. Ереван. ГЕОИД. 2005, 335с.
17. **Алоян П.Г., Алоян Г.П.** О перспективах редкометалльной промышленности Армении. М.: Маркшейдерия и недропользование. 2007, N 4, с. 10-17.

18. **Алоян П.Г.** О потенциале геологических формаций Армении на редкоземельные элементы. М.: Горный журнал. 2007, N 4, с.17-19.
19. **Алоян П.Г., Алоян Г.П.** Радиоактивные ресурсы Армении и перспективы их освоения. Вестник ИАА. 2006, N 3, с. 369-382.
20. **Алоян П.Г.** Ураноносность граносиенит-аццитов эоцен-олигоценового вулканоплутонического комплекса Армении. Вестник ИАА. 2009, N 1, с. 62-67.
21. **Амирян Ш.О.** Золотоносные формации Армянской ССР. Ер.: Изд. АН Арм. ССР, 1984, 303с.
22. **Андреев И.Ю., Головин В.Ф., Литвиненко В.Г. и др.** Комплексная технология переработки урановых руд агитационными и перколяционными методами.; М.: Горный журнал. 2003, N 6, с. 45-47.
23. **Андреев П.Ф., Андреева И.В., Рогозина Э.М.** Взаимодействие солей урана с компонентами растительной ткани и их некоторыми производными. М.: Геохимия. 1962, N 4. с. 313-317.
24. **Андреев П.В., Чумаченко А.П.** О процессах восстановления урана на природных органических соединениях. М.: Геохимия. 1964, N 1, с. 16-22.
25. **Андреев Б.С.** Развитие золотосодержащих флюидно-минеральных систем "черносланцевого" типа. В кн.: Геохимия, минералогия, литология черных сланцев. Сыктывкар. Изд. Коми фил. ИГН АН СССР. 1987, с. 74-75.
26. **Ахмедов А.М., Гавриленко Б.В., Предовский А.А.** Распределение золота в углеродисто-сульфидных сланцах Печенгского комплекса. В кн.: Петрология, минералогия и геохимия. Апатиты. Кольский фил. ИГН АН СССР. 1974, с. 231-235.
27. **Багдасарян Г.П., Гукасян Р.Х.** Геохронология магматических, метаморфических и рудных формаций Арм. ССР. Ер.: Изд. АН Арм. ССР. 1985, 291с.
28. **Багдасарян Г.П. и др.** Об абсолютном возрасте магматических пород Алавердского рудного района. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле. 1966, N 5, с. 52-63.
29. **Баранов Ю.Э.** Редкие элементы в угленосных формациях. В кн.: Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. М.: Наука. 1966, т. 3, с. 736-755.
30. **Бирка Г.И., Бойцов А.В., Никольский А.Л., Фазлулин М.И.** Международная конференция "Геохимия урана - 2003". М.: Цветные металлы. 2003, N 1, с. 72-81.
31. **Бойцов В.Е., Верчеба А.А.** Геолого-промышленные типы месторождений урана. М.: Университет, книжный дом. 2008. 310с.
32. **Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Солодов Н.А.** Месторождения благородных, радиоактивных и редких металлов. М.: НИИ-Природа. 1999, 200с.
33. **Борисенко Л.Ф.** Месторождения ванадия. В кн.: Рудные месторождения СССР. М.: Недра. 1978, с. 244-261.
34. **Борисенко Л.Ф., Слотвинский-Сидак Н.П., Поликашина Н.С.** Ванадий. М.: Геоинформмарк. 1998, 33с.
35. **Борисенко Л.Ф., Комиссарова Л.Н., Поликашина Н.С.** Скандий. М.: Геоинформмарк. 1999, 38с.
36. **Бушинский Г.И.** Формация Фосфория. М.: ГИН АН СССР. 1969, вып. 201, 110с.

37. Батулин С.Г., Головин Е.А., Зеленова О.И. Экзогенные эпигенетические месторождения урана: условия образования. М.: Атомиздат. 1965, 324с.
38. Батулин С.Г., Грушевой Г.В., Зеленова О.И. и др. Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования. М.: Атомиздат. 1980
39. Брегер Н.А., Дьюл М. Органическая геохимия урана. В кн.: Геология атомных сырьевых материалов. М.: Госгеолтехиздат. 1956, с. 95-105.
40. Вайн Дж. Урансодержащие угли в США. В кн.: Материалы Втор. междунар. конф. по мирн. использ. атомной энергии (Женева, 1955). М.: Госгеолтехиздат. 1958, т. 6, с. 525-531.
41. Вайн Дж., Свенсон В., Белл К. Роль гуминовых кислот в геохимии урана. В кн.: Тр. Втор. междунар. конф. по мирн. использ. атомной энергии: избранные доклады иностранных ученых. М.: Атомиздат. 1959, т. 8, с. 722-726.
42. Вершковская О.В., Зуева Т.И., Прокопчук В.П. Галлий. М.: Геоинформмарк. 1998, 17с.
43. Верникова Л.И., Водопьянова Л.С., Горюшкина С.Я. О растворении золота в присутствии биоорганических продуктов. М.: Цветные металлы. 1987, N 1, с. 106-109.
44. Власов Б.П., Воловикова И.М. и др. Геология месторождений уран-молибденовой рудной формации. М.: Атомиздат. 1966, 183с.
45. Володин В.Н., Василец С.Г. Вакуумное радионирование кадмия с высоким содержанием таллия. М.: Цветные металлы. 2004, N 1, с. 55-58.
46. Волков А.Б. Российский проект компании Phelps Dodge. М.: Мин. ресурсы РФ, экономика и управление. 2007, N 1, с. 59-61.
47. Вольфсон Ф.И., Дружинин А.В. Главнейшие типы рудных месторождений. М.: Недра. 1975, 392с.
48. Вольфсон Ф.И., Королев К.Г. Условия формирования урановых месторождений. М.: Недра. 1990, 288с.
49. Габриелян А.А. Палеоген и неоген Армянской ССР. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1964, 276с.
50. Гавшин В.М., Бобров В.А., Пялиниг А.О., Лавреньева Ю.Т. Сорбенты урана в осадочных породах и вопросы происхождения рудообразующих растворов. М.: Тр. Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР. 1975, вып. 286, с. 57-63.
51. Геология атомных сырьевых материалов. Доклады иностранных ученых на Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева – 1955. М.: Госгеолтехиздат. 1956, 508с.
52. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. В трех томах: т. 1–Геохимия редких элементов. М.: Наука. 1964, 687с., т. 2–Минералы редких элементов. М.: Наука. 1964, 830с., т. 3–Генетические типы месторождений редких элементов. М.: Наука. 1966, 860с.
53. Данчев В.И. О стадийности формирования осадочных месторождений урана. В кн.: Геохимия, петрография и минералогия осадочных образований. М.: Изд. АН СССР. 1963, с. 316-325.
54. Данчев В.И., Стрелянов Н.П. Об особенностях образования повышенных концентраций урана и ряда редких элементов в угленосных формациях. В кн.:

- Радиоактивные элементы в горных породах. Новосибирск. Изд. СО АН СССР. 1972, с. 37-39.
55. **Данчев В.И., Стрелянов Н.П.** Ураноугольные месторождения и их главные генетические типы. М.: Геология рудных месторождений. 1973, т. 15, N 3, с. 66-81.
56. **Данчев В.И.** Текстуры и структуры урановых руд экзогенных месторождений. М.: Атомиздат. 1977, 102с.
57. **Данчев В.И., Стрелянов Н.П.** Экзогенные месторождения урана. М.: Атомиздат. 1979, 245с.
58. **Данчев В.И., Лапинская Т.А.** Месторождения радиоактивного сырья. М.: Недра. 1980, 256с.
59. **Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чередников О.И.** Металлогения платиноидов крупных регионов России. М.: Геоинформмарк. 2001, 301с.
60. **Дымков Ю.М.** Сферолитовые агрегаты настурана. В кн.: Природа урановой смоляной руды. М.: Атомиздат. 1973, с. 144-154.
61. **Евсеева Л.С., Перельман А.И., Иванов К.Е.** Геохимия урана в зоне гипергенеза. М.: Атомиздат. 1974, 280с.
62. **Евстахийев В.Л.** Урановорудные эпохи. Изв. АН СССР, серия геологическая. 1967, N 3, с. 115-116.
63. **Елисеева О.П.** Вторичные кварциты в палеогеновых эффузивах Армянской ССР. М.: Геология рудных месторождений. 1964, т. 6, N 1, с. 69-80.
64. **Ескенази Гр.** Некоторые аспекты геохимии титана в процессе углеобразования. Тр. Софийского университета. София. 1972, т. 65, N 1, с. 77-199.
65. **Ермолаев Н.П., Созинов Н.А., Флициян Е.С. и др.** Новые вещественные типы руд благородных и редких элементов в углеродистых сланцах. М.: Наука. 1992, 188с.
66. **Ермолаев Н.П., Созинов Н.А., Котина Р.П. и др.** Механизм концентрирования благородных металлов в терригенно-углеродистых отложениях. М.: Научный мир. 1999, 124с.
67. **Ершов В.М.** Редкоземельные элементы в углях Кизеловского каменноугольного бассейна. М.: Геохимия. 1961, N 3, с. 274-275.
68. **Зарьян Р.Н.** Селен и теллур. В. кн.: Редкие и благородные элементы в рудных формациях Армении. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1972, с. 262-275.
69. **Зарьян Р.Н.** Распределение галлия, индия и кадмия в сфалеритах Капанского месторождения. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле. 1972, N 6, с. 23-28.
70. **Зелинский Р., Финкельман Р.** Радиоактивные элементы в угле и золе: содержание, формы и экологическое значение. [http: masters. Donntu. Edu. Ua](http://masters.donntu.edu.ua) (2007).
71. **Иванов В.В., Видякин Н.С., Юшко-Захарова О.Е.** Кадмий. М.: Геоинформмарк. 1997, 22с.
72. **Иванов В.В., Поплавко Е.М., Малевский А.Ю.** Рений. М.: Геоинформмарк. 1998, 19с.
73. **Иванов В.В., Видякин Н.С.** Индий. М.: Геоинформмарк. 1998, 16с.
74. **Иванов В.В., Мейтов Е.С.** Германий. М.: Геоинформмарк. 1998, 16с.
75. **Иванов В.В., Видякин Н.С.** Таллий. М.: Геоинформмарк. 1998, 19с.
76. **Иванов В.В., Юшко-Захарова О.Е.** Теллур. М.: Геоинформмарк. 1998, 15с.

77. **Иванов В.В., Видякин Н.С., Юшко-Захарова О.Е.** Селец. М.: Геоинформ-марк. 1998, 20с.
78. **Иванкин П.Ф., Цой Р.В., Гурейкин Н.Я.** Типизация золоторудных полей в углеродисто-терригенной толще. М.: Сов. геология. 1981, N 11, с. 43-48.
79. **Казанбаев Л.А., Козлов П.А., Кубасов В.Л., Загребин С.А.** Физико-химический метод получения индиевого порошка высокой чистоты. М.: Цветные металлы. 2003, N 1, с. 33-35.
80. **Казарян А.Г.** О вторичных кварцитах Арм ССР. ДАН АН Арм. ССР. 1965, т. 40, N 1, с. 53-56.
81. **Карапетян А.И.** Эндогенные рудные формации Памбак-Зангезурской металлогенической зоны Малого Кавказа. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1982, 348с.
82. **Карапетян А.И., Халатян Э.С., Арутюнова М.Н.** Термы Армении – новый тип многоцелевого полезного ископаемого. Сб. науч. тр. ГМИ. Ереван. Лусакн. 1989, с. 206-210.
83. **Касьянов А.В., Безбородов А.А., Жоров В.А., Кобылянская А.Г.** Соосаждение урана с гидроокисью титана из морской воды. М.: Радиохимия. 1975, т. 17, N 4, с. 477-481.
84. **Качурин В.Ф., Меликсетян Б.М., Саркисян Г.А., Лисица А.А.** Особенности геологического строения и основные черты рудоносности Зовашен-Варданесской вулкано-тектонической депрессии. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле. 1975, N 4, с. 3-12.
85. **Керр П.Ф.** Месторождения урана и тория. В кн.: Геология атомных сырьевых материалов. М.: Госгеолтехиздат. 1956, с. 183-211.
86. **Клер В.Р.** Месторождения урана и тория в нормальных осадочных породах. В кн.: Геология атомных сырьевых материалов. М.: Госгеолтехиздат. 1956, с. 183-211.
87. **Клер В.Р., Ненахова В.Ф.** Парагенетические комплексы полезных ископаемых сланцевосных и угленосных толщ. М.: Наука. 1981, 175с.
88. **Клер В.Р., Волкова Г.А., Гуревич Е.М. и др.** Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов. М.: Наука. 1987, 239с.
89. **Клер В.Р., Ненахова В.Ф., Сапрыкин Ф.Я. и др.** Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения. М.: Наука. 1988, 256с.
90. **Коковкин А.А.** Уран-полиэлементные рудообразующие системы рифтогенных структур юга Дальнего Востока России. М.: Руды и металлы. 2006. N 6, с. 5-12.
91. **Константинов В.М.** Месторождения урана в тектонических депрессиях. М.: Природа. 2001, N 7, с. 44-48.
92. **Константинов М.М. и др.** Золоторудные гиганты России и мира. М.: Научный мир. 2000, 272с.
93. **Коробейников А.Ф.** Особенности распределения золота в породах черносланцевых формаций. М.: Геохимия. 1985, N 12, с. 1747-1757.
94. **Котляр В.Н.** Амулсарское месторождение алунитов в Советской Армении. ДАН Арм. ССР. 1945, т. 3, N 3, с. 81-83.

95. **Кочарян А.Е.** Условия образования и закономерности размещения уранового оруденения на территории Арм. ССР. Доктор. дис. Ереван. Фонды ИГН НАН РА. 1969, 488с.
96. **Коченов А.В., Дубинчук В.П., Каширцева М.Ф. и др.** О формах выделения и условиях осаждения урана в экзогенных эпигенетических месторождениях. М.: Геохимия. 1981, N 5, с. 769-778.
97. **Коченов А.В., Зиновьев В.В., Ковалева С.А.** Некоторые особенности процесса накопления урана в торфяниках. М.: Геохимия. 1965, N 1, с. 97-103.
98. **Коченов А.В., Королев К.Г., Дубинчук В.П., Медведев Ю.Л.** Об условиях осаждения урана из водных растворов по экспериментальным данным. М.: Геохимия. 1977, N 11, с. 1711-1716.
99. **Кочинян Г.Е.** Минералогия и геохимия щелочных пород Памбака. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1975, 175с.
100. **Кизильштейн Л.Я.** Концепция жестких, мягких кислот и оснований и концентрация металлов в ископаемом органическом веществе. В кн.: Роль органического вещества в концентрировании металлов в земной коре. М.: Недра. 1983, с. 109-115.
101. **Кизильштейн Л.Я.** Генезис серы в углях. Ростов. Изд. Ростовского ун-та. 1975, 168с.
102. **Ковальский Ф.И., Наседкин В.В., Сергеев Н.И., Сергеева К.А.** Перлит. М.: Геоинформмарк. 1998, 30с.
103. **Коган Б.И.** Редкие металлы. Состояние и перспективы. М.: Наука. 1979, 356с.
104. **Коган Б.И., Вершковская О.В., Славиковская И.М.** Галлий. М.: Наука. 1973, 476с.
105. **Косинский В.А., Корнилов Ю.Н., Поляковская Е.И., Черникова А.Б.** Уголь. М.: Геоинформмарк. 1997, 63с.
106. **Кочнев-Первухов В.И., Заскинд Е.С., Коикина О.М. и др.** Металлы платиновой группы. М.: Геоинформмарк. 1998, 58с.
107. **Кременицкий А.А., Линде Т.П., Юшко Н.А., Шадерман Ф.И.** Литий. М.: Геоинформмарк. 1999, 49с.
108. **Кременицкий А.А., Линде Т.П., Юшко Н.А., Шадерман Ф.И.** Рубидий и цезий. М.: Геоинформмарк. 1999, 45с.
109. **Кривцов А.И.** Геологические основы прогнозирования и поисков меднопорфировых месторождений М.: Недра. 1983, 255с.
110. **Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С.** Меднопорфировые месторождения мира. М.: Недра. 1986, 236с.
111. **Лебедев П.И.** Алунитизация лав Алагеза (Армения). Докл. АН СССР. 1928, А, N 18-19, с. 393-397.
112. **Лешков В.Г., Бельченко Е.Л., Гузман Б.В.** Золото российских недр. М.: ЭКОС. 2000, 628с.
113. **Ли Л.В., Шохина О.И.** Поведение золота при процессах прогрессивного регионального метаморфизма пород докембрия Енисейского края. М.: Геохимия. 1974, N 3, с. 402-409.
114. **Лопаткина А.П.** Условия накопления урана торфами. М.: Геохимия. 1967, N 6, с. 708-719.

115. **Лопаткина А.П., Комаров В.С., Сергеев А.Н., Андреев А.Г.** Некоторые особенности накопления урана живыми и отмирающими растениями-торфообразователями. М.: Геохимия. 1970, N 3, с. 372-377.
116. **Лисицин А.К., Круглов А.И., Пантелеев В.М., Сидельникова В.Д.** Условия накопления урана в низинных старичных торфяниках. М.: Литология и полезные ископаемые. 1967, N 3, с. 103-116.
117. **Магакьян И.Г., Пиджан Г.О., Хачатурян Э.А.** Рассеянные элементы. В кн.: Геология Армянской ССР. Т. 6. Ереван. Изд АН Арм. ССР. 1967, с. 496-530.
118. **Магакьян И.Г.** Редкие, рассеянные и редкоземельные элементы. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1972, 108с.
119. **Магакьян И.Г., Меликсетян Б.М.** Редкие земли, торий и иттрий. В кн.: Редкие и благородные элементы в рудных формациях Арм. ССР. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1972, с. 364-373.
120. **Маккелви В.И., Эверхард Д.Л., Гаррелс Р.М.** Обзор гипотез о генезисе урановых месторождений. В кн.: Геология атомных сырьевых материалов. М.: Госгеолтехиздат. 1956, с. 25-52.
121. **Манская С.М., Дроздова Т.В.** Геохимия органического вещества. М.: Наука. 1964, 315с.
122. **Манская С.М., Кодина Л.А.** Геохимия лигнита. М.: Наука. 1975, 232с.
123. **Меликсетян Б.М., Карапетян С.Г.** Геохимия редких и рудных элементов в новейших кислых вулканитах Арм. ССР. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле. 1981, N 4, с. 28-48.
124. **Месропян А.И., Саркисян О.А.** Угли и горючие сланцы. В кн.: Геология Армянской ССР. Т. 7. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1966, с. 530-558.
125. **Мигачев И.Ф., Звездов В.С.** Моделирование обстановок формирования меднопорфировых рудно-магматических систем. В кн.: Рудообразующие процессы и системы. М.: Наука. 1989, с. 168-178.
126. **Мишнер Э.Ф., Теремецкая Т.Е., Усова Т.Ю.** Висмут. М.: Геоинформмарк. 1997, 23с.
127. **Мкртчян С.С.** Зангезурская рудоносная область Арм. ССР. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1958, 287с.
128. **Наседкин В.В.** Основные закономерности формирования месторождений водосодержащих стекол и пути их промышленного освоения. В кн.: Перлиты. М.: Наука. 1981, с. 17-42.
129. **Наковник Н.И.** Вторичные кварциты СССР и связанные с ними месторождения полезных ископаемых. М.: Недра. 1968, 335с.
130. **Наковник Н.И.** Новые данные о так называемых вторичных кварцитах и их рудах. В кн.: Проблемы советской геологии. М.: Недра. 1933, т. 2, N 6, с. 228-242.
131. **Некрасова З.А.** К вопросу о генезисе уранового оруденения в углях. В кн.: Вопросы геологии урана. М.: Атомиздат. 1957, с. 37-54.
132. **Неручев С.Г.** Уран и жизнь в истории Земли. Л.: Недра. 1982, 208с.
133. **Никогосян О.С., Краевская С.Н.** Оценка воздействия предприятий Армянской золотоизвлекательной компании на окружающую среду. М.: Горный журнал. 2003, N 3, с. 67-72.

134. **Никогосян О.С., Краевская С.Н.** Оценка воздействия выбросов рудничных вод Соткского рудника на поверхностные воды. Сбор. научн. тр. ГМИ. Ереван. Егя. 2005, с. 143-148.
135. **Никогосян О.С., Краевская С.Н., Геворкян А.А.** Анализ влияния Араратского завода по извлечению золота на грунтовые и поверхностные воды за период его деятельности. Сбор. научн. тр. ГМИ. Ереван. Егя. 2005, с. 148-152.
136. **Нэш Дж.Т., Грейнджер Х., Адамс С.С.** Геология и концепции генезиса важнейших типов урановых месторождений. В кн.: Генезис рудных месторождений. Т. 1. М.: Мир. 1984, с. 72-155.
137. **Овчаренко Ф.Д., Ульберг З.Р., Гарбор С.В. и др.** Механизм биогенного образования аутигенных включений золота в тонкодисперсных осадках. Докл. АН СССР. 1985, т. 284, N 3, с. 711-713.
138. **Островская Г.Я.** Об уране в породах угленосных формаций. М.: Атомная энергия. 1970, N 6, с. 102-106.
139. **Павлова И.Г.** Меднопорфировые месторождения. М.: Недра. 1978, 275с.
140. **Паффенгольц К.Н.** Геология Армении. М.-Л.: Госгеолтехиздат. 1948, 895с.
141. **Паффенгольц К.Н., Тер-Месропян Г.Т.** Арагац. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1974, 79с.
142. **Педовский А.А., Кочин Г.Г.** Некоторые геологические особенности и поисковые критерии повышенных концентраций и месторождений урана в углях. Вест. ЛГУ, Геология и география. 1968, N 6, с. 36-45.
143. **Перваго В.А.** Геология и экономика меднопорфировых месторождений. М.: Недра. 1978, 168с.
144. **Перваго В.А.** Условия формирования и геолого-экономическая оценка промышленных типов месторождений цветных металлов. М.: Недра. 1983, 406с.
145. **Перельман А.И.** Геохимия. М.: Высш. шк. 1979, 423с.
146. **Перельман А.И.** Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра. 1972, 288с.
147. **Пиджян Г.О.** Закономерности распределения селена и теллура в рудах медно-молибденовых месторождений Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле. 1967, N 5-6, с. 66-80.
148. **Пиджян Г.О.** Медно-молибденовая формация руд Армянской ССР. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1975, 311с.
149. **Поплавко Е.М., Иванов В.В., Орехов В.С., Тархов Ю.А.** Особенности металлоносности горючих сланцев и некоторые предположения об их генезисе. М.: Геохимия. 1978, N 9, с. 1411-1418.
150. **Преториус Д.А.** Золото и уран в кварцевых конгломератах. В кн.: Генезис рудных месторождений, т. 2. М.: Мир. 1984, с. 5-38.
151. **Рамдор П.** Рудные минералы и их сростания. М.: ИЛ. 1962, 1132с.
152. **Русинов В.Л.** Процессы алунитизации в некоторых областях молодого вулканизма. М.: Недра. 1966.
153. **Рябчиков И.Д., Орлова Г.П.** Роль мантийных флюидов в транспортировке рудных компонентов. В кн.: Рудообразующие процессы и системы. М.: Наука. 1989, с. 25-34.

154. Редкие и благородные элементы в рудных формациях Арм. ССР. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1972, 393с.
155. **Саввичев А.С., Никитин Д.И., Оранская М.С.** Две фазы аккумуляции коллоидного золота иммобилизованными клетками микроорганизмов. М.: Геохимия. 1985, N 10, с. 1516-1518.
156. **Сазонов А.Н., Гринев О.М., Шведов Г.И., Сотников В.Н.** Нетрадиционная платиноидная минерализация. Томск. ИТПУ. 1997.
157. **Саруханиян Л.Б.** Минералогия, геохимия и генезис Абовянского апатит-магнетитового месторождения. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1971, 183с.
158. **Сафонов Ю.Г.** Золоторудные и золотосодержащие месторождения мира – генезис и металлогенетический потенциал. М.: Геол. рудн. месторожд. 2003, т. 45, N 4, с. 305-320.
159. **Салаи А.** Значение гумуса в геохимическом обогащении урана. Избранные доклады иностранных ученых. М.: Атомиздат. 1959, т. 8, с. 116-125.
160. **Салаи А.** Роль гумусовых кислот в геохимии урана и их возможная роль в геохимии других катионов. В кн.: Химия земной коры. М.: Наука. 1964, т. 2, с. 428-442.
161. **Сапрыкин Ф.Я., Кир В.Р., Кулачкова А.Ф.** Геохимические особенности концентрации редких элементов в различных фациальных типах отложений угленосных формаций. В кн.: Угленосные формации и их генезис. М.: Наука. 1973, с. 126-138.
162. **Сапрыкин Ф.Я., Кулачкова А.Ф.** Роль природных органических веществ в процессе миграции и концентрации микроэлементов. В кн.: Проблемы геохимии. М.: Недра. 1975, с. 77-89.
163. **Сапрыкин Ф.Я., Богданов В.В.** Генетическая классификация угольных месторождений, содержащих микроэлементы. В кн.: Материалы 9-ого совещания геологических организаций. Л.: Недра. 1965, вып. 7, с. 84-90.
164. **Саркисян Г.А., Мартиросян С.В., Налбандян Э.М. и др.** Алунитовые вторичные кварциты Вайка. Изв. АН Арм. ССР, Науки и Земле. 1982, т. 35, N 4, с. 12-21.
165. **Свейн Д.Дж.** Микроэлементы в углях. В кн.: Очерки современной геохимии и аналитической химии. М.: Наука. 1972, с. 484-487.
166. **Смирнов В.И.** Геология полезных ископаемых. М.: Недра. 1969, 685с.
167. **Соловкин А.Н.** Новые данные о рудоносности интрузий Малого Кавказа. Докл. АН СССР. 1945, т. 48, N 8, с. 613-614.
168. **Суражский Д.Я.** Генетические типы промышленных месторождений урана. М.: Атомная энергия. 1956, N 2.
169. **Саядян Ю.В.** Новейшая геологическая история Армении. Ереван. Изд. Гитутюн НАН РА. 2009, 357с.
170. **Страхов Н.Н., Залманзон Э.С., Глаголева М.А.** Очерки геохимии верхнепалеозойских отложений гумидного типа (опыт фациально-геохимического анализа). М.: Тр. ГИН АН СССР. 1959, вып. 23, 223с.
171. **Солодов Н.А., Семенов Е.Н., Усова Т.Ю.** Иттрий и лантаноиды. М.: Геоинформмарк. 1998, 48с.

172. **Тахтаджян А.А., Габриелян А.А.** Опыт стратиграфической концентрации вулканогенных толщ и пресноводных образований плиоцена и нижнего постплиоцена Малого Кавказа. ДАН Арм. ССР. 1948, N 1, с. 211-216.
173. **Титли С.Р., Бин Р.Э.** Меднопорфировые месторождения. В кн.: Генезис рудных месторождений. Т. 1. М.: Мир. 1984, с. 245-333.
174. **Тугаринов А.И.** Происхождение урановых месторождений. В кн.: Очерки современной геохимии и аналитической химии. М.: Наука. 1972, с. 263-271.
175. **Уильямс С.Д.** Металлы жизни. М.: ИЛ. 1975, 236с.
176. **Фарамазян А.С., Акопян А.Г.** Рений в некоторых молибденовых проявлениях Айоцдзорского рудного района. Изв. АН Арм. ССР, серия геолог.-географ. наук. 1963, N 3, с. 61-66.
177. **Фарамазян А.С., Калинин С.К., Терехович С.Л.** К геохимии элементов платиновой группы в медно-молибденовых месторождениях Арм. ССР. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле. 1970, N 4, с. 25-32.
178. **Фарамазян А.С., Калинин С.К., Егизбаева К.Е., Файн Э.Е.** Об абсолютном возрасте медно-молибденового оруденения Зангезура. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле. 1974, N 1, с. 45-53.
179. **Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Горячев Н.А.** Геолого-генетическая модель формирования стратифицированных золотокварцевых месторождений Южного Верхоянья. М.: Отечественная геология. 2006, N 6, с. 33-37.
180. **Фоминых В.Г., Хвостова В.П.** Особенности распределения металлов группы платины в породообразующих минералах Гусевгорского месторождения. Докл. АН СССР. 1971, т. 200, N 2, с. 443-445.
181. **Ферсман А.Е.** Геохимия. Т. 1. М.: Недра. 1933, 458с.
182. **Халатян Э.С., Арутюнова М.Н., Халатян А.Р.** Извлечение редких металлов из терм Армении. Сб. науч. тр. ГМИ. Ереван. Лусакн. 2000, с. 68-74.
183. **Хачатрян Э.А.** Минералогия, геохимия и генезис руд колчеданной формации Арм. ССР. Ереван. Изд. АН Арм. ССР. 1977, 318с.
184. **Хейнрих Э.У.** Минералогия и геология радиоактивного минерального сырья. М.: ИЛ. 1962, 205с.
185. **Хрусталева Г.К., Воробьева Л.А., Медведева Г.А.** Горючие сланцы. М.: Геоинформмарк. 1997, 55с.
186. **Холодов В.Н.** Геохимия осадочного процесса. М.: ГЕОС. 2006, 608с.
187. **Холодов В.Н., Недумов Р.И.** О геохимических критериях проявления сероводородного заражения в водах древних водоемов. Изв. АН СССР, серия геол. 1991, N 12, с. 74-82.
188. **Холодов В.Н., Недумов Р.И.** О применении молибденового модуля к реконструкции газового состава меловой Атлантики. Докл. РАН. 2005, т. 400, N 2, с. 421-424.
189. **Центер М.Я., Розина Е.А.** Об эродированных неогеновых вулканических аппаратах в Восточном Вайке и Зангезуре. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле. 1972, N 1, с. 42-49.
190. **Чернышев И.В., Лебедев В.А., Аракелянц М.М. и др.** Четвертичная геохронология Арагацского вулканического центра (Армения) по данным К-Аг датирования. Докл. РАН. 2002, т. 384, N 1, с. 95-102.

191. Шаталов В.В., Смирнов И.П., Матвеев А.А., Смирнов К.М. Выщелачивание урановых и комплексных руд. М.: Цветные металлы. 2003, N 4, с. 27-34.
192. Шмариневич Е.М., Щеточкин В.Н., Жильцова И.Г. Проблема эндогенного эпигенетического рудообразования в кристаллических породах. В кн.: Генезис редкометалльных и свинцово-цинковых стратиформных месторождений. М.: Наука. 1986, с. 102-110.
193. Шнейдерхен Г. Рудные месторождения. М.: ИЛ. 1958, 501с.
194. Щеглов А.Д. Основные проблемы современной металлогении. Вопросы истории и практики. Л.: Недра. 1987, 231с.
195. Щеглов А.Д. Синхронный рифтогенез и оруденение. М.: Геол. рудн. Месторожд. 1997, т. 39, N 2, с. 115-126.
196. Щепотьев Ю.М., Куторгин В.И., Наточинский В.И. Золото. М.: Геоинформмарк. 1998, 85с.
197. Щербина В.В. Поведение урана и тория в условиях сульфатно-карбонатной и фосфатной среды зоны гипергенеза. М.: Геохимия. 1957, N 6, с. 493-507.
198. Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей. Л.: Недра. 1978, 263с.
199. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Л.: Наука. 1985, 238с.
200. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука. 1988, 272с.
201. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург. УИФ Наука. 1994, 302с.
202. Юровский А.З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. М.: Недра. 1968, 214с.
203. Юшко-Захарова О.Е. Платиноносность рудных месторождений. М.: Недра. 1975, 244с.
204. Ягжин А.А. Поиски и разведка урановых месторождений. М.: Госгеолтехиздат. 1961, 480с.
205. Aloyan P.G., Aloyan G.P. Gold of Armenia. Russian Mining. 2003, N 5, p.13-17.
206. Aloyan P.G., Aloyan G.P. Prospects of rare-metal industry in Armenia. Russian Mining. 2005, N 6, p. 6-13.
207. Almogela D.H. Philippine porphyry coppers: now 34 known deposits, 8 mines. World mining. 1974, v. 27, N 13, p. 28-33.
208. Bain G.W. Geology of the fissionable materials. Econ. Geology. 1950, v. 45, p. 273-323.
209. Bell P.D., Gomez J.G., Loayza C.E., Pinto R.M. Geology of the gold deposits of the Yanacocha district, northern Peru. Pacrim Conference. 2004.
210. Berger I.A., Deul M., Megrowitz R. Geochemistry and mineralogy of the uraniferous sublutuminous coal. Econ. geol. v. 50, 1956, N 6, 610p.
211. Bryner L. Ore deposits of the Philippines – an introduction to the eir geology. Econ. Geol. 1969, v. 64, N 6, p. 644-667.
212. Buckland F.C. Germanium in British Columbia. West. Miner. And Oil Rew. 1959, v. 32, N 9, p. 30-31.

213. **Burnt D.M. and Sheridan M.F.** Types of mineralization related to fluorine-rich silicic lavas and domes. In: Fink JH (ed). The emplacement of silicic domes and lava flows. The geological society of America, Special Paper 212, 1987, p. 103-110.
214. **Cunningham C.G. and Erikson G.E.** Exploration guides for precious-metal deposits in volcanic domes. Seventh Annual VE McKelvey Forum of Mineral and Energy Resources. US Geological Survey Circular. 1991, v. 1062, p. 15-16.
215. **Damon P.E., Mauger R.L.** Epeirogeny-orogeny viewed from the Basian and Range province. Trans. AIME. 1970, v. 235, p. 99-112.
216. **Davis N.M., Kennedy J., McIlroy R.W., Spence R., Hill K.M.** Extraction of uranium from the sea water. Nature. 1964, v. 203, p. 1110-1115.
217. **Davidson C.F., Ponsford D.R.** On the occurrence of uranium in coals. Miner. Mag. 1954, v. 91, p. 265-273.
218. **Freise F.W.** The transportation of gold by organic underground solutions. Econ. Geol. 1931, v. 26, N 4, p. 421-431.
219. **Freise F.W.** The transportation of gold by organic solutions. Econ. Geol. 1934, v. 29, N 6, p. 599-604.
220. **Ferris C.S., Ruud C.D.** Brannerite: Its occurrences and recognition by microprobe. Colorad School Mines Quart. 1971, v. 66, N 4, 35p.
221. **Goossens P.J., Hollister V.F.** Structural control and hydrothermal alteration pattern of Chaucha porphyry copper scudder. Miner. deposits. 1973, v. 8, N 4, p. 321-331.
222. **Hollister V.F.** Regional characteristics of porphyry copper deposits in south America. Trans. AIME. 1974, N 1, p. 45-53.
223. **Katayama Nobuo, Kuba K., Hirona S.** Genesis of the uranium deposits of the Tono mine, Japan. In: Formation of uranium deposits. Vienna: Internat. Atomic Energy Agency. 1974, p. 437-452.
224. **Katayama Nobuo, Kamiyama Teigi.** Favorable conditions for the formation of basal type uranium deposits. Mining Geology. 1977, v. 27, p. 1-8.
225. **Kerrich R., Goldfarb R., Groves D., Garvins S., Jia V.** The characteristics, origin and geodynamic settings of supergigant gold metallogenic provinces. Science in China (series D). 2000, v. 43, p. 1-58.
226. **Keyas R.R. and Scott R.B.** Basalts as source rocks for gold mineralization. Economic Geology. 1976, v. 71, N 4, p. 705-718.
227. **Korolev K.G., Rummyantseva G.V.** Conditions of formation of collomorphic uranotitanates and brannerite. Internat. Geol. Rev. 1976, v. 18, p. 167-171.
228. **Moore G.W.** Extraction of uranium from aqueous solution by coal and some other materials. Econ. Geol. 1954, v. 49, p. 652-658.
229. **Metz R.A., Rose A.W.** Geology of the ray copper deposit, ray Arizona. In: Geology of the porphyry copper deposits South Western- North America. Tucson Univ. Arizona Press, 1968, p. 177-188.
230. **Roubault M.** The uranium deposits of France and Franch over seas territoties. Intern. Conf. Peasful Uses Atomic. Energy, Proc. 1956, v. 6, p. 152-161.
231. **Schopf J.M., Gray R.J.** Microscopic studies of uraniferous coal deposits. U.S. Geol. Survey, Circ. 1954, 343 p.

232. **Sillitoe R.H.** The tops and bottoms of porphyry copper deposits. *Econ. Geol.* 1973, v. 68, N 6, p. 794-815.
233. **Sillitoe R.H.** A reconnaissance of Mexican porphyry copper belt. *Trans. Inst. Min. and Met. Sec. B.* 1977, v. 86, p. May, 107-111.
234. **Sillitoe R.H.** Regional aspects of the Anden porphyry copper belt in Chile and Argentina. *Trans. Inst. Min. and Met. Sec. B.* 1981, v. 90, Febr., p. 15-36.
235. **Sillitoe R.H.** Gold metallogeny of Chile an introduction. *Econ. Geol.* 1991, v. 86, p. 1167-1205.
236. **Sillitoe R.H.** Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. *SEG Reviews.* 2000, v. 13, p. 315-345.
237. **Sillitoe R.H.** Musings of future exploration targets and strategies in the Andes. *SEG Special Publication.* 2004, 11, p. 1-14.
238. **Sillitoe R.H.** Geology and potential of Amulsar gold prospect, Armenia. A report prerated for Lydian International Limited. June. 2007, 7 p.
239. **Vine J.D.** Geology of uranium in coaly carbonaceous rocks: Uranium in carbonaceous rocks. *US Geol. Surv. Prof. Pap.* 1962, N 356-D, p. 1-163.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Раздел I. РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ АРМЕНИИ НА БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ.....	5
Глава 1. ЗОЛОТОНОСНОСТЬ.....	5
1.1. Золотоносность рудных формаций Армении.....	10
1.2. Благороднометалльность терригенно-углесланцевых комплексов Армении.....	28
1.2.1. О терминологии.....	28
1.2.2. Крупнейшие золото-платиносодержащие геотипы черносланцевой формации мира.....	32
1.2.3. Золото-платиноносность армянских комплексов.....	38
1.2.4. Рудные компоненты в терригенно-углесланцевых комплексах.....	52
1.2.5. О возможных путях эпигенетической концентрации сульфидов в углесланцевых комплексах.....	56
1.2.6. Технология извлечения благородных металлов.....	75
1.2.6.1. <i>Лабораторные технологические исследования по традиционной полной технологической схеме переработки (гравитация+флотация+цианирование хвостов флотации)</i>	76
1.2.6.2. <i>Промышленные (фабричные) технологические исследования по сокращенной схеме (гравитация+флотация)</i>	84
1.2.6.3. <i>Специальные металлургические опыты по получению корольков чистых металлов и сплавов металлов из углесланцевых комплексов</i>	92
1.2.6.4. <i>Разработка технологической схемы извлечения благородных металлов из терригенно- углесланцевых комплексов Армении</i>	102
1.2.6.5. <i>Комплексная программа рационального использования терригенно-углесланцевых отложений Армении как рудно-топливного сырья (Проект "УГАР" – Угли Армении)</i>	107
1.3. Золотоносность продуктов новейшего вулканизма Армении (пески, туфы, шлаки).....	115
1.4. Золотоносность покрова вторичных кварцитов.....	137
1.5. Золотоносные конгломераты и конглобрекчии.....	144
Глава 2. ПЛАТИНОИДЫ И РАДИОГЕННЫЙ ОСМИЙ.....	174
2.1 Основные физические свойства МПГ.....	174
2.2. Минералогия, технология и состояние минерально- сырьевых ресурсов.....	176
2.3. Мировой рынок платиноидов.....	180
2.4. Платиноносность геологических формаций Армении.....	185

2.4.1. Платиноносность рудных формаций.....	191
2.4.2. Платиноносность нерудных формаций.....	220
Раздел II. РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ АРМЕНИИ НА РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ.....	226
Глава 1. РЕДКОМЕТАЛЛЬНОСТЬ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ.....	229
1.1. Состояние минерально-сырьевой базы.....	229
1.2. Ресурсный потенциал редких металлов (рений, кадмий, селен, теллур, висмут, ванадий, индий, талий, галлий, германий).....	243
Глава 2. РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ В УГЛЕСЛАНЦЕВЫХ КОМПЛЕКСАХ АРМЕНИИ.....	354
2.1. Галлий и германий в углесланцах.....	374
Глава 3. РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В НОВЕЙШИХ КИСЛЫХ ВУЛКАНИТАХ АРМЕНИИ (риолиты-обсидианы-перлиты).....	385
Глава 4. РЕДКОМЕТАЛЛЬНОСТЬ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ.....	393
4.1. Гидроминеральные ресурсы как потенциальное сырье на редкие щелочные металлы.....	393
4.2. Минеральные воды Армении как сырье для редких щелочных металлов (литий, рубидий, цезий).....	395
Глава 5. О ВОЗМОЖНЫХ ПЕРСПЕКТИВАХ НА РЕДКИЕ ЩЕЛОЧНЫЕ МЕТАЛЛЫ СОЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АРМЕНИИ.....	405
Глава 6. РЕДКИЕ ЗЕМЛИ И СКАНДИЙ В РУДАХ АРМЕНИИ.....	409
6.1. Редкие земли. Уран-торий-редкоземельная формация.....	409
6.2. Скандий.....	449
Раздел III. РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ АРМЕНИИ НА РАДИОАКТИВНОЕ СЫРЬЕ.....	462
Глава 1. ИЗУЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ И СОСТОЯНИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ.....	462
Глава 2. ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ.....	476
2.1. Уран-молибденовый тип.....	476
Глава 3. ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ.....	480
3.1. Уран-полиметаллический тип (с золотом).....	480
3.2. Уран-молибденовый тип.....	485
3.3. Уран-торий-редкоземельный (уранинит-флюорит- биотитовый) тип.....	488
Глава 4. ЭПИТЕРМАЛЬНО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ.....	490
4.1. Золото-уран-торий-железистый тип во вторичных кварцитах.....	491
4.1.1. Ураноносность покрова вторичных кварцитов Армении.....	496
4.2. Уран-ториевый тип.....	512
4.3. Золото-уран-железистый тип в рифтогенных конгломератах и конглобрекциях Армении.....	523
4.4. Золото-уран-железистый тип в андезитовых туфобрекчиях.....	523

Глава 5. ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ (ГИДРОГЕННО-ХЕМОГЕННЫЕ)	
ПРОЯВЛЕНИЯ В ТЕРРИГЕННО-УГЛЕСЛАНЦЕВЫХ	
КОМПЛЕКСАХ АРМЕНИИ.....	524
5.1. Золото (платина)-уран-железистый тип в терригенно-	
углесланцевых комплексах. (обзор литературы).....	524
5.2. Геохимические особенности избирательной концентрации	
радиоактивных элементов в терригенно-углесланцевых	
комплексах Армении.....	547
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (на русском, армянском и английском).....	563
ЛИТЕРАТУРА.....	585
СОДЕРЖАНИЕ.....	597

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ.....	3
ԲԱԺԻՆ I. ԱԶՆԻՎ ՄԵՏԱԳՆՆԵՐԻ ԲՆԱՊԱՇԱՐԱՅԻՆ ՆԵՐՈՒԺԸ	
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ՖՈՐՄԱՅԻՆՆԵՐՈՒՄ	5
ԳԼՈՒԽ I. ՈՍԿԵԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆ	5
1.1. Հայաստանի հանքային ֆորմացիաների ոսկերերությունը.....	10
1.2. Հայաստանի տերրիզեն-ածխաքերթաքարային առաջացումների	
ազնվամետաղաբերությունը.....	28
1.2.1. Տերմինաբանության մասին.....	28
1.2.2. Աշխարհի խառնրազույմ ոսկի-պլատինաբեր սևքերթաքարային	
ֆորմացիայի զետետեսակները.....	32
1.2.3. Հայաստանյան ոսկի-պլատինաբեր առաջացումները.....	38
1.2.4. Հանքային բաղադրիչները տերրիզեն-ածխաքերթաքարային	
առաջացումներում.....	52
1.2.5. Ածխաքերթաքարային առաջացումներում սուլֆիդների	
էպիզենետիկ կուտակումների հնարավոր ուղիները.....	56
1.2.6. Ազնիվ մետաղների կորզման տեխնոլոգիական հնարավորու-	
թյունները.....	75
1.2.6.1. <i>Լաբորատոր-տեխնոլոգիական հետազոտություններն ըստ</i>	
<i>ապանդական վերամշակման լրիվ տեխնոլոգիական սխեմայի</i>	
<i>(գրավիտացիա+Ֆլոտացիա+ցիանացում).....</i>	76
1.2.6.2. <i>Մտադրական (գործարանային) տեխնոլոգիական</i>	
<i>հետազոտություններ ըստ կրճատ տեխնոլոգիական</i>	
<i>սխեմայի (գրավիտացիա+Ֆլոտացիա).....</i>	84
1.2.6.3. <i>Հատուկ մետաղաձուլական փորձեր ածխաքերթաքար-</i>	
<i>ային առաջացումներից ազնիվ մետաղներ և նրանց</i>	
<i>համաձուլվածքներ ստանալու համար.....</i>	92
1.2.6.4. <i>Հայաստանի տերրիզեն-ածխաքերթաքարային</i>	
<i>առաջացումներից ազնիվ մետաղների կորզման</i>	
<i>տեխնոլոգիական սխեմաների մշակում.....</i>	102
1.2.6.5. <i>Հայաստանի տերրիզեն-ածխաքերթաքարային</i>	

*առաջացումները որպես հանրավառելիքային հումք
արդյունավետ օգտագործման համալիր ծրագիր
(Նախագիծ «ՈՒԳԱՐ»)*.....107

1.3. Հայաստանի նորագույն հրաբխականության առաջացումների ոսկերերությունը (ավազներ, տուֆեր, խարամներ).....	115
1.4. Երկրորդային քվարցիտների ծածկոցների ոսկերերությունը.....	137
1.5. Ոսկերեր կոնցլոմերատներ և խառնափշրաքարեր.....	144
Գ.ԼՈՒԽ 2. ՊԼԱՏԻՆՈՒԴՆԵՐ ԵՎ ՈՒԴԻՈՇԻՆ ՕՍՄԻՈՒՄ	174
2.1. ՊեՄ հիմնական ֆիզիկական հատկությունները.....	174
2.2. Միներալոգիա, տեխնոլոգիա և հանքարնապաշարային իրավիճակը.....	176
2.3. Պլատինոիդների համաշխարհային շուկան.....	180
2.4. Հայաստանի երկրաբանական ֆորմացիաների պլատինաբե- րությունը.....	185
2.4.1. Հանքային ֆորմացիաների պլատինաբերությունը.....	191
2.4.2. Ոչ հանքային ֆորմացիաների պլատինաբերությունը.....	220
ԲԱԺԻՆ II. ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԲՆԱՊԱՇՆԱՐԱՅԻՆ ՆԵՐՈՒԺԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ՖՈՐՄԱՅԻՆՆԵՐՈՒՄ	226
Գ.ԼՈՒԽ 1. ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՖՈՐՄԱՅԻՆՆԵՐԻ ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ- ՄԵՏԱՂԱԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆԸ	229
1.1. Հանքահումքային իրավիճակը.....	229
1.2. Հազվագյուտ մետաղների բնապաշարային ներուժը՝ ռենիում, կարմիրում, սելեն, քելուր, վիսմութ, վանադիում, ինդիում, քալիում, գալիում, գերմանիում.....	243
Գ.ԼՈՒԽ 2. ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ ՄԵՏԱՂՆԵՐԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱՐԽԱԹԵՐԹԱՔԱՐԱՅԻՆ ԱՌԱՋԱՅՈՒՄՆԵՐՈՒՄ	354
2.1. Գալիումը և գերմանիումը ածխաթերթաքարերում.....	374
Գ.ԼՈՒԽ 3. ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ ՄԵՏԱՂՆԵՐԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՆՈՐԱԳՈՒՅՆ ՀՐԱԲԵԱՅԻՆ ԱՌԱՋԱՅՈՒՄՆԵՐՈՒՄ (ռիոլիտներ- օրսիդիաններ-պեռլիտներ)	385
Գ.ԼՈՒԽ 4. ՋՐԱՀԱՆՔԱՅԻՆ ՀՈՒՄՔԻ ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏՄԵՏԱ- ՂԱԲԵՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԴՐԱ ՅՈՒՐԱՑՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ	393
4.1. Ջրահանքային բնապաշարները որպես ալկալային հազվագյուտ մետաղների հումքի ներուժ.....	393
4.2. Հայաստանի հանքային ջրերը որպես ալկալային հազվագյուտ մետաղների հումք (լիթիում, ռութիլիում, ցեզիում).....	395
Գ.ԼՈՒԽ 5. ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱՂԱՅԻՆ ԱՌԱՋԱՅՈՒՄՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ ԱԼԿԱԼԱՅԻՆ ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ՀՆԱՐԱՎՈՐ ՀԵՌԱՆԿԱՐԱՅԻՆ ՆԵՐՈՒԺ	405
Գ.ԼՈՒԽ 6. ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ ՀՈՂԵՐԸ ԵՎ ՍԿԱՆԳԻՈՒՄԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՔԱՔԱՐԵՐՈՒՄ	409
6.1. Հազվագյուտ հողեր:Ուրան-թորիում-հազվագյուտողային ֆորմացիա.....	409

6.2. Սկանդիում.....	449
ԲԱԺԻՆ III. ՈՒՂԻՈՍԿՏԻՎ ՀՈՒՄՔԻ ԲՆԱՊԱՇՏԱՐԱՅԻՆ ՆԵՐՈՒԺԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ՖՈՐՄԱՑԻԱՆԵՐՈՒՄ.....	462
ԳԼՈՒԽ 1. ՏԱՐԱՇՔԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՀԱՆՔԱԲՆԱՊԱՇՏԱՐԱՅԻՆ ԻՐՎՈՒՄԸ.....	462
ԳԼՈՒԽ 2. ՀԻԴՐՈԹԵՐՄԱԼ ՀԱՆՔԵՐԵՎԱԿՈՒՄՆԵՐ.....	476
2.1. Ուրան-մոլիբդենային տարատեսակ.....	476
ԳԼՈՒԽ 3. ՀԻԴՐՈԹԵՐՄԱԼ-ԻՆՖԻԼՏՐԱՑԻՈՆ ՀԱՆՔԵՐԵՎԱԿՈՒՄՆԵՐ.....	480
3.1. Ուրան-բազմամետաղային տարատեսակ (ոսկու առկայությամբ).....	480
3.2. Ուրան-մոլիբդենային տարատեսակ.....	485
3.3. Ուրան-թորիում-հազվագյուտիտիոլային (ուրանիմիտ-ֆլյուորիտ-քիոտիտային) տարատեսակ.....	488
ԳԼՈՒԽ 4. ԷՊԻԹԵՐՄԱԼ-ԻՆՖԻԼՏՐԱՑԻՈՆ ԵՐԵՎԱԿՈՒՄՆԵՐ.....	490
4.1. Ոսկի-ուրան-թորիում-երկաթային տարատեսակ երկրորդային քվարցիտներում.....	491
4.1.1. Հայաստանի երկրորդային քվարցիտների ծածկոցների ուրանաբերությունը.....	496
4.2. Ուրան-թորիումային տարատեսակ.....	512
4.3. Ոսկի-ուրան-երկաթային տարատեսակ ռիֆտածին խառնափշրաքեկորային առաջացումներում.....	523
4.4. Ոսկի-ուրան-երկաթային տարատեսակ անդեզիտային տուֆափշրաքարերում.....	523
ԳԼՈՒԽ 5. ԻՆՖԻԼՏՐԱՑԻՈՆ (ՀԻԴՐՈՇԻՆ-ՔԻՄԻԱՇԻՆ) ՀԱՆՔԵՐԵՎԱԿՈՒՄՆԵՐ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՏԵՐՐԻԳԵՆԱԾԵՆԱԾԵՐԹԱՔԱՐԱՅԻՆ ԱՌԱՋԱՑՈՒՄՆԵՐՈՒՄ.....	524
5.1. Ոսկի (պլատին) -ուրան-երկաթային տարատեսակ տերրիզեն-ածխաթերթաքարային առաջացումներում (գրականության ամփոփում).....	524
5.2. Հայաստանի տերրիզեն-ածխաթերթաքարային առաջացումներում ռադիոակտիվ տարրերի ընտրովի կուտակման երկրաքիմիական առանձնահատկությունները.....	547
ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ (ռուսերեն, հայերեն, անգլերեն լեզուներով).....	563
ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ.....	585
ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ.....	597

CONTENT

INTRODUCTION.....	3
DIVISION I. PRECIOUS METALS RESOURCE POTENTIAL OF GEOLOGICAL FORMATIONS OF ARMENIA.....	5
CHAPTER 1. GOLD-BEARING.....	5

1.1. Gold-bearing ore formations of Armenia.....	10
1.2. Precious metal-bearing terrigenous coal-shale complexes of Armenia.....	28
1.2.1. About terminology.....	28
1.2.2. The largest gold-platinum-containing black shale geotypes of Armenia	32
1.2.3. Gold-platinum-bearing Armenian complexes.....	38
1.2.4. Mineral components in terrigenous coal-shale complexes.....	52
1.2.5. The possible ways of sulphide epigene concentration in coal-shale complexes.....	56
1.2.6. The recovery process of precious metals.....	75
1.2.6.1. <i>Laboratory production research on the traditional complete process flowsheet (gravitation+ flotation+ cyanidation+flotation tailings).....</i>	76
1.2.6.2. <i>Industrial (manufacturing) production research on shortened flowsheet.....</i>	84
1.2.6.3. <i>Special metallurgical tests on fine metal prills and noble metals alloys recovery from coal-shale complexes.....</i>	92
1.2.6.4. <i>Precious metals recovery process flowsheet development from terrigenous coal-shale complexes of Armenia.....</i>	102
1.2.6.5. <i>The crosscutting program on efficient use of terrigenous coal-shale deposits of Armenia as ore-fuel raw materials (The project "UGAR" – Coals of Armenia).....</i>	107
1.3. Gold-bearing of modern volcanism products of Armenia (sands, tuffs, slags).....	115
1.4. Gold-bearing of secondary quartzite mantles.....	137
1.5. Gold-bearing conglomerates and conglom- breccias.....	144
CHAPTER 2. PLATINOIDS AND RADIOGENIC OSMIUM.....	174
2.1. Basic physical properties of MPG.....	174
2.2. The mineralogy, technology and conditions of mineral raw materials resources.....	176
2.3. Platinoids world market	180
2.4. Platinum-bearing geological formations of Armenia.....	185
2.4.1. Platinum-bearing ore formations.....	191
2.4.2. Platinum-bearing non-metallic formations.....	220
DIVISION II. RARE METALS RESOURCE POTENTIAL OF GEOLOGICAL FORMATIONS OF ARMENIA.....	226
CHAPTER 1. RARE METAL-BEARING ORE FORMATIONS.....	229
1.1. The recourse conditions of mineral raw materials.....	229
1.2. The resource potential of rare metals (rhenium, cadmium, selenium, tellurium, bismuth, vanadium, indium, thallium, gallium, germanium).....	243
CHAPTER 2. RARE METALS IN COAL-SHALE COMPLEXES OF ARMENIA.....	354
2.1. Gallium and germanium in coal-shale complexes.....	374
CHAPTER 3. RARE ELEMENTS IN MODERN ACID VOLCANITES	

	OF ARMENIA (rhyolites-obsidians-pearlites).....	385
CHAPTER 4.	RARE METAL-BEARING HIDROMINERAL RAW MATERIALS AND PROSPECTS OF TEIR COMMERCIAL DEVELOPMENT.....	393
4.1.	Hydromineral recourses as potential raw materials for rare alkaline metals.....	39
4.2.	Mineral waters of Armenia as raw materials for rare alkaline metals (lithium, rubidium, cesium).....	395
CHAPTER 5.	SALT DEPOSITS OF ARMENIA AS POTENTIAL PERSPECTIVES FOR RARE ALKALINE METALS.....	405
CHAPTER 6.	RARE EARTHS AND SCANDIUM IN THE ORES OF ARMENIA.....	409
6.1.	Rare earths. Uranium-thorium-rare earth formation.....	409
6.2.	Scandium.....	449
DIVISION III.	RADIOACTIVE RAW MATERIALS RESOURCE POTENTIAL OF GEOLOGICAL FORMATIONS OF ARMENIA.....	462
CHAPTER 1.	EXPLORATION OF THE TERRAIN AND CONDITIONS OF MINERAL RAW MATERIALS.....	462
CHAPTER 2.	HYDROMINERAL OCCURENCES.....	476
2.1.	Gallium and germanium in coal-shale complexes.....	476
CHAPTER 3.	HYDROMINERAL-INFILTRATING OCCURENCES.....	480
3.1.	Uranium-polymetallic type (with gold).....	480
3.2.	Uranium-molybdenum type.....	485
3.3.	Uranium-thorium-rare earths (uraninite-fluorite-biotite) type.....	488
CHAPTER 4.	EPITERMAL-INFILTRATING OCCURENCES.....	490
4.1.	Gold-uranium-thorium-ferruginous type of secondary quartzites.....	491
4.1.1.	Uranium-bearing mantels of secondary quartzites of Armenia.....	496
4.2.	Uranium-thorium type.....	512
4.3.	Gold-uranium-ferruginous type in riftogenic conglomerates and congl-breccias of Armenia.....	523
4.4.	Gold-uranium-ferruginous type in andesite tufa-breccias.....	523
CHAPTER 5.	INFILTRATING (HYDRGENIC-CHEMOGENIC) OCCURENCES IN TERRIGENOUS COAL-SHALE COMPLEXES OF ARMENIA.....	524
5.1.	Gold (platinum)-uranium-ferruginous type terrigenous coal-shale complexes of Armenia.....	524
5.2.	Geochemical characteristics of radioactive elements' selective concentration in terrigenous coal-shale complexes of Armenia.....	547
CONCLUSION	(russian, armenian and english).....	563
LITERATURE	585
CONTENT	597

Выпуски серии

Рациональное использование рудного сырья и эффективное освоение недр Армении

Издано в 2001-2008 гг.

1. Алоян П.Г. Геология горнорудных регионов Армении. Повышение эффективности освоения рудных месторождений. Ереван, ГЕОИД, 2001, 243 с. ISBN 99930-900-0-X
2. Алоян Гайк П., Алоян П.Г. Геологическое строение и типы руд Марцигетского золотополиметаллического месторождения. Ереван, ГЕОИД, 2001, 129 с. ISBN 99930-900-1-8
3. Алоян П.Г., Алоян Гайк П., Давтян А.А. и др. Формационно-технологические параметры Меградзорского золоторудного месторождения. Ереван, ГЕОИД, 2002, 190 с. ISBN 99930-900-3-4
4. Безирганов Б.Г. Прогноз и методика поисков скрытого эндогенного оруденения в пределах рудных полей и месторождений Армении. Ереван. ГЕОИД. 2002, 355с. ISBN 99930-900-4-2
5. Алоян П.Г., Алоян Гайк П. Платиноиды в промышленных рудах Армении. Ереван, ГЕОИД, 2003, 130 с. ISBN 99930-900-8-5
6. Вопросы эффективного использования минерально-сырьевых ресурсов Армении. Ереван, ГЕОИД, 2004, 196с. ISBN 99941-962-0-0
7. Алоян П.Г., Алоян Гайк П. Редкие металлы в промышленных рудах Армении. Ереван, ГЕОИД, 2005, 135 с. ISBN 99941-962-2-7
8. Алоян П.Г., Алоян Гайк П., Давтян А.А. и др. Металлы (черные, цветные, редкие, благородные). Ереван, ГЕОИД, 2006, 250 с. ISBN 99941-962-3-5 (на армянском языке)

Готовится к изданию в 2010 г.

1. Алоян Гайк П. Геология и металлоносность терригенно-углесланцевых комплексов Армении.
2. Алоян П.Г. и др. Геология и металлоносность Вардадзорской меднопорфировой системы.

30009P

Петрос Геворкович Алоян
Гайк Петросович Алоян

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РУДНОГО СЫРЬЯ АРМЕНИИ

Серия: рациональное использование рудного сырья
и эффективное освоение недр Армении

Выпуск 9

Художественный редактор
Ж.Д. Саакян

Технические редакторы
В.С. Асланян, С.С. Меликян

Компьютерный набор и
графическое оформление

Г.Г. Карян

На обложке: западный склон г.Амулсар,
Амулсарское эпитермально-инфильтрационное месторождение
золота.

Отпечатано в типографии ООО "ЛИМУШ"

Тираж 100 экз.

Центр охраны недр, ГЕОИД, Ереван-9, ул. Вардананца, 6/1. Тел.:586657
E-mail: geoidpetros@mail.ru

5693