

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Коваль И.К.

ГЕОЛОГИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ  
(промышленные типы металлических полезных ископаемых)  
учебное пособие Специальность «Геология» 011100

Воронеж  
2004

Утверждено научно-методическим советом геологического факультета, протокол № 5 от 27 апреля 2004г.

Автор Коваль И.К.

Учебное пособие подготовлено на кафедре полезных ископаемых и недропользования геологического факультета Воронежского государственного университета.

Рекомендуется для студентов 4-5 курсов геологического факультета дневного и заочного отделений.

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие составлено для студентов геологов дневного и заочного отделений.

Курс «Промышленные типы металлических полезных ископаемых» является продолжением предшествующего курса геологии полезных ископаемых, который освещает условия образования месторождений и их генетическую классификацию.

Промышленным месторождением называется участок земной коры, в котором в результате геологических процессов произошло накопление минерального вещества по качеству, количеству, технологическим свойствам, горно-техническим условиям отвечающее требованиям промышленности и экономически выгодное для эксплуатации.

К месторождениям рудных или металлических полезных ископаемых относятся такие виды минерального сырья, которые перерабатываются плавкой с целью извлечения металлов, используемых в черной и цветной металлургии. Описание металлов производится по группам: черные, легирующие, цветные, малые и благородные. Оно приводится по следующему плану. Вначале сообщаются сведения об истории освоения и областях применения, запасах, добыче и кондициях. Далее освещается геохимия и минералогия данного металла, затем характеризуются промышленные типы месторождений. Описание конкретных месторождений приводятся в изданном ранее учебном пособии для лабораторных занятий по геологии полезных ископаемых.

Учебное пособие составлено на основе курса лекций, который читается автором в течение многих лет на геологическом факультете Воронежского университета, а также использования материалов учебника «Курс рудных месторождений», составленном коллективом авторов под руководством академика В.И.Смирнова, выдержавшим два издания (1981 и 1986) и курса «Месторождения металлических полезных ископаемых», изданного в 1999 году и составленного коллективом авторов под редакцией В.И.Старостина.

## **РАЗДЕЛ I. ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ ЖЕЛЕЗО**

### **Общие сведения и области применения**

Начало применения железа относится к IV- III тысячелетию до н.э., когда люди из метеоритов делали орудия труда и охоты, украшения. В I тысячелетии до н.э. люди начали выплавлять железо из руд, на смену бронзовому веку пришел век железа. С развитием металлургии бурые железняки начали плавить в домнах сначала на древесном угле, а с XIX в. - на каменном угле и коксе. Из чугуна научились выплавлять сталь, а в XX в. - высококачественные легированные стали путем добавок марганца, хрома, титана, никеля, кобальта, ванадия, вольфрама, молибдена, ниобия, тантала и других.

### **Обзор минеральных ресурсов**

По объему производства и потребления железо находится на первом месте. В недрах 130 стран общие запасы железных руд оцениваются в 450 млрд. т, разведанные – 229 млрд. т. Наибольшими запасами обладают Россия, Бразилия, Австралия, Украина, Канада и США. Добывают железо 55 стран, наибольшую добычу осуществляют Бразилия, Китай, Австралия, Россия, Украина, Индия, США. Производство железных руд составило в 2002 г. 1008 млн.т.

В России всего 190 железорудных месторождений. Разведанные запасы железных руд составляют 57 млрд. т, общие – 101 млрд. т, добывается 107 млн. т. Основные железорудные районы находятся в пределах девяти главных железорудных провинций: Курской, Уральской, Карело-Кольской, Алтае-Саянской, Ангарской, Ангаро-Енисейской, Забайкальской, Алданской, Дальневосточной. Потенциально рудоносными следует считать Анабарскую, Северо-Восточную, Саяно-Байкальскую и Колпашевскую провинции.

Основные недостатки состояния минерально-сырьевой базы – удаленность сырьевых баз от металлургических комбинатов (Западно-Сибирский работает на рудах Коршуновского месторождения в Иркутской области), необеспеченность собственной сырьевой базой металлургических заводов юга Урала (дефицит покрывается за счет поставки руды из Казахстана и КМА).

### **Типы руд и кондиции**

Железо извлекают из следующих типов руд:

1. Магнетитовые и титаномагнетитовые (главные минералы – магнетит, ильменит, титаномагнетит).
2. Гематитовые и мартитовые (гематит).
3. Бурые железняки (гидроксиды железа – гетит, гидрогетит).

4. Карбонатные (сидерит).

5. Силикатные (железистые хлориты).

Нижнее содержание железа в руде (кондиционной) устанавливается в пределах от 14 до 25%. Содержания серы и фосфора ограничиваются соответственно 0,3 и 0,2%, мышьяка, меди, цинка и свинца менее 0,1% каждого. Богатые железные руды характеризуются содержаниями более 57%, а самые богатые более 68% и малыми содержаниями примесей. Их используют для получения окатышей, которые перерабатываются в сталь электроплавкой.

### **Геохимия и минералогия**

Железо – самый распространенный после алюминия металлический элемент земной коры. Его среднее содержание в земной коре 4,65%. Повышенные концентрации его наблюдаются в ультраосновных, основных и средних интрузивных породах. Железо обладает двумя валентностями: двухвалентное железо связано преимущественно с эндогенными процессами, а трехвалентное – с экзогенными процессами.

Известно более 300 минералов железа. Промышленное значение имеют магнетит  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ , мартит и гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , гидроксиды железа – гетит  $\text{FeO}(\text{OH})$  и гидрогетит  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , сидерит  $\text{Fe}[\text{CO}]_3$ , силикаты железа – шамозит и тюрингит.

### **Промышленные типы месторождений**

Железо разнообразно по условиям концентрации. Оно способно образовывать промышленные месторождения среди месторождений эндогенной, экзогенной и метаморфогенной серий.

#### **Эндогенные месторождения**

*Магматические (позднемагматические)* месторождения титаномагнетитовой, перовскит-титаномагнетитовой и апатит-магнетитовой формаций.

Титаномагнетитовые месторождения связаны с основными и ультраосновными породами габбровой, габбро-диабазовой, габбро-анортозитовой и габбро-пироксенит-дунитовой формаций.

Рудные тела имеют форму жиллообразных залежей и зон концентрированной вкрапленности. Основным рудным минералом является титаномагнетит со структурой распада твердого раствора, присутствуют магнетит, ильменит, шпинель. Руды характеризуются промышленным содержанием железа, ванадия и титана. Содержание железа низкое, но руды относятся к природнолегированным. Промышленное значение месторождений второстепенное, так как запасы руд невелики.

Месторождения известны на Урале (Качканарское, Гусевогорское, Первоуральское и др.), Горном Алтае, в Читинской области (Чинейский массив), за рубежом – в США, Норвегии, Швеции и др.

Перовскит-титаномагнетитовые месторождения связаны с щелочноультраосновными интрузиями; главное промышленное значение в них имеют редкие и редкоземельные элементы, железо является побочным компонентом.

Апатит-магнетитовые месторождения связаны либо с ультрабазитами со слабым развитием карбонатитов (месторождения Кольского полуострова) или с сиенито-диоритами Северошведской группы месторождений. Форма рудных тел жилообразная. Минеральный состав руд: апатит и магнетит. Содержание железа высокое, но одновременно отмечаются повышенные концентрации фосфора. Тип месторождений – редкий, промышленное значение второстепенное.

*Карбонатитовые* месторождения связаны с щелочно- ультраосновными интрузиями. Железорудные тела в таких массивах представляют в основном апатит-форстеритовые породы с обильной вкрапленностью, жилами и прожилками магнетита, неравномерной вкрапленностью пироклора и бадделиита. Месторождения известны на Балтийском щите (Африканда, Ковдор), на Сибирской платформе (Гулинский массив), за рубежом на Африканской платформе (Уганде, Зимбабве, ЮАР, месторождение Палабор). Месторождения имеют второстепенное значение, так как являются редкими.

*Скарновые* месторождения, формация железорудных скарнов, связаны с гранитоидными интрузиями. Они подразделяются на известковые и магнезиальные. В составе первых отмечаются следующие минералы – пироксены, гранаты андрадит-гроссулярового типа, эпидот, актинолит, везувиан, хлорит; в магнезиальных характерно развитие магнезиальных силикатов – форстерита, шпинели, флогопита, серпентина. Железорудные минералы – магнетит, мартит, гематит; кроме этого в составе руд встречаются кобальтсодержащий пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит и др.

Формы рудных тел чрезвычайно разнообразны – неправильные, жилообразные, пластообразные и др.

В рудах скарново-магнетитовых месторождений часто присутствуют примесь кобальта, иногда бора, меди, цинка.

Скарново-железорудные месторождения в России очень многочисленны. Они известны на Урале (Магнитогорское, Высокогорское, Лебяжинское, Гороблагодатское и др.), Алтае-Саянской области (Таштагольское и др.), Горной Шории (Шерегешское), Южной Якутии (Таежное, Пionерское), на Дальнем Востоке (Гаринское), за рубежом месторождения США, Болгарии, Румынии и ряд других.

*Гидротермальные (вулканогенные)* месторождения парагенетически связаны с траппами. Распределение месторождений тесно связано с расположением зон разломов. Форма рудных тел – жильно-метасоматическая. Рудный минерал – магнетит содержит примеси магнезия и относится к магнемагнетиту. Качество руд довольно высокое и запасы – сотни млн. т, но данный тип месторождений редок. Месторождения известны на Сибирской платформе. Наиболее крупные и разведанные месторождения этой группы – Коршуновское, Рудногорское, Нерюндинское и Тагарское.

Э к з о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

*Осадочные* месторождения подразделяются на морские и континентальные. Морские месторождения (сидерит-лептохлорит-гидрогетитовая формация) образуются в прибрежной зоне морских водоемов, залегают среди карбонатно-терригенных отложений. Пологозалегающие рудные пласты и линзы имеют мощности от первых метров до первых десятков метров. Руды сложены в основном оолитами различных размеров гидрогетитового, лептохлоритового или сидеритового состава, обломками оолитов и песчано-глинистого материала, сцементированных теми же минералами, которые образуют и оолиты. Наблюдается характерное изменение минерального состава от береговой линии в сторону моря: гидрогетит постепенно уступает место лептохлоритам. На некоторых месторождениях наблюдается более поздняя сидеритизация гидрогетитовых и лептохлоритовых руд.

Этот тип месторождений представлен Западно-Сибирским бассейном в России, Аятским в Казахстане, Керченским на Украине (рис.1). За рубежом месторождения данной формации представлены Лотарингским бассейном (Франция, Германия, Бельгия и Люксембург), к ним относятся также месторождения Китая, Великобритании.

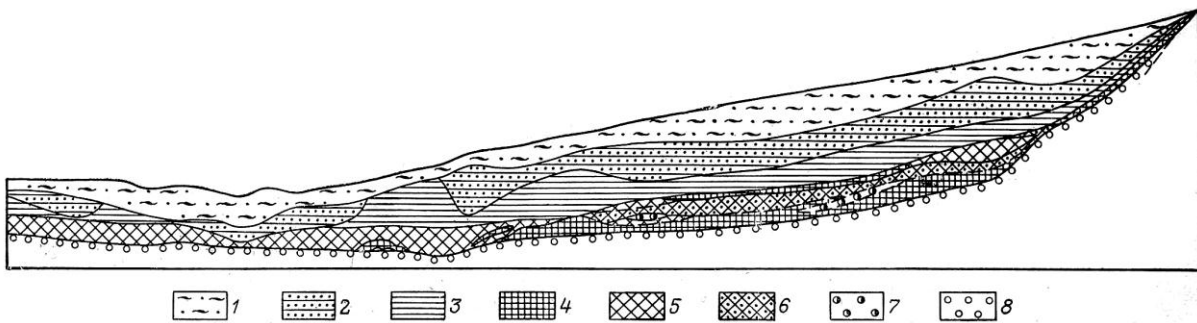


Рис.1. Геологический разрез Камыш-Бурунской мульды, по Ю. Юрку, Е. Шнюкову, Ю. Лебедеву и О. Кириченко: 1- известковые суглинки; 2 - глины песчанистые; 3 - глины; 4-6 железные руды (4 - «табачные», 5 - «коричневые», 6 - «икряные»); 7 - глины песчанистые; 8 - ракушечники глинистые в кровле сидеритизированные.

Континентальные месторождения представлены большим числом мелких месторождений. Руды сложены скоплениями гидрогетитовых жеод и оолитов в песчано-глинистых озерно-болотных отложениях. Руды этого типа известны в Тульской и Липецкой областях. Они характеризуются низкими содержаниями железа и в настоящее время практически утратили промышленное значение. Исключением является Лисаковское месторождение в Кустанайской области, связанное с русловыми пойменными отложениями олигоценых палеорек. Рудные залежи вытянуты на десятки километров вдоль русла, имеют линзовидную и неправильную формы. В составе руд гидрогетит, лептохлориты, сидерит, кварц, глинистые минералы, марказит, гипс. Руды оолитовые.

Вулканоогенно осадочные располагаются среди вулканогенных фаций вулканоогенно-осадочных формаций. Рудные пласты залегают среди туфов

и туффитов с наличием прослоев и линз вулканических пород, присутствием в составе руд пирокластических частиц. В Западно-Каражальском месторождении вмещающими породами служат переслаивающиеся известняки, кремнисто-карбонатные яшмовидные и аргиллитовые породы, а подстилается эта толща типично вулканогенно-осадочными формациями. Рудные пласты и линзы залегают согласно с вмещающими породами. Руды сложены гематитом, в меньшей степени гематитом и сидеритом, встречаются сульфиды.

Промышленное значение этой группы месторождений невелико. Примеры – Западный Каражал (Казахстан), Холзунское (Россия), Лан и Дилль в Германии.

*Месторождения коры выветривания (остаточные)* образуются при выветривании ультраосновных пород: серпентинизированных дунитовых и перидотитовых массивов. Железные руды коры выветривания ультрабазитов состоят в основном из гидрогетита и примесей: халцедона, опала, нонtronита, железистых хлоритов, магнезита. Они содержат примеси хрома, никеля и кобальта и относятся к природнолегированным образованиям. Примером подобных месторождений являются Елизаветинское, Аккермановское на Урале. За рубежом крупные месторождения железных руд коры выветривания известны на Кубе, Филиппинах, Гвинее, Гвиане и Суринаме.

#### М е т а м о р ф о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

К этой серии относятся залежи метаморфизованных железистых кварцитов.

*Осадочно-метаморфизованные* месторождения железистых кварцитов залегают в метаморфизованных осадочных комплексах докембрийских кристаллических щитов, складчатых фундаментов древних платформ. В подавляющей части железистые кварциты являются первично морскими хемогенными осадками, залегают среди терригенных и вулканогенно-осадочных вмещающих комплексов. Форма рудных залежей – пластообразная. Главные минералы – кварц, магнетит, гематит, куммингтонит, биотит, хлорит, иногда щелочные амфиболы. Структура преимущественно тонкозернистая и мелкозернистая. Текстура полосчатая, плейчатая. Метаморфизм фации зеленых сланцев. В более глубоко измененных месторождениях амфиболитовой фации метаморфизма главные минералы – кварц, магнетит, гематит, роговая обманка, диопсид, геденбергит, гранат. Структура среднезернистая, текстура неясно полосчатая. Наиболее глубоко метаморфизованные месторождения гранулитовой фации архейского возраста имеют крупнозернистую структуру, неясно полосчатую текстуру. В составе железистых кварцитов – кварц, магнетит, гиперстен, актинолит, тальк, куммингтонит, гранат.

Месторождения железистых кварцитов относятся к крупнейшим, характеризуются запасами руды в миллиарды и десятки миллиардов тонн. Среднее содержание железа 20-40%, чаще всего 32-37%, они бедны фосфором и серой, при преобладании среди рудных минералов магнетита хорошо обогащаются.



В России железистые кварциты сосредоточены на Кольском полуострове и в Карелии (Оленегорское, Кировогорское, Костомукшское месторождения и др.), в бассейне Курской магнитной аномалии (Коробковское, Лебединское, Стойленское – рис.2, Михайловское и др.), на Южном Урале (Тараташское), в Читинской области и республике Саха (Чаратоккинское), на Дальнем Востоке (Мало-Хинганская группа), на Украине (Криворожско-Кременчугский бассейн). За рубежом широко известны крупные районы распространения кварцитов в Канаде, США, Бразилии, Индии, ЮАР, Австралии, Китае и других странах.

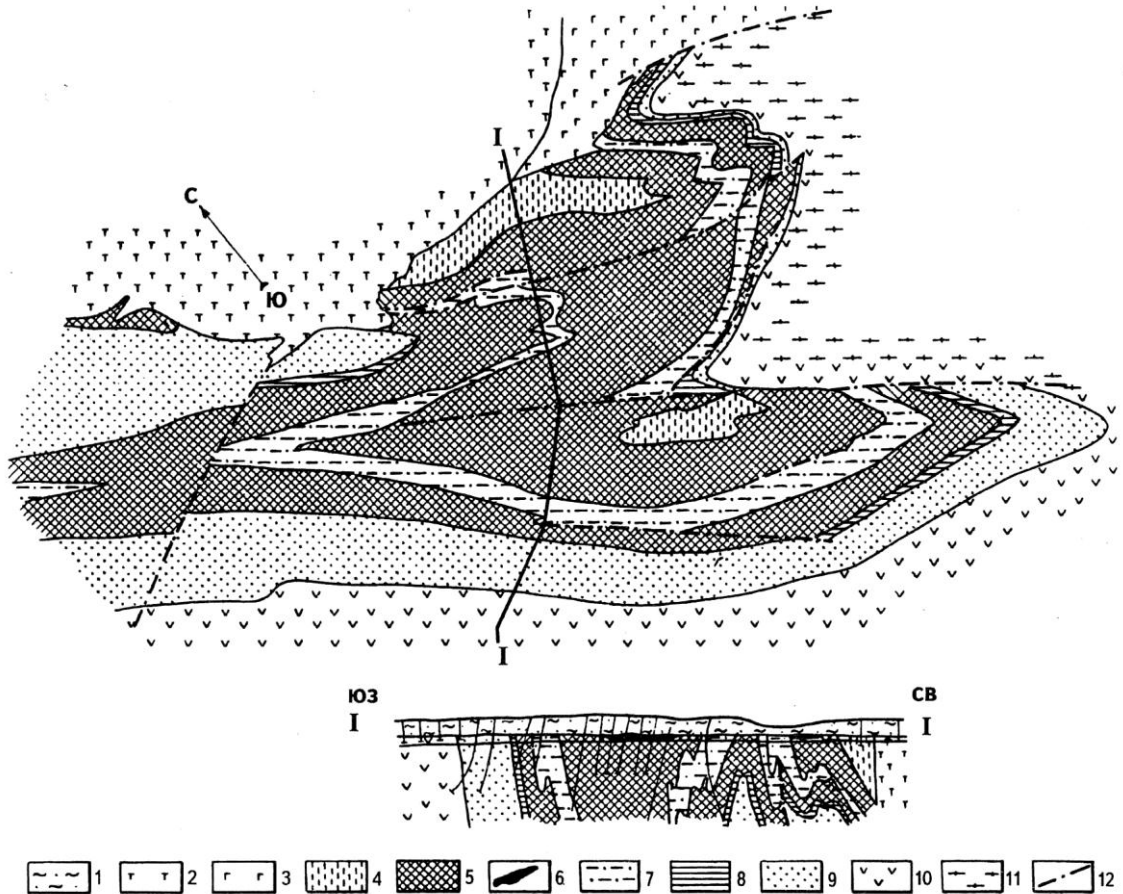


Рис. 2. Схема геологического строения Стойленского месторождения (по Н.Голивкину): 1 - песчано-глинистые и карбонатные отложения девонско-четвертичного возраста; 2 - диориты и кварцевые диориты; 3 - габбро-диориты; 4-8 - породы курской серии (4 - сланцы верхней свиты, 5 - железистые кварциты средней свиты, 6 - сланцы средней свиты, 7 - сланцы нижней свиты, 8 - метапесчаники и конгломераты нижней свиты); 9 - кварцевые порфиры, сланцы и амфиболиты михайловской серии; 10 - гнейсы и мигматиты архея; 11 - богатые железные руды (на разрезе); 12 - тектонические нарушения.

Богатые железные руды представляют продукт природного обогащения железистых кварцитов, образующиеся при процессах древнего выветривания. Выделяются два морфологических типа залежей – плащеобразные и линейные. Плащеобразные залегают на головах крутопадающих же-

лезистых кварцитов, имеют значительную площадь, карманообразную подошву и относятся к типичным корам выветривания. Линейные возникли в зонах разломов, трещиноватости, смятия, дробления.

В минеральном составе богатых руд участвуют мартит, мартитизированный магнетит, гетит и гидрогетит, глинистые минералы. Руды характеризуются высоким содержанием железа 54-69% и низкими содержаниями серы и фосфора.

## **МАРГАНЕЦ**

### **Общие сведения и области применения**

Марганцевые руды использовались с конца XVIII в. для изготовления красок и медицинских препаратов. В связи с развитием черной металлургии марганцевые руды начали широко применяться со второй половины XIX в. В настоящее время металлургия является главным потребителем марганца. Добавка марганца повышает вязкость стали, ее твердость и ковкость, способствует переходу в шлак многих вредных примесей. В небольших количествах марганец используется в электротехнической, химической и керамической промышленности.

### **Обзор ресурсов**

Общие мировые запасы марганца в 56 странах равны 106 млрд. т, в том числе половина из них – подтвержденные. Наиболее богата марганцевыми рудами Африка (район Калахари и месторождение Моанда в Габоне), значительная часть запасов заключена в рудах Никопольского месторождения на Украине, далее идут Казахстан, Австралия, Бразилия, Китай и Грузия. Добыча составляет 20 млн. т. Более половины марганца добывают Украина и Китай.

В России крупных месторождений нет. Всего известно 15 месторождений, среди которых преобладает карбонатный тип (месторождения Полуночное, Ивдельское на Урале, Усинское в Западной Сибири, Порожнинское в Красноярском крае). Начата разработка Тыньинского месторождения на Урале и Громового в Читинской области, подготовлены к разработке Парнокское месторождение в республике Коми, Ивдельское и Марсятское на Урале. В ближайшее десятилетие попутная добыча марганца будет начата на двух гайотах Тихого океана (западный сектор севера приэкваториальной зоны - Магеллановые горы, подводное продолжение Маршалльских островов).

### **Кондиции**

Кондиционное содержание для легкообогатимых руд определяется в 10%, для труднообогатимых руд более 20% марганца. В металлургии используются руды с содержанием марганца 30-36% и менее 0,2% фосфора.

### **Геохимия и минералогия**

Кларк марганца 0,1%. Повышенное содержание наблюдается в ультраосновных и основных породах. Марганец обладает двумя устойчивыми валентностями:  $Mn^{2+}$  и  $Mn^{4+}$ .

Известно более 150 минералов марганца. Промышленными являются пиролюзит  $MnO_2$ , манганит  $MnO(OH)$ , псиломелан  $BaMn^2Mn^4_9O_{20} \cdot 3H_2O$ , браунит  $Mn^2Mn^3_6SiO_{12}$ , гаусманит  $MnMn_2O_4$ , родохрозит  $Mn[CO_3]$ , манганокальцит  $Ca, Mn[CO_3]_2$ .

### Промышленные типы месторождений

Эндогенные проявления марганца не имеют промышленного значения. Основное значение имеют месторождения экзогенной серии.

### Экзогенные месторождения

Осадочные (хемогенно-осадочные и вулканогенно-осадочные) составляют 92,5% запасов руд.

Хемогенно-осадочные месторождения залегают среди морских отложений олигоценового возраста. Форма рудных тел пластовая. В фациальном профиле месторождений выделяются три рудные зоны: оксидных, смешанных (оксидно-карбонатных) и карбонатных руд. Оксидные руды сложены пиролюзитом, псиломеланом, манганитом; карбонатные – преимущественно манганокальцитом, в незначительном количестве родохрозитом. Вмещающие породы – монтмориллонитовые глины с примесью песка и алевролита. Текстуры – конкреционные, ноздреватые, сажистые.

К этому типу месторождений относится Никопольский бассейн на Украине (рис. 3); Чиатурское в Грузии; Полуночное, Ивдельское, Усинское в России; Мангышлакское в Казахстане.

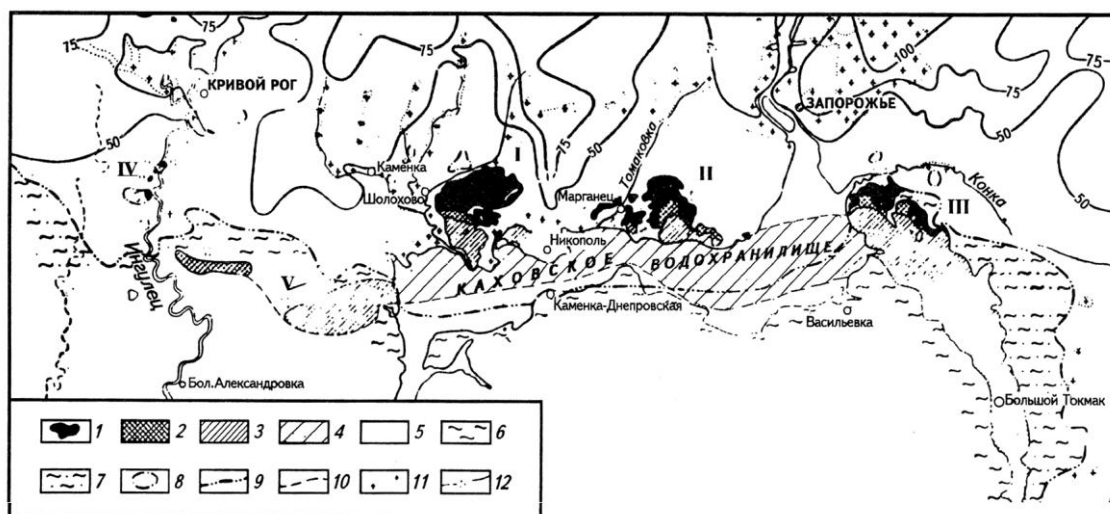


Рис. 3. Схема размещения марганцеворудных площадей в Никопольском бассейне (по В.Грязнову): 1-3-марганцевые руды: 1 - оксидные, 2 - оксидно-карбонатные (смешанные), 3 - карбонатные; 4 - площадь, на которой карбонатные руды полностью или частично размыты в четвертичное время; 5 - пойма Днепра, ныне Каховское водохранилище; 6 - глины олигоцена; 7 - песчаные глины олигоцена; 8 - "островки" олигоценых отложений; 9 - северная граница олигоценых отложений; 10 - южная предполагаемая граница накопления карбонатных руд; 11 - выходы кристаллических пород на поверхность и под четвертичные отложения; 12 - изогипсы поверхности докембрийских пород. Рудоносные площади: I - За-

падно-Никопольская, II - Восточно-Никопольская, III- Больше-Токмакская, IV- Ингулецкая, V - междуречье Днепр-Ингулец.

Вулканогенно-осадочные месторождения (формация браунит-гаусманитовая) приурочены к областям интенсивного проявления подводного вулканизма, характеризующимся накоплением лав и туфов с подчиненным количеством осадочных пород. Для месторождений установлена отчетливая связь с кремнистыми (яшмы, туфы), карбонатными (известняки, доломиты) и железистыми (магнетит, гематит) породами и рудами. Источником Mn, Fe и других компонентов являлись поствулканические подводные эксгаляции и гидротермы. Месторождения располагаются как у очагов вулканической деятельности, так и в удалении от них среди пирокластических пород. Месторождения характеризуются браунит-гаусманитовым составом. Залежи имеют пластообразную форму, мощность 1-10м. Содержание Mn – 40-55%, P – 0,03-0,06%. Месторождения, как правило, по запасам небольшие. Они известны на Урале, Горном Алтае, в Кузнецком Алатау.

В связи с прогрессирующим истощением минеральных ресурсов на континентах, все большее внимание привлекают железо-марганцевые конкреции дна океанов. Огромное количество марганцевых руд сосредоточено в железо-марганцевых конкрециях, выстилающих крупные площади дна Тихого, Атлантического и Индийского океанов. Основная часть их находится в Тихом океане. Запасы – 3,5 трл. т, запасы ежегодно возрастают на 10 млн. т. Конкреции и рудные корки обнаружены в пелагической области практически повсеместно как на дне котловин, так и на склонах поднятий. Мощность их изменяется от нескольких миллиметров до 10-15см. Размеры конкреций – от 1мм до 1м в диаметре, наиболее распространены конкреции размером 3-7 см в поперечнике. Морфологические типы конкреций – сферические, эллипсоидные, лепешковидные, плитчатые, желвакообразные, гроздевидные. Текстуры – скорлуповато-слоистые, оолитовые, колломорфные. Главные рудные минералы – вернадит и гидрогетит, реже встречаются другие гидроксиды и оксиды Mn и Fe. Содержание Mn 25-20%, Fe 10-15%, Ni 1-2%, Co 0,3-1,5%, Cu 1-1,5%.

США, ФРГ и Япония, не имеющие крупных месторождений марганца на своих территориях, производили опытную добычу конкреций со дна Тихого и Атлантического океанов на глубинах до 7 км.

Источником Mn, Fe и сопутствующих элементов одни геологи считают донные вулканические эксгаляции, другие – инфильтрацию из донных базальтов, третьи – снос с континентов.

*Месторождения выветривания* образуются главным образом по марганецсодержащим метаморфизованным породам. Форма рудных тел плащеобразная. Рудные залежи сложены пиролюзитом и псиломеланом. Глубина распространения руд – 10-70 м. Залежи прослеживаются по простиранию от сотен метров до 10 км. Содержание Mn 30-50%, P обычно до 0,2%, иногда до 2%. Месторождения распространены главным образом в Индии и Бразилии, а также в Канаде, Габоне, Гане, ЮАР и Австралии

### Метаморфогенная серия

Месторождения этой серии представлены группой метаморфизованных месторождений, на долю которых приходится 5% мировых запасов руд.

*Метаморфизованные* марганцевые месторождения связаны с марганецсодержащими протерозойскими силикатными породами – гондитами и кодуритами. Гондиты сложены кварцем, спессартином, браунитом, гаусманитом и родонитом. Кондуриты состоят из калиевого полевого шпата, спессартина и апатита. Они переслаиваются с мраморами, кварцитами и сланцами. Протяженность рудных залежей до 3-8 км, мощность – 3-60 м, среднее содержание Mn 10-20%. Наиболее крупные месторождения отмечены в Индии и Бразилии. В настоящее время разрабатываются наиболее мощные рудные тела окисленных марганцевых руд зоны окисления; гондиты и кондуриты не разрабатываются.

## ХРОМ

### Общие сведения и области применения

Хромитовые руды были впервые выявлены на Урале в 1799 году. В начале XIX в. они использовались в качестве огнеупорного материала для футуровки металлургических печей, получения красок и дубителей кожи. В конце XIX в. хром начал широко использоваться в качестве легирующего металла. В настоящее время основным потребителем хромитовых руд является металлургическая промышленность (65%), остальные используются в огнеупорной и химической промышленности. Хром применяют для производства нержавеющей, жаропрочных, кислотоупорных, инструментальных и других сталей.

### Обзор ресурсов

Мировые запасы хромитов в 27 странах составляют 3,5 млрд. т. Около 80% их сосредоточено в Казахстане и ЮАР, остальные в Зимбабве, Индии, Турции, Филиппинах. Добыча хромитовой руды составляет 13 млн. т, 60% добычи приходится на Казахстан и ЮАР.

Главная хромитоносная провинция в России и Казахстане – Урал, где известно 25 районов, в которых в разное время производилась добыча хромитов. В настоящее время разрабатывается Донская группа хромитовых месторождений, находящихся в юго-восточной части Кемпирсайского массива на Южном Урале и Сарановское месторождение на западном склоне Среднего Урала.

### Кондиции

Наиболее строгие требования к качеству руд предъявляет металлургическая промышленность, здесь используются руды с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  более 49%, при соотношении  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ : FeO более 2,5 и содержании S и P менее 1%. В химической промышленности применяются руды с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  более 44%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  менее 14%,  $\text{SiO}_2$  менее 5%; в огнеупорной -  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  более 32%,  $\text{SiO}_2$  менее 6%, CaO менее 1%.

### Геохимия и минералогия.

Кларк хрома в земной коре 0,0083%. Повышенные содержания отмечаются в ультраосновных породах.

Известно 25 минералов хрома. Промышленными являются хромшпинелиды («хромиты»), имеющие общую формулу  $(Mg,Fe)O (Cr,Al,Fe)_2O_3$ . Состав хромитов изменчив. Наибольшее значение имеет магнхромит ( $Cr_2O_3$  – 50-60%), меньшее – алюмохромит и хром-пикотит. Другие хром-содержащие минералы – хромвезувиан, хромдиопсид, хромовый гранат, хромовая слюдка часто сопровождают хромитовые руды и имеют поисковое значение.

### Промышленные типы месторождений

*Раннемагматические* месторождения образуются на ранней стадии кристаллизации магматических пород. Руды преобладают вкрапленные. Границы рудных тел (шлиры, гнезда) нечеткие. Иногда в результате гравитационной дифференциации происходит концентрация хромитов в ультрамафитовой зоне плутона. Такие месторождения известны в ЮАР (Бушвельдский массив), Зимбабве (Великая Дайка). Они представлены пластобразными телами хромитовых руд в расслоенных массивах ультраосновных пород. В Бушвельдском массиве месторождения хромитов приурочены к двум рудоносным горизонтам протяженностью 110-160 км. Руды вкрапленные, массивные, встречаются хромиты с нодулярной текстурой. Мощность пластов 0,2-1,8 м. Запасы хромитов оцениваются в 1 млрд. т, среднее содержание  $Cr_2O_3$  45%.

*Позднемагматические* месторождения распространены более широко. Они известны на Урале, Кавказе, Сибири, на Чукотке, Сахалине, а также за рубежом – Албании, Греции, Турции, Иране, Пакистане, Индии, Филиппинах. Месторождения связаны с ультраосновными породами: в различной степени серпентинизированными дунитами, перидотитами, пироксенитами. Наиболее распространенная форма рудных тел – линейно вытянутые жилоподобные линзы. Размеры отдельных тел варьируют от нескольких десятков метров до 1,5 километра по простиранию при мощности от нескольких до 150 м (рис.4). Контакты хромитов с вмещающими породами резкие. Руды массивной, вкрапленной и нодулярной текстуры сложены в дунитах магнхромитом, в перидотитах – алюмохромитом и хром-пикотитом. В хромитовых рудах Кемпирсайского дунит-гарцбургитового массива содержатся платиноиды (металлы платиновой группы – МПГ), суммарное содержание доходит до 0,8 г/т (в том числе Os, Ru, Ir, Rh, Pt и Pd). В богатых хромитовых рудах количество платиноидов достигает 0,7-2,0 г/т. Минералы группы платины выявлены как идиоморфные включения размером до 100 мкм внутри зерен хромитов. Они представлены твердыми растворами Os-Ir-Ru, Ir-Os-Fe, Ni (самородные Ir и Os, Ru, Os-Ir, Ru-As, Ir-Ru-As-S. По мнению исследователей [2,3], эти месторождения являются крупными платиносодержащими объектами.

### Экзогенные месторождения

Россыпные месторождения хромитов (элювиально-делювиальные) образуются в результате выветривания магматических месторождений. Это валунчатые руды Сарановского месторождения и порошокватые руды коры выветривания Кемпирсайского района. Подобные месторождения известны на Кубе, Филиппинах, в Новой Каледонии. Россыпные месторождения по своему промышленному значению являются несущественными.

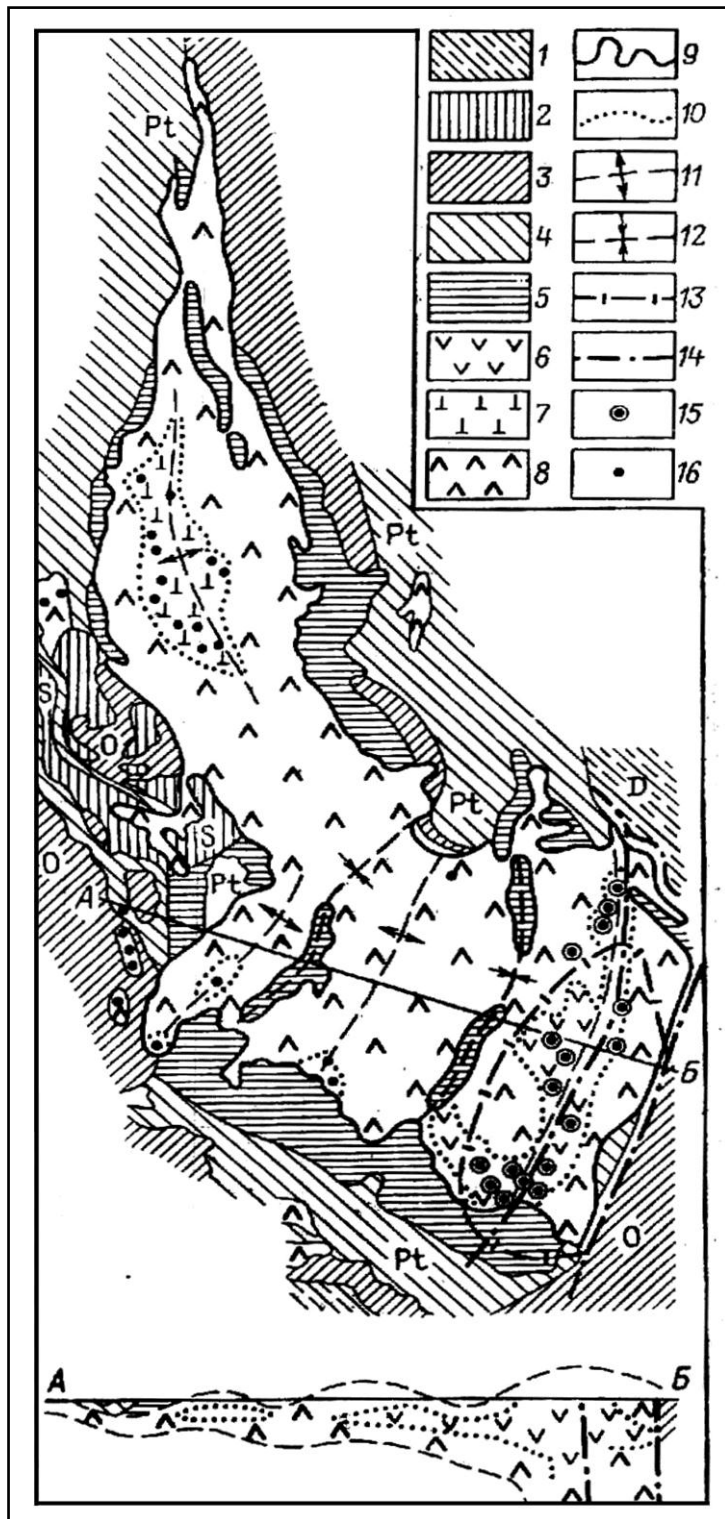


Рис.4. Схема геологического строения хромитносного Кемпирсайского массива, по Н.Павлову и И.Григорьевой: 1-4 – вмещающие кремнистые и карбонатные породы: 1 – девонские, 2 - силурийские, 3 - ордовикские, 4 - протерозойские; 5 - габброамфиболиты; 6-8 - серпентинизированные образования: 6 -перидотиты и дуниты, 7 - дунит-перидотитовый шлирово-полосчатый комплекс, 8 - перидотиты; 9, 10 - контуры ультраосновных пород: 9 -массива, 10 - комплексов; 11, 12 - оси: 11 - сводовых поднятий, 12 - межсводовых опусканий; 13 - контур проекции рудоподводящего канала; 14 - тектонические нарушения; 15, 16 - месторождения руд: 15 - высокохромистых, 16 - низкохромистых.

## **ТИТАН**

### **Общие сведения и области применения**

Титан был открыт в 1791 году, но применяться начал лишь с середины XX в. Свойства титана уникальны: температура плавления  $1725^{\circ}$ , удельный вес  $3,6 \text{ г/см}^3$ . Титан отличается высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Титановые сплавы, отличающиеся высокой прочностью, ковкостью и свариваемостью, применяются в космической технике, авиационной, автомобильной, судостроительной, пищевой и медицинской отраслях промышленности. Карбид титана применяется для изготовления сверхтвердых сплавов, двуокись титана для производства стойких титановых белил, пластмасс и в целлюлозно-бумажной промышленности.

### **Обзор ресурсов**

Общие запасы двуокиси титана в 20 зарубежных странах оцениваются в 420 млн. т. Около 90% этих запасов сосредоточено на Украине, Бразилии, ЮАР, Австралии, Индии, Китае, Норвегии и Канаде. Производство титановых концентратов в зарубежных странах составляет 5,2 млн. т. Основные производители титановых концентратов Австралия, ЮАР, Канада и Норвегия. Добыча титанового сырья осуществляется в 14 странах на 36 разрабатываемых месторождениях, из которых только три относятся к коренным: Теллнес (Норвегия), Аллард Лейк (Канада), Панчджихуа (Китай). Среди россыпных месторождений крупнейшими являются россыпи ЮАР, Австралии, Индии, Бразилии.

В России запасы титана сосредоточены в 20 месторождениях (53,1% - в россыпных и 46,9% в магматогенных). После завершения эксплуатации Кусинского месторождения титан получают попутно из лопаритовых концентратов и апатит-нефелиновых руд Кольского полуострова. Кроме того, производится импорт титана из Украины, Австралии, Канады.

### **Кондиции**

Промышленными являются коренные месторождения, которые содержат в рудах более 10%  $\text{TiO}_2$  и россыпные, в которых более 10% ильменита или 1,5% рутила.

### **Геохимия и минералогия**

Кларк титана 0,45%. Повышенные концентрации титана отмечаются в основных, ультраосновных (габбро, анортозитах, горнблендитах, пироксенитах) и щелочных породах.

В настоящее время известно около 70 минералов титана. Во многие из них титан входит в качестве примеси. Промышленными являются ильменит  $\text{FeTiO}_3$  и рутил  $\text{TiO}_2$ . Извлечение ильменита из титаномагнетита возможно при размерах зерен ильменита более 0,3 мм. Частично титан извлекают из лейкоксена и лопарита.

### **Промышленные типы месторождений**

#### **Эндогенные месторождения**

*Магматические (позднемагматические)* месторождения связаны с основными и ультраосновными породами. Наиболее значительные место-



рождения приурочены к крупным массивам анортозитовой формации, интрузиям габбро-норитов и габбро-долеритов. Рудные тела имеют жиллообразную форму. Преобладают массивные текстуры. Руды по составу ильменит-магнетитовые. Содержание  $TiO_2$  32-36%, Fe 39-43%.

В России к ним принадлежат месторождения Восточного Саяна (Мало-Тогульское и др.), месторождения Урала (Кусинское); Карелии (Пудожгорское); в Канаде - Лак-Тио, Аллард-Лейк; в США – Тегавус; в ЮАР – Бушвельд; в Норвегии – Теллес.

С интрузиями щелочного состава связаны вкрапленные руды лопаритового, перовскитового и титаномагнетитового состава, в которых титан является побочным компонентом, главное промышленное значение в них имеют редкие (Nb) и редкоземельные элементы.

#### Экзогенные месторождения

*Месторождения выветривания.* Современные и погребенные титаносодержащие коры образуются на габброидных и метаморфических породах. Мощность кор достигает нескольких десятков метров. Титан представлен ильменитом и рутилом. Содержание ильменита может достигать нескольких сотен, а рутила десятков килограммов на кубический метр. Коры имеют самостоятельное промышленное значение и являются источником рудного материала для образования россыпных месторождений.

*Россыпные месторождения* имеют важное промышленное значение. Среди них различают два типа: прибрежно-морские и континентальные. Более важными являются прибрежно-морские, меньшее значение имеют континентальные аллювиально-делювиальные россыпи. По времени образования среди прибрежно-морских россыпей выделяют древние (ископаемые) и современные.

В России главное значение имеют древние россыпи, распространенные в отложениях неогена и палеогена Ставрополя, палеогена Зауралья, Северного Приаралья, юго-западной части Сибирской плиты, палеогена и мезозоя Чулымо-Енисейской и Амуро-Зейской впадин, мезозойских депрессий Уральской складчатой системы, Иркутского угленосного бассейна, палеозоя Тиманского и Томь-Колыванского поднятий.

Прибрежно-морские ильменит-рутил-цирконовые комплексные россыпи отличаются большими размерами и крупными запасами. Для них характерны пласто- и линзообразные залежи, мощность которых достигает десятков метров, а протяженность нескольких десятков километров. По составу эти россыпи обычно олигомиктовые: главный породообразующий минерал – кварц. Пески тонко- и мелкозернистые. Содержание в россыпях ильменита и рутила от десятков до сотен кг/м<sup>3</sup> (рис. 5).

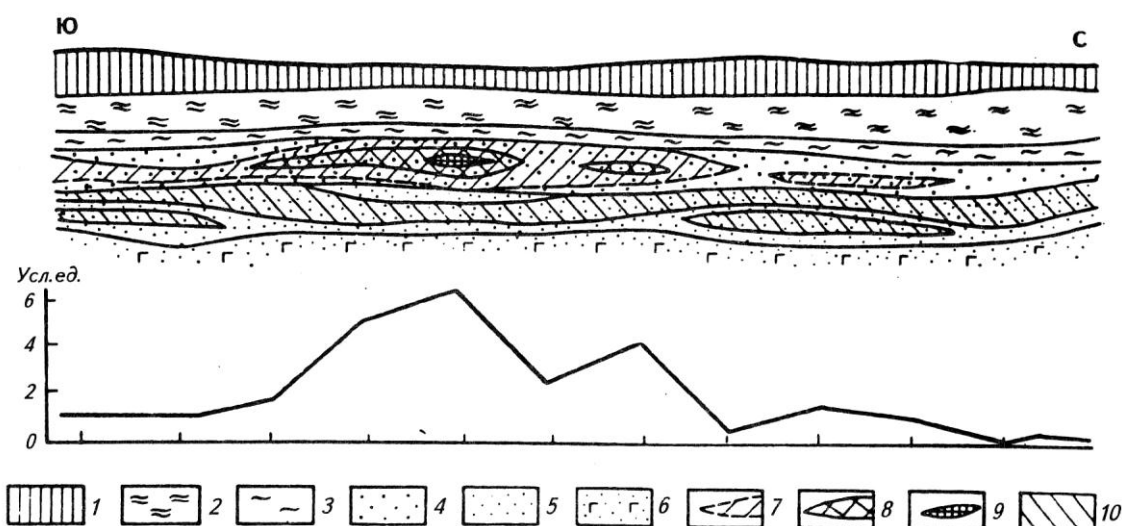


Рис. 5. Поперечный разрез одной из залежей сарматской россыпи Правобережного месторождения и график изменения содержания тяжелых минералов в среднесарматских продуктивных песках, по М. Векличу и др.: 1 - лессы и лессовидные суглинки; 2 - глины и суглинки; 3 - глины; 4 - пески кварцевые мелко- и среднезернистые; 5 - пески кварцевые мелко- и тонкозернистые; 6 - пески кварц-глауконитовые. Содержание тяжелых минералов: 7 - низкое, 8 - высокое, 9 - очень высокое; 10 - циркониево-титановые залежи в отложениях полтавской серии.

Континентальные россыпи ильменита распространены в четвертичных, палеогеновых и нижнемеловых отложениях. Рудные тела аллювиальных россыпей имеют обычно лентовидную форму. Рудные минералы накапливаются в нижних горизонтах. По составу континентальные россыпи обычно полимиктовые (кварц, полевой шпат, каолинит). Содержание ильменита изменяется от нескольких десятков до нескольких сотен кг/м<sup>3</sup>.

Из современных прибрежно-морских россыпей ильменит и рутил добывают в Австралии, Индии, Шри-Ланке, частично в Бразилии и США. Это пляжевые пески океанических побережий тропических и субтропических климатических поясов. Россыпи имеют большую протяженность, измеряемую сотнями и тысячами километров. Мощность их 1 – 1,3 м. Рудоносные пески или совсем не перекрыты или перекрыты маломощным слоем безрудных песков. Россыпи постоянно возобновляемы. По составу они аналогичны ископаемым россыпям.

*Вулканоогенно-осадочные* месторождения приурочены к титаноносным вулканогенно-осадочным образованиям на юге Воронежской области. Месторождение сложено осадочными и вулканогенно-осадочными породами палеозоя, мезозоя и кайнозоя, залегающими на докембрийском фундаменте. Рудоносными являются отложения ястребовского горизонта девонского возраста мощностью от нескольких до 35 м. Общая протяженность примерно 100 км при ширине 20-40 км. Наибольшее количество ильменита приурочено к грубообломочным туфам, туффитам и туфопесчаникам. Образование вулканогенных пород, обогащенных ильменитом, вероятно,

происходило в мелководном морском бассейне и явилось следствием подводной вулканической деятельности.

### М е т а м о р ф о г е н н а я с е р и я

В этой серии выделяются месторождения метаморфизованной и метаморфических групп.

*Метаморфизованные месторождения* образуются при метаморфизме древних россыпей и коренных магматических руд.

*Метаморфические месторождения* образуются при метаморфизме интрузивных, эффузивных и осадочных пород, обогащенных титаном. На Кузнечихинском месторождении (Средний Урал) в амфиболитах содержится около 1,5% рутила, а в эклогитах Шубинского месторождения (Южный Урал) - 4,5%. Промышленное значение таких месторождений невелико.

## РАЗДЕЛ II. ЛЕГИРУЮЩИЕ МЕТАЛЛЫ

### В А Н А Д И Й

#### Общие сведения и области применения

Ванадий был открыт в 1801 году, используется с начала XX в. для легирования чугуна и стали. Он повышает твердость, упругость, износостойчивость и сопротивление разрыву. Титано-ванадиевые сплавы применяются для изготовления реактивных самолетов и космической техники. Известны также сплавы V с Cu, Ta, Nb, Zr, Ni, Co, Al и Mg. В химической промышленности ванадий применяется в качестве катализатора при крекинге нефти, производстве красок, каучука.

#### Обзор ресурсов

Общие запасы пятиоксида ванадия в 19 странах мира 60 млн. т, 90% из них сосредоточено в России, ЮАР, Венесуэле, США и Китае. Производство ванадиевых продуктов ( $V_2O_5$ ) достигло 52 тыс. т. Главными производителями являются ЮАР, Россия, Китай и США.

#### Геохимия и минералогия

Кларк ванадия 0,02%. Повышенные концентрации ванадия отмечаются в габбро и базальтах. Близость ионных радиусов  $V^{3+}$  и широко распространенных в магматических породах  $Fe^{3+}$  и  $Ti^{4+}$  приводит к тому, что ванадий находится в гипогенных процессах в рассеянном состоянии в минералах железа и титана – титаномагнетите, сфене, рутиле, ильмените, пироксенах, амфиболах и гранатах.

В экзогенных условиях V переносится водами, обладает высокой миграционной способностью, а также адсорбируется гидроксидами железа, алюминия и органическим веществом.

Известно около 90 минералов ванадия. Промышленными минералами являются: титаномагнетит с содержанием 0,3-10%  $V_2O_5$ , роскоэлит  $KV_2[AlSiO_3]O_{10}(OH)_2$ , карнотит  $K_2U_2[VO_4]O_4 \cdot 3H_2O$ , ванадинит  $Pb_5[VO_4]Cl$ , деклуазит  $(Zn,Cu)Pb[VO_4]OH$ , кулсонит  $Fe(Fe,V)_3O_4$  и патронит  $VS_4$ .

Минимальное кондиционное содержание ванадия в титаномагнетитовом концентрате 0,3%, вредные примеси – CaO и P.

### **Промышленные типы месторождений**

Большинство месторождений, из руд которых извлекают ванадий, комплексные: ванадий получают попутно с добычей главных компонентов – Fe, Ti, U, Pb, Zn, P, а также нефти. В США две трети ванадия связано с его получением из нефти, поставляемой из Венесуэлы. В России сырьем для производства ванадия служат титаномагнетитовые руды. В зарубежных странах около 90% ванадия получают из титаномагнетитовых и ильменит-магнетитовых руд, остальное - из уран-ванадиевых (карнотитовых), ванадиевых (роскоэлитовых) руд, фосфоритов, бокситов, глин зоны аргиллитизации, окисленных полиметаллических руд и нефти.

### **Эндогенные месторождения**

*Магматические (позднемагматические)* месторождения. Наиболее крупные массивы ванадиеносных ультраосновных и основных пород приурочены к анортозитовой формации (Канадский щит) и формации габбровых и норитовых интрузий (бушвельдский комплекс). Меньшие площади имеют породы габбро-пироксенит-дунитовой формации, с которыми связаны месторождения ванадийсодержащих титаномагнетитов на Урале. Содержание ванадия в рудах 0,1-1%. Запасы на отдельных месторождениях составляют несколько миллионов тонн. Главные минералы-концентраты ванадия - титаномагнетит и магнетит. Примером уникальных месторождений ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд являются Качканарское месторождение на Урале и ильменит-магнетитовые месторождения бушвельдского комплекса в ЮАР.

*Метасоматически-гидротермальные* месторождения уран-благороднометалльно-ванадиевых руд обнаружены в конце 70-х - начале 80-х годов на юге Карелии (Онежский прогиб). В районе выявлено 11 рудоносных зон. Рудоносные зоны представлены антиклинальными складками, ядра сложены доломитами и глинисто-карбонатными породами, а крылья - углеродистыми сланцами и алевролитами. Рудные залежи тесно связаны с углеродсодержащими алевролитами, приурочены к контакту алевролитов и высокоуглеродистых глинисто-карбонатных сланцев. Рудные тела имеют шнуровидную и ленточную форму мощностью до 40 м, протяженностью до 2,5 км. Среднее содержание  $V_2O_5$  2,5-3,5%, урана 0,15-0,25%, наблюдаются также повышенные содержания Au, Ag, Pt, Pd и других элементов. Ванадий заключен в слюдах – роскоэлите, флогопите и других минералах, уран представлен настураном, коффинитом и частично уранинитом. Благородные металлы связаны с сульфидами и селенидами Pb, Bi, Cu. Условно устанавливается три типа соединений Pd и Bi: интерметаллический, сульфоселенидный и селеносульфидный. В гнездах и прожилках битуминоидов отмечают Pt и Pd. Содержание Pd варьирует от 0,5 до 400 г/т, Pt – от 0,05 до 30 г/т. Выявлены также Ir и Rh, а в отдельных пробах Os. Концентрация Au составляет от 0,01 до 2, в отдельных случаях 250 г/т, а Ag – от 5г/т до 1500 г/т. По многообразию минералов и элемен-

тов месторождения Онежского прогиба уникальны и не имеют близких аналогов ни в нашей стране, ни за рубежом. Месторождения полиминеральны и многокомпонентны. Разработана комплексная гидрометаллургическая технология извлечения урана, ванадия и благородных металлов.

Месторождения относятся к полигенным. Существуют доказательства проявления процессов палеозойской активизации в формировании месторождений Онежского прогиба.

#### Экзогенные месторождения.

Месторождения выветривания. Месторождения зоны окисления полиметаллических месторождений широко распространены в Африке (Тсумб, Брокен-Хилл), встречены в Австралии, России, США. Это небольшие по запасам месторождения, которые концентрируются только в окисленных рудах (до 5,6%). Коренные сульфидные руды содержат ванадий в небольших количествах. Рудные тела имеют трубообразную форму, верхняя часть их сложена окисленными рудами, содержащими минералы ванадия – ванадинит и деклуазит, а также сопутствующие церуссит, смитсонит, малахит, азурит. Глубина зоны окисления – несколько сот метров.

Карнотитовые и роскоэлитовые месторождения в пестроцветных отложениях (алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты) мезозойского чехла (тип «плато Колорадо») распространены во многих странах, но наибольшее значение они имеют в США.

Россыпные месторождения. Крупные прибрежно-морские россыпи ванадийсодержащих титаномагнетитовых песков известны в Новой Зеландии. Подобные россыпи обнаружены на побережье Черного и Каспийского морей, на восточном побережье Камчатки и Курильских островов.

Осадочные месторождения. В пластовых фосфоритах Скалистых гор (США) пермского возраста отмечены концентрации V (до 0,22%).

Повышенной ванадиеносностью характеризуются высокосернистые сорта нефти Урало-Волжской провинции, Венесуэлы и Ирана.

Патронит в асфальтитах успешно обрабатывался в единственном месторождении этого типа Минас-Рагра (Перу). Содержание V около 6%.

Незначительное количество V концентрируется в ряде осадочных месторождений железа ( $V_2O_5$  0,05-0,1), бокситов, углей и углеродисто-кремнистых сланцев (0,1-0,2%  $V_2O_5$ ).

## НИКЕЛЬ

### Общие сведения и области применения

Никель известен с глубокой древности, но промышленное производство началось в первой половине XIX в. Никель используется для покрытия металлических изделий для придания им высокой химической и термической стойкости. Добавка к сталям повышает их вязкость, упругость, антикоррозионные свойства. Применяются также сплавы Ni с Cu, Zn, Al, Cr, монетный сплав содержит 75% Cu + 25% Ni.

### Обзор ресурсов

Мировые запасы Ni (без стран СНГ) около 50 млн. т, а добыча 1 млн. т. Наиболее крупными запасами обладают Новая Каледония, Куба, Канада,

Индонезия, Австралия. Разработка месторождений ведется в 26 странах мира. Основу минерально-сырьевой базы Ni составляют 35 крупных месторождений, в которых сосредоточено 91% мировых разведанных запасов и 95% мировой добычи. Ежегодное производство металлического Ni превышает 850 тыс. т. Основными производителями являются Россия и Канада.

В России преобладающая часть запасов Ni (около 90%) и добычи металла (около 97%) приходится на сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского района. Около 7% запасов Ni заключено в богатых рудах Заполярного месторождения (Кольский полуостров) и Курско-Воронежском регионе. Остальные 3% связаны с силикатными Ni рудами месторождений Урала. В зарубежных месторождениях на силикатные кобальто-никелевые месторождения приходится 66,8%.

В ближайшие годы начнется промышленное освоение железомарганцевых конкреций океанического дна (новый промышленный тип месторождений). Среднее содержание Ni в конкрециях 1,3%, а ресурсы Ni, заключенные в железомарганцевых конкрециях составляют 73 млрд. т.

Все большая часть металла накапливается в «техногенных месторождениях» («хвосты» обогащения, шламы, шлаки, пирротиновые концентраты и некоторые другие отходы горной промышленности и металлургии). Данные по ним приводятся крайне редко.

### **Геохимия и минералогия**

Кларк Ni 0,0058%. Повышенные концентрации Ni наблюдаются в основных и ультраосновных породах. В ультраосновных породах никель связан с оливином, в котором он изоморфно замещает железо и магний. В этих условиях никель характеризуется большим сродством с серой и обособляется в виде сульфидов в ассоциации с медью, кобальтом, платиноидами. Из гранитоидных магм никель может выноситься гидротермальными растворами вместе с Co, As, S, а также Bi, Ag, U и образовывать месторождения арсенидов и сульфидов.

В гипергенных условиях Ni накапливается в корках выветривания массивов серпентинизированных гипербазитов.

Известно 45 минералов Ni. Промышленное значение имеют пентландит  $(Fe,Ni)_9S_8$ , миллерит NiS, никелин NiAs, гарниерит  $Ni_4(OH)_8[Si_4O_{10}]4H_2O$ , ревинскит  $3(Ni,Mg)O \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ . В зонах окисления руд образуется аннабергит, который имеет в основном поисковое значение.

### **Промышленные типы руд и кондиции**

Никель извлекается из двух типов руд: сульфидных (минимальное промышленное содержание – 0,1%) и силикатных, в которых содержание никеля должно быть более 1,3%.

### **Промышленные типы месторождений**

В настоящее время выделяют две группы месторождений – магматические и коры выветривания. Кроме того, никель попутно извлекается из

комплексных плутоногенно-гидротермальных месторождений, принадлежащих рудным формациям – арсенопирит-глаукоdot-кобальтиновой, шмальтин-хлоантит-никелиновой, пятиметальной (Ni, Co, Ag, Bi, U).

### Эндогенные месторождения

*Магматические (ликвационные) месторождения*, формация сульфидных медно-никелевых руд. В них сосредоточено около 30% мировых запасов никеля. В России в сульфидных месторождениях заключено 89% разведанных запасов. Это месторождения Кольского п-ова (Печенга, Мончегорское, Аллареченское), Красноярского края (Норильское, Талнахское (рис. 6), Октябрьское), Воронежского кристаллического массива (Нижнемамонское, Еланское), Северного Прибайкалья (Чайское, Иокон-Давыренское), из зарубежных – Садбери (Канада), Бушвельд (ЮАР), Камбалда (Австралия).

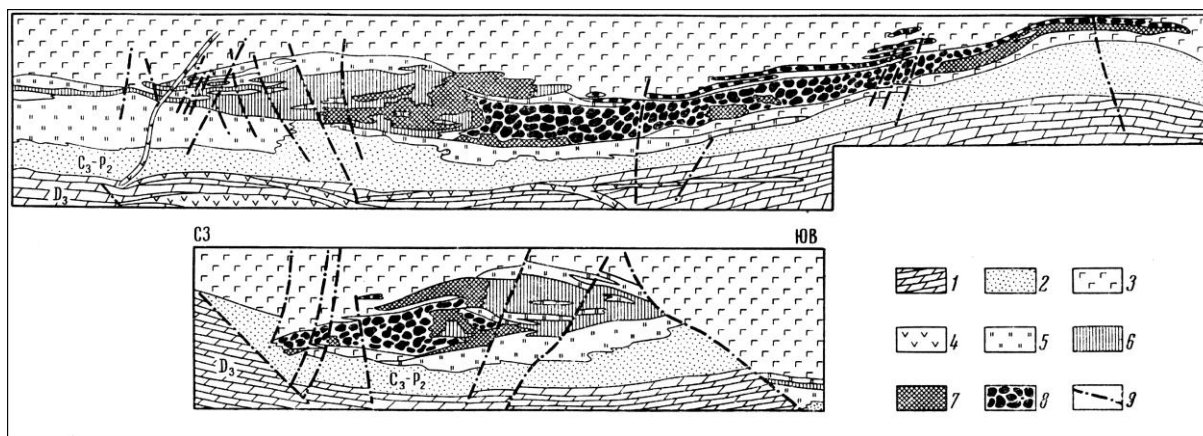


Рис. 6. Схема внутреннего строения залежи сплошных руд в юго-западной части Талнахского месторождения, по Л.Сухову и В. Изюитко (1971): 1 - доломиты, мергели; 2 - песчаники, алевролиты, аргиллиты; 3 - габбро-долериты Талнахской интрузии; 4 - долериты дифференцированных силлов; 5 - контактово-измененные породы; 6 - пентландит-халькопирит-пирротиновые руды; 7 - пентландит-халькопирит-пирротин-кубанитовые руды; 8 - пентландит-кубанит-халькопиритовые руды; 9 - тектонические нарушения.

Месторождения связаны с расслоенными интрузивами базит-гипербазитового ряда. Рудоносные интрузии располагаются в зонах активизации платформ. Они приурочены к архейским зеленокаменным поясам, протерозойским рифтогенным структурам, каледонским и герцинским зонам тектоно-магматической активизации древних платформ. Интрузивные массивы имеют форму лополитов. Рудные тела обычно размещаются внутри рудоносных материнских массивов или в непосредственной близости от них. Это пластообразные, линзообразные, жилообразные тела. Руды вкрапленные, прожилково-вкрапленные, массивные, брекчиевые. В составе руд преобладают пирротин, пентландит, халькопирит, широко развиты кубанит, магнетит, встречаются пирит, миллерит, платиноиды и др. Руды

медно-никелевых месторождений характеризуются комплексным составом: помимо меди и никеля из них извлекаются кобальт, платиноиды, золото, серебро, селен, теллур.

Состав руд месторождений, относительные количества основных рудообразующих элементов и концентрации попутных компонентов определяются, в первую очередь, петрохимическими особенностями рудоносных формаций. Выделяется шесть рудоносных формаций:

габбро-троктолитовая с богатыми медью никелево-медными рудами (дулутский тип), отношение Ni/Cu – 1:10 - 1:12,5;

трапповая (габбро-долеритовая) с обогащенными медью никелево-медными рудами (норильско-галнахский тип), отношение Ni/Cu – 1:1,2 – 1:2,5;

габбро-норит-пироксенит-перидотитовая с медно-никелевыми рудами (мончегорско-бушвельдский, стиллуотерский тип), отношение Ni/Cu – 1:1 – 2:1;

габбро-пироксенит-перидотитовая с обедненными медью медно-никелевыми рудами (печенгский тип), отношение Ni/Cu – 2:1 – 5:1;

пироксенит-перидотитовая с бедными медью медно-никелевыми рудами (камбалдийский тип), отношение Ni/Cu – 5:1 – 25:1;

ортопироксенит-норит-диоритовая с медно-никелевыми и никелевыми рудами (седберийско-еланский тип), отношение Ni/Cu – 10:1.

#### Экзогенные месторождения

*Месторождения коры выветривания* (формация силикатных никелевых руд) формируются при латеритном выветривании ультрабазитов. По форме и условиям залегания выделяют три морфологических типа месторождений: площадные; линейные (линейно-трещинные и контактово-карстовые); линейно-площадные. Месторождения площадного типа характеризуются плащеобразной формой, мощность их 3-20 м. Нижний контакт имеет сложные очертания из-за многочисленных карманообразных углублений. Никелевые месторождения линейного типа свойственны районам с развитыми зонами тектонических нарушений. Рудные тела имеют сложную морфологию, нередко образуют параллельные крутопадающие тела мощностью от 1 до 50 м.

Никель представлен гарниеритом, ревинскимитом, непуйтом, частично сорбируется глинами и входит в состав нонтронита, вермикулита, хлорита, ассоциирует с асболоманом. Несколько раньше никеля и кобальта на более высоких уровнях осаждаются гидроксиды железа, а позже других и глубже выпадает магний с образованием магнезита.

Полезными компонентами руд являются никель и кобальт, соотношения между которыми колеблются в широких пределах от 10:1 до 30:1.

На территории России месторождения силикатных никелевых руд имеют ограниченное значение. Промышленные никеленосные коры известны на Среднем и Южном Урале (Кемпирсайское, Серовское, Сахаринское, Погожинское, Черемшанское). Наиболее крупные месторождения расположены в современной тропической зоне. Это всемирно известные



месторождения Новой Каледонии, Филиппин, Австралии, Кубы, Бразилии и других стран (рис. 7).

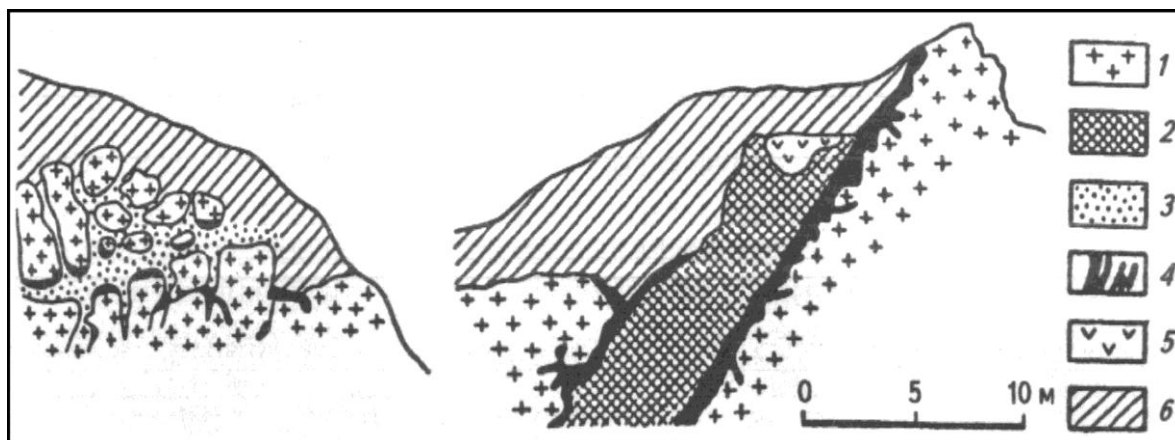


Рис. 7. Два разреза гарниеритовых месторождений в Новой Каледонии (по Е.Глассеру): 1 - серпентиниты, перидотиты; 2, 3 - руды: 2 - брекчиевые, 3 - брекчиевидные и порошковатые; 4 - скопления зеленого гарниерита; 5, 6 - красная земля: 5 - никеленосная, 6 - безрудная.

## КОБАЛЬТ

### Общие сведения и области применения

Кобальтовые краски использовались в глубокой древности. Металлический кобальт впервые получен в 1735 г. Резкое возрастание потребления кобальта относится к началу XX в. В настоящее время свыше 40% Co используется для производства сплавов и суперсплавов, сверхтвердых сплавов Co с Ni, Fe, Cr, W, Mo.

### Обзор ресурсов

Мировые запасы Co (без стран СНГ) около 4 млн. т. Наиболее богаты кобальтом Заир, Куба, Замбия, Новая Каледония, Канада, Австралия, Филиппины, Индонезия. В недрах этих стран заключено 83% общих и 87% подтвержденных запасов кобальта.

Россия располагает значительными запасами кобальта, сосредоточенных в Норильском рудном районе (72% общих запасов кобальта России), в Печенгском рудном поле (Мурманская область), в Уфалейском рудном районе Урала (в силикатных кобальто-никелевых рудах заключено 12% запасов кобальта России). В месторождениях кобальт-арсенидных руд (Хову-Аксы в Туве) запасы кобальта невелики, но содержание достигает первых процентов.

### Геохимия и минералогия

Кларк Co 0,0018%. Концентрируется кобальт в ультраосновных и основных породах. Постмагматические месторождения кобальта связаны с умеренно кислыми гранитоидами.

Наибольшее промышленное значение имеют следующие минералы кобальта: кобальтистый пентландит  $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_9\text{S}_8$ , линнеит  $\text{Co}_3\text{S}_4$ , кобальтин  $\text{Co}[\text{AsS}]$ , глаукодот  $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$ , саффорит  $\text{Co}_4[\text{As}_{4-x}]_3$  шмальтин  $(\text{Co}, \text{Ni})_4[\text{As}_{4-x}]_3$ , асболан  $m(\text{Co}, \text{Ni})\text{O} \cdot n\text{MnO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ , для зон окисления типичен эритрин  $\text{Co}_3\text{As}_3\text{O}_8 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ , который имеет в основном поисковое значение.

### Промышленные типы месторождений

Выделяется четыре геолого-промышленных типа месторождений: кобальт-никелевые латеритные (48,5% общих запасов кобальта); медно-кобальтовые стратиформные (43,1% запасов); сульфидные медно-никелевые (7,2%) и кобальтовые арсенидные (0,1%). Кроме этого кобальт попутно извлекают из колчеданно-полиметаллических, скарново-магнетитовых и некоторых других типов руд (1% мировых запасов Co).

Крупномасштабные процессы концентрации кобальта происходят на дне Мирового океана в кобальтоносных корках и железо-марганцевых конкрециях. Среднее содержание Co в железо-марганцевых конкрециях составляет 0,27%, а в корках – 0,9%. По прогнозным оценкам промышленная разработка их может обеспечить до 14% мирового производства кобальта.

### Эндогенные месторождения

*Магматические (ликвационные) месторождения* (формация сульфидных медно-никелевых кобальтсодержащих руд). Содержание кобальта в рудах этих месторождений составляет 0,06-0,11%. Характеристика месторождений приводится в разделе «Никель».

*Скарновые месторождения.* Железорудные месторождения в известковых скарнах с кобальтсодержащими пиритами известны в Казахстане (Соколовско-Сарбайская группа), Азербайджане (Дашкесанское месторождение), Хакасии (Абаканское месторождение). В общем балансе запасов и производства кобальта роль их ничтожна.

*Гидротермальные (плутоногенные) месторождения* связаны с гранитоидными интрузиями. Рудные тела в виде жил и штокверков локализованы в осадочных, метаморфизованных породах. Руды богаты кобальтом (содержание достигает нескольких процентов), но их экономическое значение невелико (0,5% запасов; 1,5% добычи).

Среди плутоногенно-гидротермальных месторождений выделяются три рудные формации: шмальтин-хлоантит-никелин-аргентитовая (Хову-Аксы, Тува); арсенопирит-глаукодот-кобальтиновая (Бу-Аззер, Марокко); пятиэлементная Co, Ni, Bi, Ag, U (Эльдорадо, Канада).

*Стратиформные месторождения.* Стратиформные медно-кобальтовые месторождения Замбии и Заира – один из основных источников кобальта (более 44% запасов, почти 43% добычи). Руды характеризуются высоким содержанием кобальта 0,3%. Характеристика их приводится в разделе «Медь».

## Экзогенные месторождения

*Месторождения выветривания* (формация асболоновых руд). Латеритные никелевые месторождения заключают в себе более 46% запасов кобальта и обеспечивают свыше 41% его добычи. Наиболее крупные месторождения находятся в Новой Каледонии, Индонезии, Кубе. Содержание Со в рудах не менее 0,1%.

## МОЛИБДЕН

### Общие сведения и области применения

Молибден был открыт в 1778 г., но широкое применение в промышленности он нашел только в XX в. Свыше 80% всего добываемого молибдена используется в металлургической промышленности в основном для легирования сталей и получения суперсплавов. Молибденовые стали приобретают высокую твердость, вязкость, тугоплавкость, кислотоупорность и ряд других ценных свойств. Металлический молибден используется в производстве электроламп, электровакуумных приборов. Кроме этого он употребляется в химической, нефтеперерабатывающей, керамической, стекольной и других отраслях промышленности.

### Обзор ресурсов

Мировые запасы молибдена (без стран СНГ) – 7 млн. т. Основная их часть (86%) находится на территории США, Чили, Китая, Канады. Годовое производство – 100 тыс. т. Главные производители молибденовых концентратов - США, Чили, Канада, Перу, Китай.

Запасы молибденовых руд выявлены в странах СНГ – это Россия, Казахстан, Армения. В России известно 9 месторождений, 7 из них крупные: Джидинская группа, месторождение Жирекен, Сорское, Тырныауз и др.

Качество руд месторождений России довольно низкое. Среднее содержание Мо в рудах невелико. Месторождения находятся на удалении от промышленных центров переработки молибденовых концентратов. Однако, на территориях Мурманской, Свердловской, Челябинской областей и особенно на Дальнем Востоке известно большое количество недостаточно изученных месторождений со значительными прогнозными ресурсами.

### Геохимия и минералогия

Кларк Мо - 0,0001%. Повышенные концентрации его связаны с кислыми и умеренно-кислыми породами, из которых он выносится постмагматическими гидротермальными растворами. При этом концентрации молибдена в магматических породах повышаются от более древних к молодым массивам. Молибден – типичный халькофильный элемент. Устанавливается две геохимические ассоциации: в гранитах – Мо, W, Sn, Bi, Be, As и гранодиоритах – Мо и Cu.

Известно около 20 молибденовых минералов. Главное промышленное значение имеет молибденит  $\text{MoS}_2$  (часто содержит примесь Re), вульфенит  $\text{PbMoO}_4$ , повеллит  $\text{CaMoO}_4$ , последние являются вторичными минералами зоны окисления.

### Промышленные типы руд и кондиции

1. Молибденоносные скарны, содержание Мо 0,1-0,2%; кроме Мо часто содержат W, Bi.

2. Молибденоносные грейзены и кварц-молибденовые жилы, содержание Мо 0,5-1%, руды комплексные, в них присутствуют W, Sn, Be.

3. Вторичные кварциты, содержание Мо превышает 0,01-0,1%, главный сопутствующий металл – Cu.

В богатых рудах содержание Мо превышает 0,5%, в бедных 0,1-0,2%, в комплексных рудах промышленный интерес могут представлять содержания 0,1-0,02%.

### Промышленные типы месторождений

Молибден извлекается из скарновых, грейзеновых и гидротермальных месторождений, в которых заключено 94% запасов. Как попутный компонент он отмечается в вулканогенных месторождениях урана, некоторых пегматитах, колчеданных месторождениях, углисто-кремнистых сланцах и углях.

### Эндогенные месторождения

*Скарновые месторождения* (формация молибденоносных скарнов). На долю скарновых месторождений приходится 2,1% суммарных подтвержденных запасов молибдена зарубежных стран. Для России значимость этого типа месторождений значительно выше – 10% запасов и 20% добычи.

Месторождения образуются в экзоконтактовых зонах гранитоидных массивов среди пород карбонатного или алюмосиликатного состава. Состав руд обусловлен составом и особенностями формирования рудоносных интрузий. Наиболее распространены молибденово-вольфрамовые скарновые месторождения, находящиеся в непосредственном контакте гранитоидных пород. Скарновые залежи характеризуются обычно небольшими размерами, сложной морфологией. В отличие от них залежи, образованные при замещении пластов карбонатных пород, более крупные, выдержанные. Рудные тела представлены гранат-пироксеновыми скарнами с эпидотом, везувианом. Главные рудные минералы – молибденит, шеелит, халькопирит, пирит, магнетит; второстепенные – сфалерит, галенит, блеклые руды; редкие – самородные висмут, серебро, золото. Содержание Мо колеблется на уровне 0,2-0,5%, содержание  $WO_3$  0,5%.

Наиболее известное скарновое месторождение в России - Тырныауз на Северном Кавказе (рис.8). Месторождения известны в Хакасии, Казахстане, Китае, Средней Азии, США.

*Грейзеновые* месторождения для Мо имеют небольшое практическое значение. В основном это комплексные W-Мо месторождения, а также W-Sn с молибденом, висмутом и редкими металлами. Грейзеновые месторождения образуют жильные, штокверковые тела или залежи трубообразной формы. Оруденение локализуется в купольных структурах рудоносных гранитоидов, проникая в них на 300-500 м и в надкупольных роговиках.

Молибденовые, часто вольфрам-молибденовые грейзеновые месторождения известны в Забайкалье (Первомайское), Центральном Казахстане (Восточный Коунрад, Акчатау).

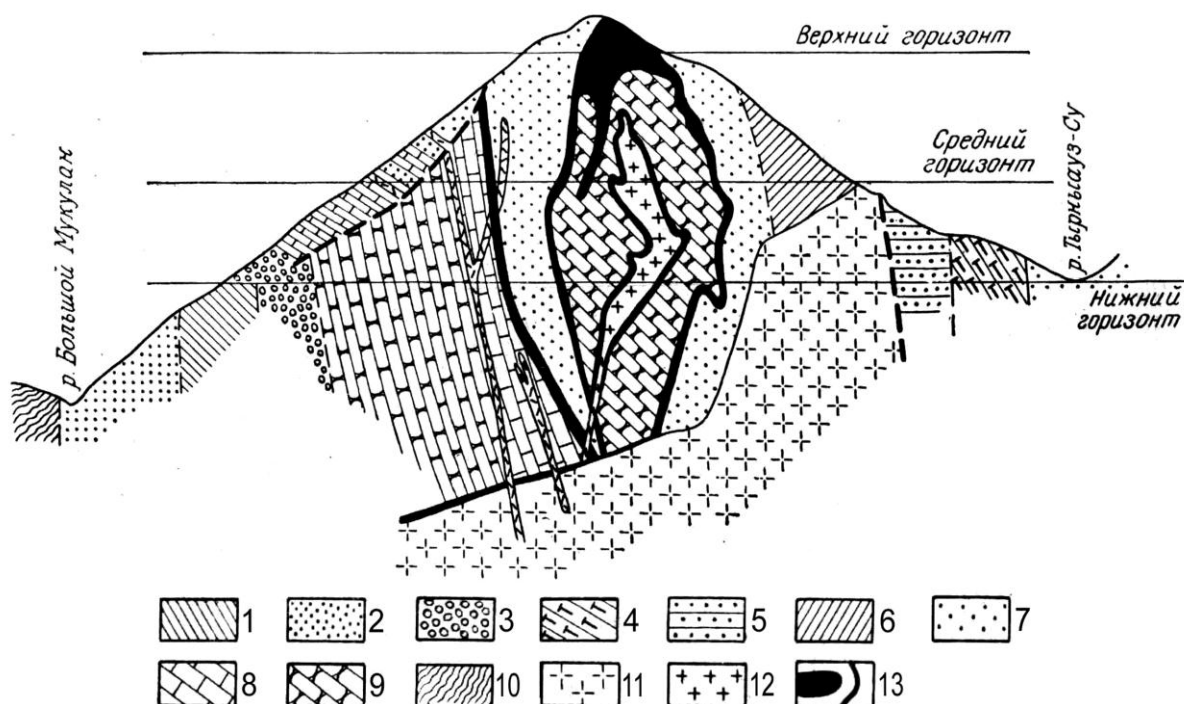


Рис. 8. Схематическая геологическая карта рудного поля Тырнауз, по А. Пэку (1962): 1 - черные сланцы; 2 - песчаники; 3 - конгломераты; 4- вулканогенные породы; 5 - аркозовые песчаники; 6 - кварцевые плагиопорфиры; 7 - биотитовые роговики; 8- слоистые мраморы; 9 - массивные мраморы; 10- мигматиты; 11- эльджуртинские граниты; 12- лейкократовые граниты; 13 - скарны.

Гидротермальные (плутоногенно-гидротермальные) месторождения составляют основу минерально-сырьевой базы молибдена. Среди них выделяются две главные формации: формация кварц-молибденитовых жильных руд и формация кварц-молибденит-халькопиритовая штокверкового типа.

Месторождения кварц-молибденитовой формации тяготеют к ореолам гранитов, расположены чаще в зоне эндоконтакта интрузий, представлены жилами и штокверками. Главный рудный минерал – молибденит, иногда с вольфрамитом; второстепенные – касситерит, шеелит, пирит, арсенопирит, висмутин; жильные – кварц, калиевый полевой шпат и плагиоклаз; второстепенные – мусковит, турмалин, флюорит. Вмещающие граниты часто грейзенизированы. Вертикальная зональность обычно заключается в смене снизу вверх молибденового оруденения вольфрам-молибденовым.

Месторождения этой формации распространены на Дальнем Востоке, в Забайкалье, Горном Алтае, Казахстане.

Формация прожилково-вкрапленных руд. Среди них выделяется два типа: штокверковые медно-молибден-порфировые (:67,8% запасов Мо зарубежных стран) и штокверковые собственно молибден-порфировые месторождения (24% запасов). Оба типа характеризуются высокой степенью концентрации запасов. Крупнейшие месторождения медно-молибденовых руд известны в Чили (Чукикамата и Эль-Тениенте), а молибден-порфировые в США (Клаймакс и Гендерсон).

Оруденение связано со штоками порфировых интрузий и локализовано в эндо- и экзоконтактных зонах. Рудные тела представлены штокверками. Границы проводятся по данным опробования. Штокверки имеют размеры в поперечнике от сотен метров до первых километров. В них развиты кварц-сульфидные прожилки мощностью от 1-2 мм до 2-3 см, а также вкрапленность сульфидов.

Минеральный состав руд собственно молибденовых месторождений определяется наличием молибденита, ассоциирующего с пиритом. Медно-молибденовые отличаются более сложным минеральным составом руд: в них развиты халькопирит, борнит, блеклые руды, галенит, сфалерит. Главные жильные минералы - кварц и серицит.

Среднее содержание Мо в молибден-порфировых месторождениях колеблется от 0,05 до 0,5%, в медно-молибден-порфировых от 0,005 до 0,025%. В рудах в переменных количествах содержатся Au, Ag, Re, Se, Te, Bi.

Молибден-порфировые месторождения известны в Забайкалье (Жирекен), крупнейшие в США (Клаймакс, Гендерсон), большие запасы известны в Канаде, Китае, Монголии. Медно-молибден-порфировые широко распространены в мире. В России наиболее значительным является Сорское месторождение в Кузнецком Алатау, в Армении (Каджаран и др.). Наиболее крупными в мире являются месторождения Чили (Чукикамата, Эль-Тениенте и др.), Канады, США, Мексики, Китая.

## **ВОЛЬФРАМ**

### **Общие сведения и области применения**

Вольфрам в виде соединения  $WO_3$  был открыт в 1781 г, а промышленное использование его для легирования сталей началось с конца XIX в. Вольфрам применяется в производстве специальных сталей, присадка вольфрама к стали повышает ее твердость, прочность, тугоплавкость, это быстрорежущие, инструментальные, броневые стали, используемые в изготовлении оружия и снарядов. Вольфрам в сочетании с Cr, Ni, Co используется для изготовления жаропрочных и сверхтвердых сплавов – победитов, карбидов, боридов.

### **Обзор ресурсов**

Общие запасы W в 40 странах мира (без России) оцениваются в 6,8 млн. т, разведанные составляют 3,6 млн. т. Ежегодное производство воль-

фрамовых концентратов 18-20 тыс. т. Наиболее крупные запасы находятся в Китае (34% запасов), Казахстане (18%), Канаде, США, Боливии, Южной Корее и Великобритании.

Россия занимает III место по запасам вольфрама (18%). Свыше 40% запасов находится на Северном Кавказе, 30% в Забайкалье, 10% в Приморье, 10% в Якутии. В России известно более 90 вольфрамовых месторождений, причем на долю 50 коренных месторождений приходится 99% суммарных запасов W и лишь 1% запасов заключено в россыпных месторождениях.

### **Геохимия и минералогия**

Кларк W 0,0013%. Эндогенные концентрации W связаны с гранитными магмами. Вольфрам легко образует летучие соединения с фтором, хлором, бором и выносится гидротермальными растворами. Устойчивость минералов вольфрама в экзогенных условиях определяет возможность формирования россыпных месторождений.

Основное промышленное значение среди минералов вольфрама имеют вольфрамит  $(\text{Mn,Fe})[\text{WO}_4]$ , ферберит  $\text{Fe}[\text{WO}_4]$ , гюбнерит  $\text{Mn}[\text{WO}_4]$  и шеелит  $\text{Ca}[\text{WO}_4]$ .

### **Промышленные типы руд и кондиции**

1. Шеелитовые руды скарнов, содержание  $\text{WO}_3$  в них 0,3-0,5%, руды комплексные, содержат помимо шеелита молибденит, примеси висмута, золота, меди.
2. Кварц-вольфрамитовые руды, содержание  $\text{WO}_3$  1-2% и больше, кроме вольфрамита содержат касситерит, шеелит, молибденит, берилл.

Минимальное содержание  $\text{WO}_3$  в рудах, приемлемое для промышленной отработки, 0,3-0,5%.

### **Промышленные типы месторождений**

Среди промышленных месторождений W выделяются следующие типы: скарновые, грейзеновые, гидротермальные плутоногенные и вулканогенные, стратиформные, россыпные.

*Скарновые месторождения.* Рудные тела приурочены к известковым скарнам, развивающимся вдоль интрузивных контактов. Рудные тела имеют форму пластообразных залежей, линз, гнезд. Протяженность рудных тел измеряется сотнями метров, иногда достигает первых километров, по падению они прослеживаются на несколько десятков, иногда сотен метров при мощности от 1-2 до 50 м.

Рудная минерализация приурочена к пироксеновым и гранат-пироксеновым скарнам. Руды характеризуются комплексным составом, среди них выделяются олово-вольфрамовые, молибден-вольфрамовые и полиметаллически-вольфрамовые. Кроме W, Sn и Mo в рудах содержатся Au, Cu. Главные рудные минералы – шеелит, молибденит, касситерит; в меньших количествах присутствуют магнетит, пирротин, пирит, висмутин, халькопирит, галенит и сфалерит.

Скарновые месторождения имеют важное промышленное значение, в них сосредоточено около 25,6% запасов вольфрама (55% разведанных запасов России), добыча составляет 32%. Наиболее известные скарновые месторождения находятся в Приморье (Восток II – рис. 9, Лермонтовское), на Кавказе (Тырныауз), в Средней Азии (Лянгар, Ингичке, Чорух-Дайрон), в Китае, Канаде, США.

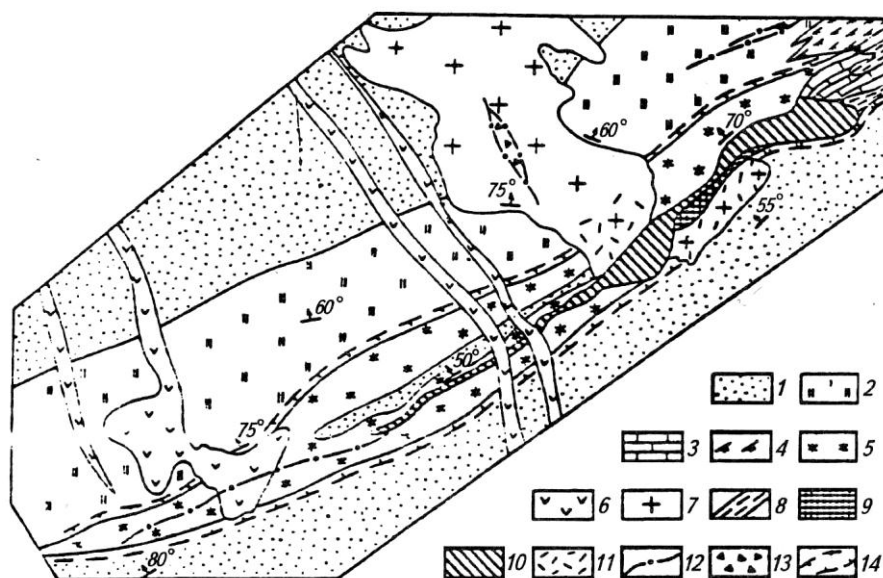


Рис.9. Схема геологического строения месторождения Восток-II (по А.Н.Ивахину, с дополнениями Б.С.Чернова): 1 - песчаники; 2 - кремнистые породы; 3 - известняки; 4 - спессартиты; 5 - роговики; 6 - гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры, диоритовые и диабазовые порфириды; 7 - гранодиориты, плагиограниты; 8 - скарны; 9 - шеелит-кварцевые руды; 10 - шеелит-сульфидные руды; 11 - грейзенизация; 12 - разломы; 13 - зоны брекчий; 14 - границы рудовмещающего горизонта.

*Грейзеновые месторождения* вольфрама генетически связаны с кислыми и ультракислыми лейкократовыми гранитами, обогащенными летучими компонентами: F, V, иногда калием и редкими щелочами. Оруденение приурочено к выступам, куполам и может быть локализовано как в самих куполах, так и породах кровли. Рудные тела имеют форму штоков, штокверков, реже жил или жильных зон. Последние прослеживаются по простиранию на десятки и сотни метров и до 300-500 м на глубину при мощности 0,3-0,5, реже до 1 м. Вмещающие породы грейзенизированы, наибольшим развитием пользуются кварц-топазовые, кварц-слюдистые, кварцевые грейзены.

В большинстве случаев месторождения имеют комплексный состав руд: олово-вольфрамовый или молибден-вольфрамовый. Главные минералы руд – вольфрамит, молибденит, касситерит. Жильные минералы представлены кварцем, слюдами, плагиоклазом, микроклином, топазом, турмалином, флюоритом. Помимо Sn и Mo попутными компонентами являются Bi, Nb, Ta, Be, Au.



Грейзеновые месторождения играют существенную роль в балансе запасов вольфрама (42% запасов вольфрама зарубежных стран, 25% запасов России), но обеспечивают всего 6% добычи.

К числу наиболее известных районов их локализации относятся Забайкалье (Спокойнинское месторождение), Казахстан (Акчатау, Кара-Оба), Рудные горы Чехии и Германии, Монголия, Китай, Австралия.

*Гидротермальные (плутоногенные) месторождения* по составу руд, условиям локализации тесно связаны с грейзеновыми месторождениями. В отличие от последних они располагаются на большем удалении от куполовидных выступов рудоносных интрузивов. Нередко эти два типа совмещаются в одном месторождении, будучи связанными постепенными переходами.

Рудные тела представлены штокверками, чаще жилами. Протяженность жил составляет десятки и сотни метров, а их свиты прослеживаются на несколько километров. Средняя мощность – 0,5-1 м, глубина по падению – 300-500 м.

Руды характеризуются комплексным составом, среди них выделяются кварц-вольфрамитовые, кварц-гюбнеритовые, касситерит-вольфрамитовые, кварц-сульфидно-вольфрамит-гюбнеритовые. Главные минералы руд – вольфрамит, касситерит, молибденит, висмутин; в меньшем количестве пирротин, пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит. Жилы сложены в основном кварцем, которому сопутствуют турмалин, плагиоклаз, мусковит, микроклин, топаз, флюорит, апатит.

Вмещающие породы грейзенизированы, участками наблюдается турмалинизация, окварцевание, березитизация. Иногда на месторождениях наблюдается зональность, связанная со сменой кварц-вольфрамитовой ассоциации сульфидной, кварц-флюоритовой и пострудной карбонатной.

Плутоногенные месторождения пользуются широким распространением, в них находится около 15% разведанных запасов и более 50% добычи вольфрама. Наиболее известные месторождения находятся на Чукотке (Иультин), в Забайкалье (Холтосон – рис. 10, Букука), Казахстане, Португалии, Великобритании, Франции, Канаде, Австралии.

*Гидротермальные (вулканогенные) месторождения* - редкий тип месторождений. Месторождения характеризуются комплексным составом руд (Sn-W-Bi, Sn-Ag-W, Hg-Sb-W), в которых вольфрам имеет обычно подчиненное значение. Месторождения располагаются в областях современного и молодого вулканизма и обнаруживают связь с вулканитами андезит-дацит-риолитового состава. Рудоносными структурами служат вулканические купола, жерловые зоны. Рудные тела представлены штокверками и жильными зонами. Наиболее существенными по масштабам являются месторождения боливийского типа, охарактеризованные в разделе «Олово». Помимо этого известны месторождения ки-

новарь-антимонит-шеелит-ферберитовые, которые как вольфрамовые большого значения не имеют.

*Стратиформные месторождения.* Этот тип месторождений выделен сравнительно недавно – с 70-х годов. Существуют противоречивые точки зрения на генезис рудных объектов, не имеющих связи с магматическими формациями.

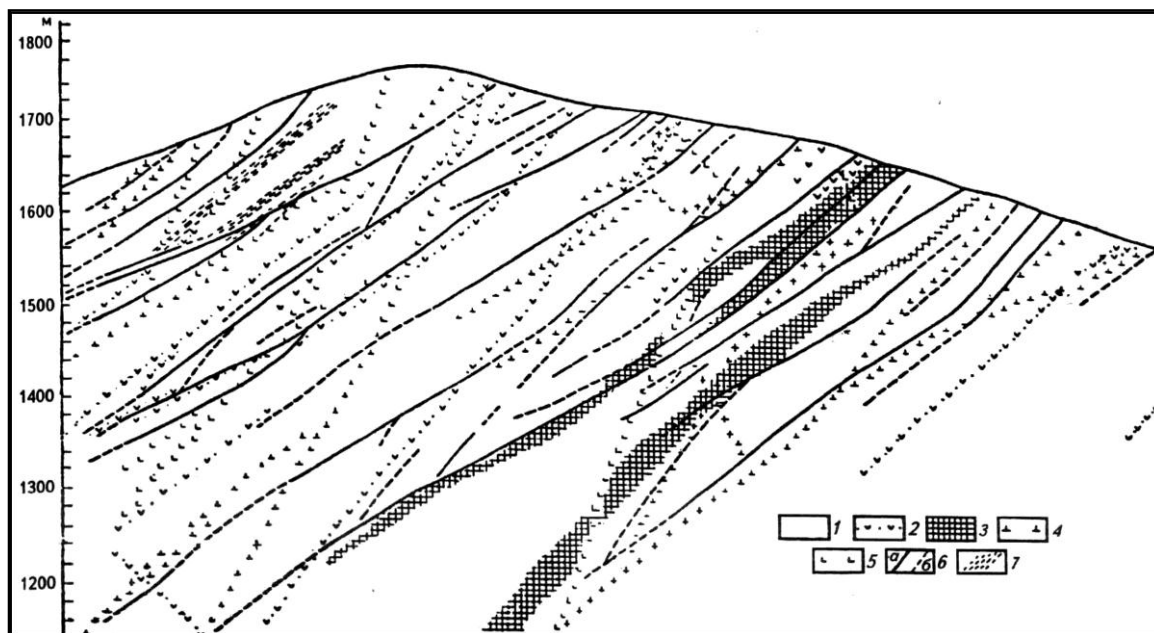


Рис.10.Схематический геологический разрез через центральную часть Холтосонского месторождения (по А.Щеглову и Т.Буткевичу): 1 - кварцевые диориты; 2 - микродиориты и диоритовые порфириты; 3 - бостониты; 4 - серые сиениты; 5 - серые кварцевые сиенит-порфиры; 6 - установленные (а) и предполагаемые (б) кварц-сульфидно-гюбнеритовые жилы; 7 - тектонические зоны и нарушения.

### Экзогенные месторождения

*Россыпи* вольфрама тесно связаны с коренными грейзеновыми и плутоногенными гидротермальными месторождениями, расположены в непосредственной близости от них и обрабатываются часто совместно с ними. Элювиальные и аллювиальные россыпи характеризуются небольшими масштабами. Содержание вольфрамита в них от 0,3 до 20 кг/м<sup>3</sup>. Месторождения известны в Магаданской области, Якутии, Забайкалье (Шерлова Гора), Казахстане, Китае, Бирме, Таиланде, США.

## РАЗДЕЛ III. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ МЕДЬ

### Общие сведения и области применения

Медь известна с древнейших времен – это один из первых металлов, освоенный человеком. Период широкого освоения плавки меди и бронзы в III-II тысячелетии до н.э. получил название «бронзового века».

Медь обладает комплексом замечательных свойств – высокой электропроводностью, химической устойчивостью, пластичностью, способностью образовывать сплавы с различными металлами. Наиболее широко применяются сплавы меди с оловом (бронза) и цинком (латунь), с никелем (мельхиор) и алюминием (алюминиевые бронзы). Сплавы используются в электротехнике, средствах связи, транспорте, машиностроении, пищевой и химической отраслях промышленности. По объему производства и потребления медь занимает третье место после железа и алюминия.

### **Обзор ресурсов**

Общие запасы меди в 92 зарубежных странах превышают 800 млн. т, в том числе подтвержденные – 550 млн. т. Наиболее крупными запасами владеют Чили, США, Китай, Польша, Перу, Замбия, Канада, Заир, Австралия. По разведанным запасам Россия занимает III место в мире. В России запасы меди учтены на 121 месторождении, 72 из которых являются собственно медными, остальные – комплексными; основные запасы сосредоточены на Урале, в Западной Сибири, Прибайкалье.

Всего в мире добывается свыше 9,3 млн. т меди. Основными производителями являются Чили, США, Канада.

### **Геохимия и минералогия**

Кларк Cu 0,0047<sup>3</sup>%. В основных породах содержание меди выше, чем в кислых. Тем не менее, промышленные концентрации меди возникают как в связи с основным, так и кислым магматизмом.

В экзогенных условиях медь характеризуется высокой миграционной способностью.

Известно более 170 минералов меди, промышленное значение имеют: самородная медь, халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ , борнит  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ , халькозин  $\text{Cu}_2\text{S}$ , ковеллин  $\text{Cu}_2\text{S}$   $\text{CuS}_2$ , теннантит  $3\text{Cu}_{12}\text{SAs}_4\text{S}_{13}$ , тетраэдрит  $3\text{Cu}_{12}\text{SSb}_4\text{S}_{13}$ , куприт  $\text{Cu}_2\text{O}$ , тенорит  $\text{CuO}$ , малахит  $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$ , азурит  $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$ .

### **Типы руд и кондиции**

Медь извлекается из сульфидных руд (до 80%). Остальная добыча приходится на карбонаты, оксиды, силикаты и самородную медь. Минимальное промышленное содержание – 1%, при больших запасах комплексных руд допускается как приемлемое для промышленной отработки содержание 0,5%.

### **Промышленные типы месторождений**

Месторождения меди весьма разнообразны. Среди промышленных месторождений выделяют: магматические, карбонатитовые, скарновые, гидротермальные плутоногенные (меднопорфировые), колчеданные, стратиформные (медистые песчаники и сланцы).

В России основное значение по запасам и добыче имеют месторождения четырех типов: медно-никелевые, медно-порфировые, медно-колчеданные и медистых песчаников и сланцев.

## Эндогенные месторождения

*Магматические месторождения.* В этой группе выделяется два неравноценных типа: сульфидные Cu-Ni месторождения базит-гипербазитовых формаций; Cu-Ti (или ванадиево-железо-медные) месторождения в габброидах.

В месторождениях первого типа (формация сульфидных медно-никелевых руд) сосредоточено 1,8% запасов меди зарубежных стран. Значительно более существенное значение они имеют в балансе запасов и добыче меди в России (почти 45%). Характеристика этих месторождений приводится в разделе «Никель». Два из этих месторождений – Талнахское и Октябрьское - относятся к числу уникальных по запасам меди.

Медно-титановые месторождения немногочисленны и невелики по запасам меди. Они связаны с дифференцированными массивами габброидов платиноносного пояса Урала, где известно несколько небольших объектов. Наиболее известное и типичное – крупное Волковское месторождение на Урале (2,5% общероссийских запасов меди). Медные руды образуют зону протяженностью свыше 3 км. На месторождении насчитывается около 200 рудных тел, большая часть их сложена медносульфидными, титаномагнетитовыми и апатитовыми рудами. Главные минералы – борнит, халькопирит, немного халькозина, ванадийсодержащий титаномагнетит, апатит. Медносульфидное оруденение имеет вкрапленный характер. Среднее содержание Cu 0,65%. Главным промышленным компонентом является медь, существенное значение имеют Fe, V, Ti и P. Отмечены примеси Au, Ag, Pd, Pt, Se и Te.

*Карбонатитовые месторождения.* Этот тип месторождений был выделен недавно благодаря открытию уникального по запасам, но пока единственного в мире промышленного месторождения Палабора в ЮАР. Это комплексное месторождение, приуроченное к массиву ультраосновных щелочных пород, представляющему трубообразное тело диаметром 0,5-0,7 км, прорывающее архейские граниты. Карбонатиты находятся в центральной части массива. Медная минерализация локализована в карбонатитах и представлена прожилками и зонами вкрапленности. Главные минералы меди – борнит, халькопирит, кубанит. Отмечаются примеси других минералов – ториянит, бадделлит и др. Среднее содержание Cu – 0,68%. Рудное тело прослежено до глубины 900 м. Запасы Cu – 1,5 млн. т. Помимо Cu, магнетита и апатита из руд извлекают U, Th, Au, Ag.

*Скарновые месторождения* формируются в экзоконтактовых зонах гранитоидных интрузий, прорывающих известняки. Возникающие в этих условиях известковые скарны гранат-пироксенового состава образуются и по вмещающим породам и по гранитоидам. Промышленные рудные тела характеризуются сложной морфологией, небольшими размерами, комплексным составом руд. В этих месторождениях обычно сочетание борнит-халькопиритового и магнетитового оруденения. Руды прожилково-вкрапленные. Содержание меди высокое, но неравномерное, в среднем 1,5-3%. Сопутствующими компонентами являются Fe, Au, Co, Ag, Se, Te, Mo.

Скарновые месторождения многочисленны, но обычно невелики по масштабам. Доля их в мировых запасах 3,2%, в России роль этого типа более существенна.

К скарновым относятся месторождения Турьинской группы на Урале, Юлия в Западной Сибири, Саякское в Казахстане, месторождения США, Мексики, Перу и др.

*Гидротермальные плутоногенные месторождения.* Среди плутоногенных гидротермальных месторождений выделяют меднопорфировые, связанные с гипабиссальными порфировыми интрузиями умереннокислого состава и жильные. Меднопорфировые месторождения играют главенствующую роль в запасах и добыче меди таких стран, как Чили, США, Перу, Мексика, Индонезия, Иран, Филиппины. Им свойственен ряд особенностей: связь оруденения с порфировыми интрузиями гранитоидного состава; прожилково-вкрапленный штокверковый характер минерализации, развитой в эндо- и экзоконтактных зонах порфировых штоков; устойчивый минеральный состав руд (главные минералы – пирит, халькопирит, магнетит, молибденит); относительно низкие содержания меди в первичных рудах; выдержанная зональность оруденения и гидротермально измененных пород; крупные и гигантские масштабы; комплексный многометалльный состав руд, их высокая технологичность, пригодность для обработки большими карьерами. Они составляют 61,9% мировых подтвержденных запасов.

Наблюдается зависимость состава руд от состава рудоносных интрузий, в связи с чем выделяются молибден-медно-порфировые, медно-молибден-порфировые, собственно молибден-порфировые, медно-порфировые и золото-медно-порфировые.

Рудные тела меднопорфировых месторождений располагаются в апикальной части рудоносных штоков: 65% в эндоконтактных зонах, 25% - в их ближайшем экзоконтакте (300-500 м), 10% - в далеком экзоконтакте (500-1500 м). Они представляют собой систему пересекающихся прожилков и рассеянной рудной вкрапленности среди гидротермально измененных пород рудоносных штоков и вмещающих образований. Форма штокверков в плане различна, чаще всего это изометричные тела, овальные, кольцевые, иногда линейно-вытянутые. Рудные тела не имеют четких границ и оконтуриваются по данным опробования.

В качестве попутных компонентов, кроме Mo и Au, из руд извлекают Ag, As, Se, Te, Re и другие элементы.

Минеральный состав руд: пирит, халькопирит, молибденит, в небольших количествах присутствуют сфалерит, галенит, часто магнетит. Встречаются борнит, энаргит, блеклые руды, халькозин. Из нерудных наиболее широко распространены кварц, серицит, биотит, минералы группы каолина. Среднее содержание Si в первичных рудах 0,2-0,7%.

Размеры рудных залежей обычно велики, площадь их нередко измеряется квадратными километрами, объемы достигают  $1\text{ км}^3$ , а иногда и больше.

Меднопорфировым месторождениям свойственна зональность. Центральные зоны характеризуются слабым проявлением Cu-Mo оруденения. Внутренние зоны окружают центральные в виде колпака. Здесь наблюдаются процессы интенсивного окварцевания, серицитизации, хлоритизации пород. В этих зонах сосредоточены основные промышленные концентрации медных и медно-молибденовых руд. Внешние зоны характеризуются развитием аргиллизации, алунификации, интенсивной пропилитизации вмещающих пород. В этих зонах локализована в основном жильная полиметаллическая минерализация.

Важную роль для оценки меднопорфировых месторождений играет развитие процессов окисления, формирующих вторичную вертикальную зональность руд. Зона окисления сложена малахитом, азуритом, купритом, хризоколлой; зона вторичного сульфидного обогащения, мощность которой иногда достигает 200-300 м, сложена халькозином, ковеллином. В последней зоне содержание меди в 1,5-2,5 раза выше, чем в первичных рудах.

Меднопорфировые месторождения широко распространены. В мире их известно около 150. Выделяется три пояса распространения меднопорфировых месторождений: Тихоокеанский (Чили, Перу, США, Мексика, Канада), здесь сосредоточена преобладающая часть запасов; Средиземноморский (Югославия, Болгария, Армения, Турция, Иран, Афганистан); Казахстано-Монгольский (Казахстан, Узбекистан, Китай). В числе наиболее известных месторождений могут быть названы Коунрад (Казахстан), Песчанка (Россия), Чукикамата, Эль-Тениенте (Чили), Бингем (США) и др.

Жильные месторождения распространены довольно широко, но крупные объекты встречаются редко, в них содержится всего 1% мировых запасов. К жильным относятся Чатыркульское месторождение (Казахстан), Бьютт (США). Вмещающими породами часто являются гранитоиды или вулканогенно-осадочные породы. Рудные тела имеют форму ветвящихся жил. Главные рудные минералы – халькопирит, иногда энаргит, жильные – кварц и карбонаты; второстепенные – пирит, молибденит, халькозин, борнит, блеклые руды, галенит, сфалерит. Кроме меди извлекаются благородные и рассеянные металлы.

*Гидротермальные (вулканогенные) месторождения.* К этому классу относятся редкие месторождения формации самородной меди с цеолитами (месторождение оз. Верхнего, США). В России известны лишь рудопроявления этого типа. Рудовмещающие породы представлены миндалекаменными базальтами, переслаивающимися с конгломератами. Самородная медь выполняет миндалины в верхних частях покровов. Самородная медь (редко Ag) ассоциирует с цеолитами, кальцитом, кварцем, хлоритами.

*Колчеданные месторождения* связаны с вулканогенными и вулканогенно-осадочными формациями. Они обычно тяготеют к верхним частям разреза рудоносных формаций, располагаясь в вулканогенно-осадочных или терригенных породах, фиксирующих прекращение или затухание активного вулканизма. Размещение месторождений контролируется положением вулканических центров, рудные тела приурочены к локальным вул-

каническим структурам. Форма рудных тел весьма разнообразна. В большинстве случаев это линзовидные, нередко пластообразные залежи согласные с вмещающими породами. Протяженность рудных тел достигает иногда 3-5 километров при мощности до 100 м. Некоторые месторождения характеризуются многоярусным строением.

Как правило, руды массивные и полосчатые, на контактах прожилково-вкрапленные.

Минеральный состав характеризуется резким преобладанием сульфидов железа (90-95%). Они ассоциируют с халькопиритом, галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами, суммарное количество которых составляет 5-10%. Нерудные минералы представлены кварцем, серицитом, хлоритом. Содержание меди, в среднем, 1,4%, цинка 2%. Кроме этого в промышленных количествах содержатся Au (0,2-10 г/т), Ag (30-40 г/т), Cd, Se, Te, Co.

Околорудные изменения заключаются в окварцевании, хлоритизации, серицитизации.

Колчеданные месторождения широко распространены, в них содержится 8,4% запасов меди. В России разведано 55 медноколчеданных месторождений, содержащих 28% общероссийских запасов. Одно из них – Гайское относится к разряду уникальных по запасам. Наибольшей известностью пользуются месторождения Урала (Гайское, Сибайское, Блявинское, Учалинское и др.), Северного Кавказа, Закавказья, Канады, Кипра, Испании, Японии, Турции и др.

Сульфидные руды океана – одно из крупнейших открытий последнего времени. Известно два типа проявлений гидротермальных сульфидов на дне океана – металлоносные осадки и массивные сульфиды.

Металлоносные осадки обнаружены в Красноморском рифте. Здесь установлен ряд впадин, заполненных металлоносными осадками и гидротермальными минерализованными рассолами. В одной из них – Атлантис II размером 6x15 км отмечается активная гидротермальная деятельность и продолжающийся процесс накопления металлоносных осадков. Прослойки сульфидных фаций содержат сфалерит, реже пирит, барит, более редко кубанит, халькопирит и др. Обнаружены самородное Fe, Al и Pb. Мощность осадков 30-100 м, мощность сульфидных горизонтов 1-7 м. Средние содержания металлов (в %): Fe 23, Zn 2,4, Cu 0,8, Pb 0,05.

Массивные сульфиды в виде конусовидных построек были впервые обнаружены в 1978 г. В настоящее время известно около 50 районов распространения сульфидных руд в Мировом океане. Многие находятся в активной стадии. Через трубообразные конусы сульфидных построек поступают гидротермальные растворы (температура около 350<sup>0</sup>), насыщенные минеральными частицами и рассеивающиеся в воде подобно дыму в воздухе. Благодаря этому сульфидные трубы получили название «черные курильщики». В настоящее время они выявлены в зоне Восточно-Тихоокеанского поднятия, в районах задугового спрединга Тихого океана, в пределах Срединно-Атлантического хребта. Сульфидные постройки разнообразны по форме, строению и минеральному составу. Крупные тела

имеют форму холмов или труб. Холмы имеют конусообразную форму высотой до 50 м, иногда форму труб, колонн высотой до 15-20 м. Минеральный состав сульфидных руд гидротермальных построек весьма разнообразен. Наибольшим развитием пользуются пирит и марказит (около 50%), сульфиды Zn (около 34%), пирротин, халькопирит, кубанит, реже встречаются галенит, арсенопирит, никелин, молибденит, минералы Ag, самородная Cu, Au и др. Рост сульфидных построек происходит быстро. Конические сульфидные сооружения с диаметром основания 6 м и высотой 3 м, имеющие массу около 41 т, сформировались за 70 лет.

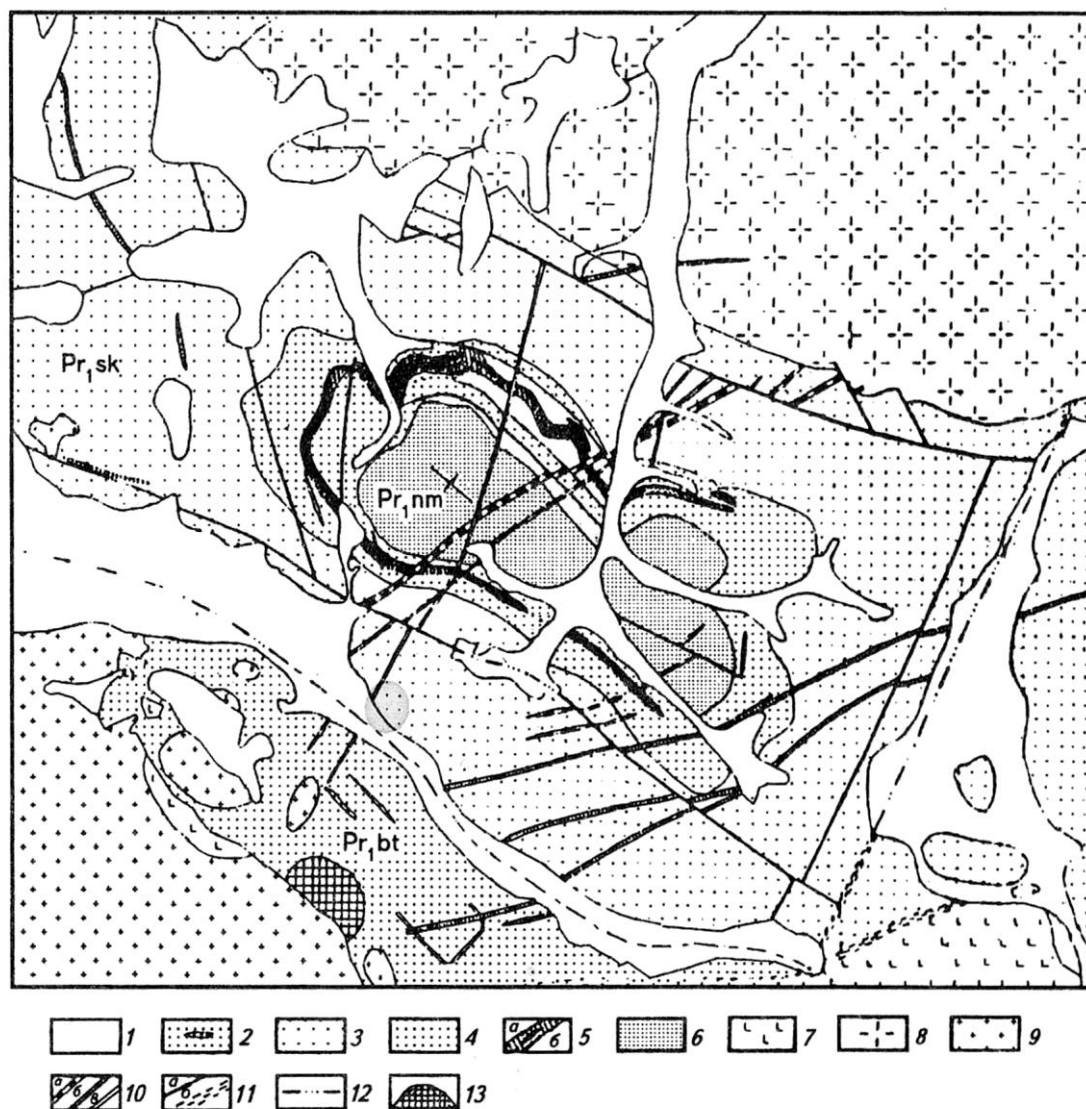


Рис. 11. Схематическая геологическая карта района Удоканского месторождения (по П.Петровскому, 1987): 1 - четвертичные отложения; 2 - бутунская свита; 3 - сакуканская свита; 4 - рудовмещающая толща; 5 - рудоносный горизонт (а) и рудные тела (б); 6 - намингинская свита (PR<sub>1</sub>); 7-9 - комплексы: 7 - чинейский (PR<sub>1</sub>), 8 - копарский (PR<sub>2</sub>), 9 - ингамакитский (PR<sub>2</sub>); 10 - дайковые тела комплексов: а - чинейского, б - доросского, в — кодарского; 11 - тектонические разломы 1-го (а) и 2-го (б) порядков; 12 - предполагаемое продолжение разломов под четвертичными отложениями; 13 - магнитная аномалия.



*Стратиформные месторождения*, формация медистых песчаников и сланцев. Наиболее характерными особенностями месторождений являются приуроченность к пестроцветным терригенным толщам; согласное залегание с вмещающими породами; пластовые, линзовидные, лентовидные формы; выдержанность рудных тел; значительная их протяженность (до нескольких километров) при малой мощности; наличие многоярусных залежей; отсутствие околорудных изменений, иногда слабое проявление окварцевания, карбонатизации; простой минеральный состав. Главными минералами месторождений являются халькозин, борнит, халькопирит. В рудах в промышленных количествах присутствуют попутные компоненты: Pb, Zn, As, рассеянные элементы (Re, Se, Te), иногда Co, U, платиноиды и др.

Месторождения характеризуются крупными размерами, нередко относятся к уникальным по запасам. Содержание Cu колеблется от 1 до 6%.

В настоящее время большинство исследователей поддерживают концепцию полигенного и полихронного генезиса стратиформных месторождений. Согласно этой концепции первичные руды стратиформных месторождений имеют осадочное происхождение, но позднее под воздействием подземных горячих минерализованных вод, испытали в ряде случаев заметные преобразования.

Наиболее крупные стратиформные месторождения медистых песчаников и сланцев находятся в Казахстане (Джезказган), Польше, Замбии, Заире. Из российских наибольший интерес представляет Удокан (рис. 11).

## **СВИНЕЦ и ЦИНК**

### **Общие сведения и области применения**

Свинец известен с древнейших времен. В Месопотамии и Египте он использовался за 6-7 тысяч лет до н. э. При раскопках Помпеи найдены свинцовые водопроводные трубы. В Китае за 2000 лет до н.э. свинец использовался для чеканки монет.

Металлический цинк был открыт в 1520 г, однако более ранние изделия из него относятся к VI-V в. до н. э.

В настоящее время большая часть свинца используется для изготовления аккумуляторных батарей (63%), остальное применяется в производстве красителей и химикатов, оболочек кабеля, сплавов, боеприпасов и прочих изделий. Цинк применяется в производстве оцинкованной стали (47%), латуни, бронзы и других сплавов (19%), литья под давлением (14%) и прочей продукции.

### **Обзор ресурсов**

Общие запасы Pb в 70 зарубежных странах оцениваются в 212 млн. т, разведанные составляют 129 млн. т. Общие запасы Zn превышают 491 млн. т, а разведанные 294 млн. т.

Россия занимает 2-е место в мире по запасам Pb и 1-е по запасам Zn.

Наиболее крупными запасами Pb и Zn обладают также США, Австралия, Казахстан, Канада, Китай. К месторождениям мирового масштаба относятся Мак-Артур (Австралия), Салливан (Канада), месторождения бассейна Миссури (США).

В России разведанные запасы Pb оцениваются в 13,9 млн. т, Zn – 46,5 млн. т. 82% запасов находятся в месторождениях Восточно-Сибирского и Уральского районов, остальные 18% в пределах Западно-Сибирского, Дальневосточного и Северо-Кавказского регионов. Наиболее крупные месторождения – Холоднинское, Озерное, Карбалихинское, Гайское, Учалинское, Николаевское, Сардана.

### **Геохимия и минералогия**

Кларк Pb 0,0016%, содержания его увеличиваются от ультраосновных и основных к кислым магматическим породам.

Кларк Zn 0,08%, наиболее высокие содержания его наблюдаются в основных породах.

Оба элемента характеризуются отчетливо выраженными халькофильными свойствами. Они выносятся гидротермальными растворами в виде комплексных соединений и осаждаются в форме сульфидов при температуре ниже 300<sup>0</sup>С.

Главные минералы свинца – галенит PbS, обычно содержит примеси Ag, Bi, Sb, джемсонит Pb<sub>4</sub>FeSb<sub>6</sub>S<sub>14</sub>, буланжерит Pb<sub>5</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>11</sub>; в зоне окисления церуссит PbCO<sub>3</sub> и англезит PbSO<sub>4</sub>. Основные минералы цинка – сфалерит ZnS, содержащий примеси Cd, In, Ga, Ge; в зоне окисления смитсонит ZnCO<sub>3</sub> и каламин Zn<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]H<sub>2</sub>O.

Главные промышленные минералы свинцово-цинковых руд – галенит и сфалерит.

### **Промышленные типы руд и кондиции**

1. Простые по составу свинцово-цинковые руды.
2. Полиметаллические руды являются комплексными. Помимо двух главных металлов в том или ином количестве могут присутствовать Cu, Sb, Bi, Sn. Попутные компоненты руд Cd, Au, Ag, Se, Te, Ge, Ga, Ta, In. В полиметаллических рудах сосредоточено более 80% мировых запасов Cd, около 50% Tl, 25-30% Ge, 20-25 Se, Te, In, 15-20% Ga и Bi. Эти руды дают 50% мировой продукции Ag.

Свинцово-цинковые руды относятся к богатым при содержании Pb более 4% или Pb и Zn более 7%. Бедные руды характеризуются содержанием Pb 1,2-2% или суммы Pb и Zn не ниже 4%.

### **Промышленные типы месторождений**

Свинец и цинк извлекают в основном из комплексных руд, содержащих Cu, Au, Ag и другие металлы. Среди промышленных месторождений Pb и Zn выделяются: скарновые, плутоногенные гидротермальные, колчеданные, стратиформные.

### **Эндогенные месторождения**

*Скарновые* свинцово-цинковые месторождения связаны с вулканоплутоническими ассоциациями. Рудные тела ассоциируют с известковыми

скарнами, они располагаются на удалении от контактов с интрузиями, характеризуются сложной морфологией. Состав скарнов определяется преобладанием геденбергита, в меньших количествах присутствуют гранат, волластонит. Руды обычно богатые сплошные и вкрапленные. Содержание Pb 6-12%, Zn 6-14%, Ag 30-300 г/т. Соотношения Pb и Zn близко 1:1. Типичные элементы-примеси Cd, Sn, Cu, In, Bi, Ag, Sb.

Свинцово-цинковые скарновые месторождения в мировом балансе запасов имеют подчиненное значение. Для России роль этих месторождений более существенна. Месторождения известны в Приморье (Николаевское, Верхнее и др.), Забайкалье (Смирновское и др.), Средней Азии (Алтын-Топкан), Швеции, Югославии, США и др.

*Гидротермальные месторождения* (плутоногенные) представлены жильными рудными телами. Вмещающие породы весьма разнообразны – гранитоиды, известняки, песчано-сланцевые отложения и др. В составе руд преобладают галенит и сфалерит, в меньших количествах содержатся халькопирит, пирит, пирротин, иногда блеклые руды, минералы серебра, нерудные – кварц, карбонаты, барит.

Месторождения чаще мелкие и средние по запасам. Промышленное значение этой группы скромное.

Месторождения известны на Северном Кавказе (Садонское, Згидское), в Средней Азии, Чехии, США, Канаде и других странах.

*Колчеданные месторождения* представлены двумя типами: колчеданно-полиметаллическими в вулканогенных формациях и колчеданно-полиметаллическими в терригенных формациях. Промышленное значение их весьма существенное, в них сосредоточено более 60% подтвержденных запасов.

Месторождения первой группы представлены широко известным рудно-алтайским типом, близким к нему типу куроко, хандизинским типом и другими. Они связаны с дифференцированными базальтоидными формациями. Среди пород, слагающих рудоносные формации, преобладают кислые вулканыты (лавы, лавобрекчии, туфы, игнимбриты), составляющие 45-50% от общего объема. Базальты, их туфы значительно уступают кислым разностям, составляя 10-15%. На долю осадочных пород – песчаников, алевролитов, известняков приходится до 35-40%.

Основные особенности этих месторождений находятся в прямой зависимости от состава, строения, эволюции рудоносной формации. Формирование рудных залежей происходило в двух основных типах обстановок: на куполовидных поднятиях и в депрессионных структурах.

Месторождениям первого типа свойственна линзовидная форма согласных рудных тел; хорошее развитие подрудных штокверковых зон, где часто сосредоточены значительные запасы руд (рис. 12). Месторождения второго типа, приуроченные к локальным депрессионным структурам, характеризуются пластообразной формой выдержанных по мощности рудных тел; слабым развитием подрудных зон или их полным отсутствием; преобладанием слоистых текстур руд. Пластообразные залежи простира-

ются на сотни метров, иногда 1-2 километра; мощность их колеблется от нескольких метров до 15-20, иногда 50 м.

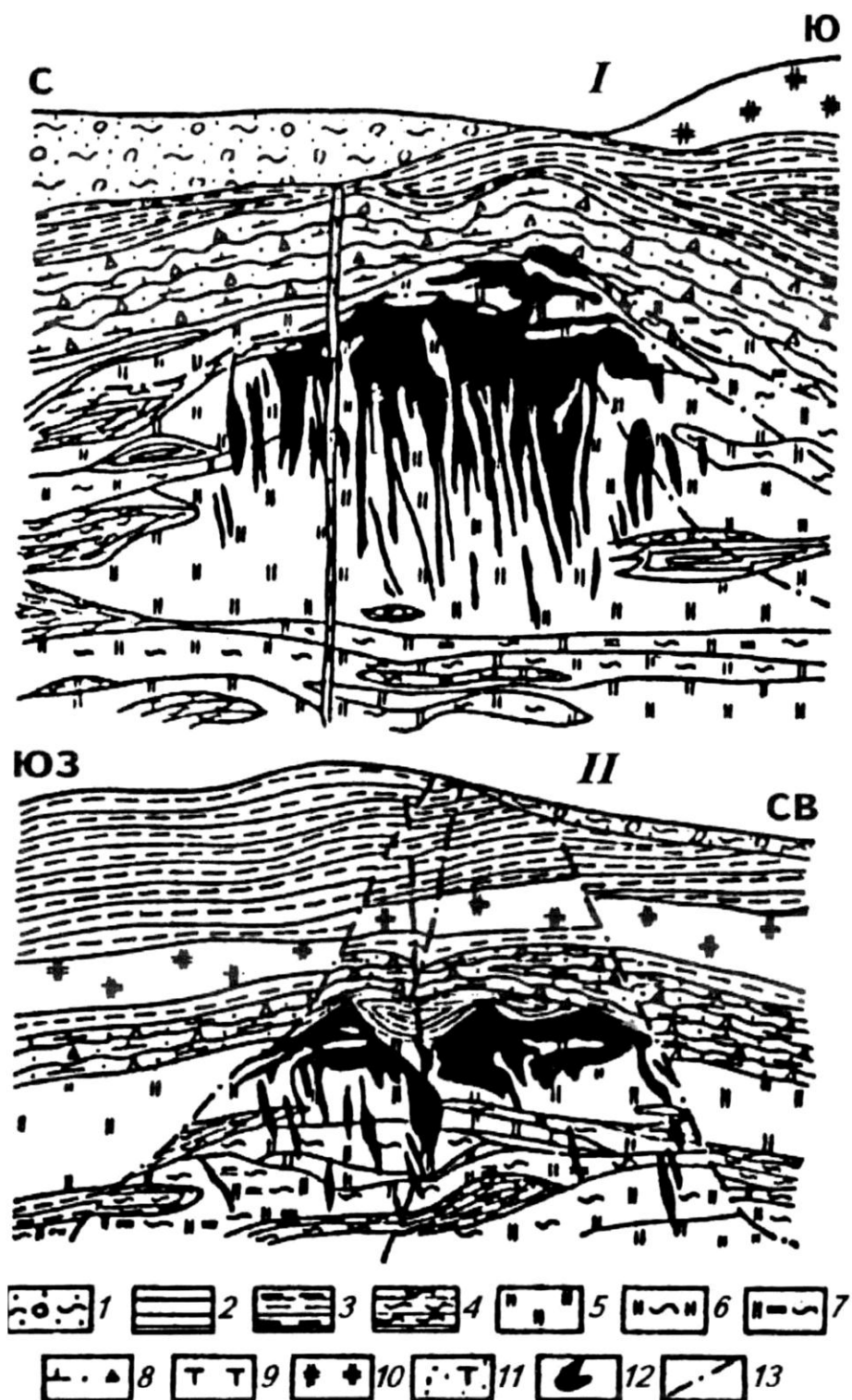


Рис.12.Разрезы рудных залежей Риддер-Сокольного месторождения:  
 I - Юго-Западная, II - Победа (по данным Лениногорского рудника): 1 - рыхлые отложения; 2 - алевропелиты; 3 - известковистые алевропелиты; 4 - серицитизированные алевропелиты; 5 - микрокварциты; 6 - серицит-хлорит-кварцевые породы; 7 - серицитизированные микрокварциты; 8 - агломератовые туфы смешанного состава; 9 - миндалекаменные плагио-

класовые порфириты; 10 - кварцевые альбит-порфиры; 11 -диабазы и диабазовые порфириты; 12 - полиметаллическая руда; 13-разломы.

Рудные тела сложены в основном медно-свинцово-цинковыми и свинцово-цинковыми рудами, реже присутствуют медноколчеданные, барит-полиметаллические руды.

Зональность рудных залежей проявляется в смене (снизу вверх) серноколчеданных, медноколчеданных, медно-цинковоколчеданных, полиметаллических и барит-полиметаллических руд.

Вулканогенные колчеданные месторождения часто представлены крупными объектами. Это месторождения Рудного Алтая (Риддер-Сокольное, Карбалихинское, Тишинское и др.), Салаирского кряжа (Салаирское), Западного Забайкалья (Озерное). Представителями этого типа являются месторождение Куроко в Японии, месторождения Канады, Испании, США и многие другие.

Колчеданно-полиметаллические в терригенных формациях связаны с углеродистыми терригенно-флишоидными формациями, в состав которых нередко входят вулканические комплексы базальтового или риолит-базальтового ряда. Рудоконтролирующими структурами служат локальные палеодепрессии высоких порядков. Рудные тела, как правило, локализованы среди углеродистых черносланцевых комплексов, приуроченных к средним частям формаций. При этом отмечается, что рудовмещающие углеродистые толщи пространственно связаны с карбонатными и вулкано-генными толщами. Предполагается, что именно вулканические комплексы служат основным источником рудообразующих растворов.

Примерами таких месторождений являются месторождения Большого Кавказа (Филизчайское, Катехское), Олоkitского прогиба (Холоднинское), Енисейского кряжа (Горевское и др.), австралийские месторождения – Маунт-Айза и др.

Некоторые месторождения локализованы в древних протерозойских и нижнепалеозойских комплексах и вместе с ними подверглись метаморфизму (Брокен-Хилл в Австралии, Салливан в Канаде). Вмещающие породы этих месторождений испытали складчатые деформации и метаморфизм, а руды перекристаллизованы.

*Стратиформные месторождения.* В большинстве случаев свинцово-цинковые стратиформные месторождения связаны с карбонатными формациями. Эти формации сложены известняками и доломитами, часто битуминозными, с прослоями черных сланцев, кремнистых пород. Фациальные особенности пород свидетельствуют о формировании их в мелководных прибрежно-морских, лагунных условиях.

Рудные тела стратиформных месторождений представлены согласными пластовыми и лентовидными залежами и размещаются в одном или нескольких стратиграфических горизонтах. Залежи отличаются большой протяженностью (от сотен метров до первых километров), шириной (800-1000 м) при мощности от 0,5 до 200 м. Руды сложены сфалеритом, галени-

том с незначительным количеством пирита, марказита, халькопирита, барита.

Дискуссионным является вопрос о генезисе стратиформных месторождений. Наиболее вероятным представляется двухэтапный процесс формирования. В ранний гидротермально-осадочный этап из гидротермальных растворов эндогенного происхождения, достигавших морского дна, в застойной обстановке локальных палеодепрессий осаждались сульфиды в виде рудных илов. Преобразование сульфидов происходило на стадии диагенеза при участии органического вещества. Второй этап (регенерации) связан с тектоническими и метаморфическими процессами перекристаллизации и перераспределения рудного вещества.

Типичными представителями данной группы могут быть названы месторождения России (Сардана), Казахстана (Миргалимсай, Ачисай – рис. 13), Узбекистана (Уч-Кулач), США (долина реки Миссури и др.), Канады (Паин-Поинт) и других стран.

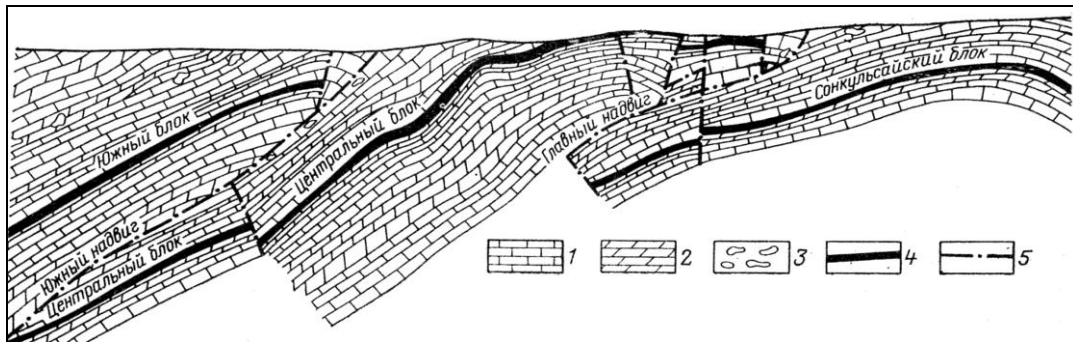


Рис. 13. Схематический разрез Миргалимсайского свинцово-цинкового месторождения в Каратау, Казахстан: 1 - известняки; 2 - доломиты; 3 - брекчированные известняки; 4 - рудные тела; 5 - тектонические послерудные нарушения.

## АЛЮМИНИЙ

### Общие сведения и области применения

Алюминий был получен в 1865 году русским химиком Н.Бекетовым. В конце XIX в. его способ получения алюминия нашел применение в Германии и Франции. В 1886 году был изобретен способ получения алюминия путем электролиза криолито-глиноземных расплавов.

Алюминий благодаря своей легкости (плотность 2,7 г/см<sup>3</sup>), высокой электропроводности, большой коррозионной устойчивости и достаточной механической прочности (особенно в сплавах с Cu, Si, Mg, Mn, Zn, Ni и другими металлами) нашел применение в авиационной (его называют «крылатым металлом»), автомобильной и электротехнической отраслях промышленности, на транспорте, в строительстве, а также при изготовлении упаковочных материалов. Некоторые сорта бокситов используют для производства абразивов и огнеупоров.

## Обзор ресурсов

Общие запасы бокситов, оцененные в 58 странах мира, составляют примерно 69 млрд. т, более 90% мировых общих запасов сосредоточено в 18 странах с тропическим и субтропическим климатом. Уникальными запасами обладают Гвинея, очень крупными Австралия, Бразилия, Вьетнам, Индия, Индонезия. В недрах этих стран заключено 63% общих запасов. Наиболее крупными подтвержденными запасами обладают Гвинея (20,8% мировых), Бразилия (14,6%), Австралия (11,3%), Ямайка (7,4%), Камерун (6,1%), Мали (4,5%). В этих странах сосредоточено 65% мировых подтвержденных запасов.

Производство Al составляет 20 млн. т. в год.

В России ощущается острый дефицит алюминиевого сырья, обусловленный отсутствием крупных месторождений высококачественных бокситов. Россия не обладает достаточными для внутреннего потребления запасами бокситов, и ее доля в мировом балансе запасов не достигает и 1%. Наиболее высоким качеством обладают диаспоровые бокситы Северного Урала, наиболее перспективна Среднетиманская группа месторождений. В России используются нефелинсодержащие породы: разрабатываются уртиты Кия-Шалтырского месторождения в Кемеровской области и нефелиновые сиениты Кольского полуострова.

### Геохимия и минералогия

Кларк Al 8,05%. В эндогенных условиях алюминий концентрируется в щелочных нефелин- и лейцитсодержащих породах и анортозитах. Он накапливается также при процессах алунизации, связанных с гидротермальной переработкой кислых вулканических образований.

В экзогенных условиях алюминий в форме коллоидных соединений мигрирует и осаждается в прибрежной зоне водоемов.

Алюминий входит в состав около 250 минералов, но промышленное значение из них в настоящее время имеют бемит и диаспор  $AlO(OH)$ , гиббсит (гидраргиллит)  $Al(OH)_3$ , нефелин  $Na_3[AlSiO_4]_4$ , лейцит  $K[AlSi_2O_6]$  и алунит  $KA_3(OH)_6[SO_4]_2$ . Перспективны для извлечения алюминия кианит, силлиманит, андалузит и каолинит.

### Промышленные типы руд и кондиции

1. Бокситы – важнейшая алюминиевая руда. Это горная порода, состоящая из гидроксидов алюминия, оксидов и гидроксидов железа, глинистых минералов и кварца. В промышленных бокситах содержание  $Al_2O_3$  больше 28%, соотношение  $Al_2O_3/SiO_2$  не меньше 2,6, содержание железа должно быть меньше 7,5%.

2. Небокситовое алюминиевое сырье.

2.1. Магматические породы: нефелиновые (в нефелиновых сиенитах Кия-Шалтырского месторождения установлено 0,825 г/т Pd и 0,04 г/т Au), уртитовые (содержат примеси платиноидов - в урритах Кия-Шалтырского месторождения содержится 0,049 г/т Rh, в урритах Горячегогорского месторождения выявлено 2,9 г/т металлов платиновой груп-

пы), апатит-нефелиновые Кольского полуострова, Прибайкалья, Забайкалья и др.  $Al_2O_3 > 22,5\%$ ,  $SiO_2 < 45\%$ ,  $Na_2O+K_2O > 9,5$ ;  $Fe_2O_3 < 7\%$ . Среди магматических пород перспективны анортозитовые, лейцитовые и другие высокоглиноземистые изверженные породы.

- 2.2. Гидротермальные алунитовые руды формируются в областях молодого вулканизма в результате воздействия вулканических сернистых газов и растворов, обогащенных серной кислотой, на вмещающие вулканические алюмосиликатные породы. Месторождения известны на Кавказе, Закарпатье, Казахстане, Средней Азии, Приморье. Руды, которые не требуется обогащать, должны содержать  $> 50\%$  алунита и  $< 10\%$  глинистых минералов.
- 2.3. Каолиновые глины, высокоглиноземистые аргиллиты (содержание  $Al_2O_3 > 30-35\%$ ).
- 2.4. Метаморфические руды: высокоглиноземистые сланцы кианитовые, андалузитовые, силлиманитовые. Крупнейшие месторождения кианитовых сланцев разведаны на Кольском полуострове, где могут разрабатываться открытым способом. Месторождения силлиманитовых сланцев имеются в Карелии, на Урале, в Иркутской области, Бурятии, Красноярском крае и в Казахстане. Используемые концентраты должны содержать (в %):  $Al_2O_3 > 54$ ,  $Fe_2O_3 < 1,2$ ,  $CaO < 0,8$ ;  $K_2O+Na_2O < 1,6$ .
- 2.5. Геотехногенные отходы металлургических и горнодобывающих предприятий (хвосты обогащения углей, золы углей, отходы при переработке руд черных, цветных металлов и химической промышленности).

### Промышленные типы месторождений

Все бокситовые месторождения относятся к экзогенным образованиям.

#### Экзогенные месторождения

*Месторождения выветривания (остаточные)* образуются при латеритном выветривании алюмосиликатных пород щелочного, среднего и кислого, иногда основного состава в условиях тропического и субтропического климата. Основными рудообразующими минералами являются гиббсит и гематит с примесью бемита. Цвет бокситов обычно светло-розовый, бурый или красновато-коричневый. В верхней части бокситы представлены плотными каменистыми рудами с массивной, полосчатой и сланцеватой текстурой; в нижней - встречаются рыхлые и землистые разновидности. Помимо этого отмечаются бокситы брекчиевые, конгломератовидные или пористые.

Бокситы характеризуются высоким содержанием глинозема (51-62%), низким содержанием кремнезема (1-2%), оксидов железа (2-6%) и титана (2-3%).

подавляющая часть мировых запасов (88%) заключена в месторождениях латеритного типа. Основное их количество располагается в Африке, Индии, Южной Америке, Австралии. К латеритному типу относятся и некоторые месторождения России (Висловское - рис.14, Шебекинское). В



России погребенные латеритные месторождения бокситов выявлены в пределах Белгородского района КМА.

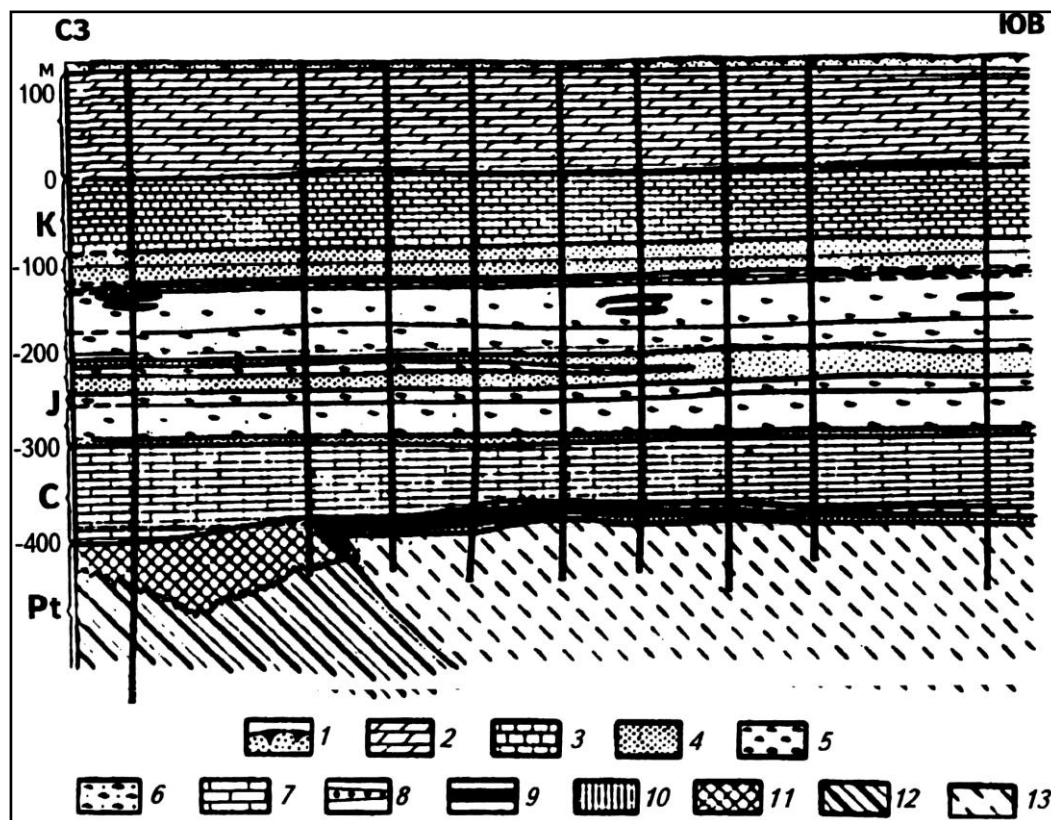


Рис.14. Геологический разрез Висловского месторождения по В.Н. Клеклю и В.И.Сиротину: 1 - четвертичные суглинки; 2 - мергели; 3 - мел; 4 - пески; 5 - глины; 6 - глинистые пески, песчаные глины; 7 - известняки; 8, 9 - бокситы; 10 - аллиты; 11 - мартитовые и мартит-гидрогематитовые руды; 12 - магнетитовые кварциты; 13 - филлитовидные и хлорит-серцитовые сланцы.

*Осадочные платформенные месторождения* залегают в континентальных отложениях преимущественно озерно-болотной фации, часто связаны с угленосными осадками. Они приурочены к краевым частям синеклиз, к эрозионно-тектоническим котловинам и долинам.

Форма рудных тел – пласты и линзы. По составу бокситы относятся к гиббсит-бемит-каолиновому типу. По текстурным признакам среди них различают: обломочные, оолито-бобовые и тонкодисперсные (пелитовые).

Примерами подобных месторождений являются бокситовые месторождения Восточно-Европейской платформы (Тихвинский, Северо-Онежский, Средне-Тиманский и Южно-Тиманский районы). За рубежом такие месторождения встречаются также на Китайской и Северо-Американской платформах.

*Осадочные геосинклинальные месторождения* образовались в мелководных условиях во время перерывов в накоплении морских осадков. Они встречаются главным образом в перегибах, тяготеющих к краевым частям

крупных антиклинорий и срединных массивов. Часто бокситы залегают на закарстованной поверхности рифогенных известняков. Бокситовые пласты и вмещающие породы обычно смяты в складки и метаморфизованы.

Бокситы геосинклинальных областей характеризуются высоким и выдержанным качеством. Среди них преобладают диаспор-бемитовые, диаспоровые и бемитовые разновидности. Текстура слоистая и бобовая.

Месторождения этого типа развиты в Северо-Уральском (рис.15), Южно-Уральском, Салаирском и Боксонском бокситоносных районах России. Они известны также в Венгрии, Греции, Франции, Югославии, Гаити, Доминиканской республике, Ямайке.

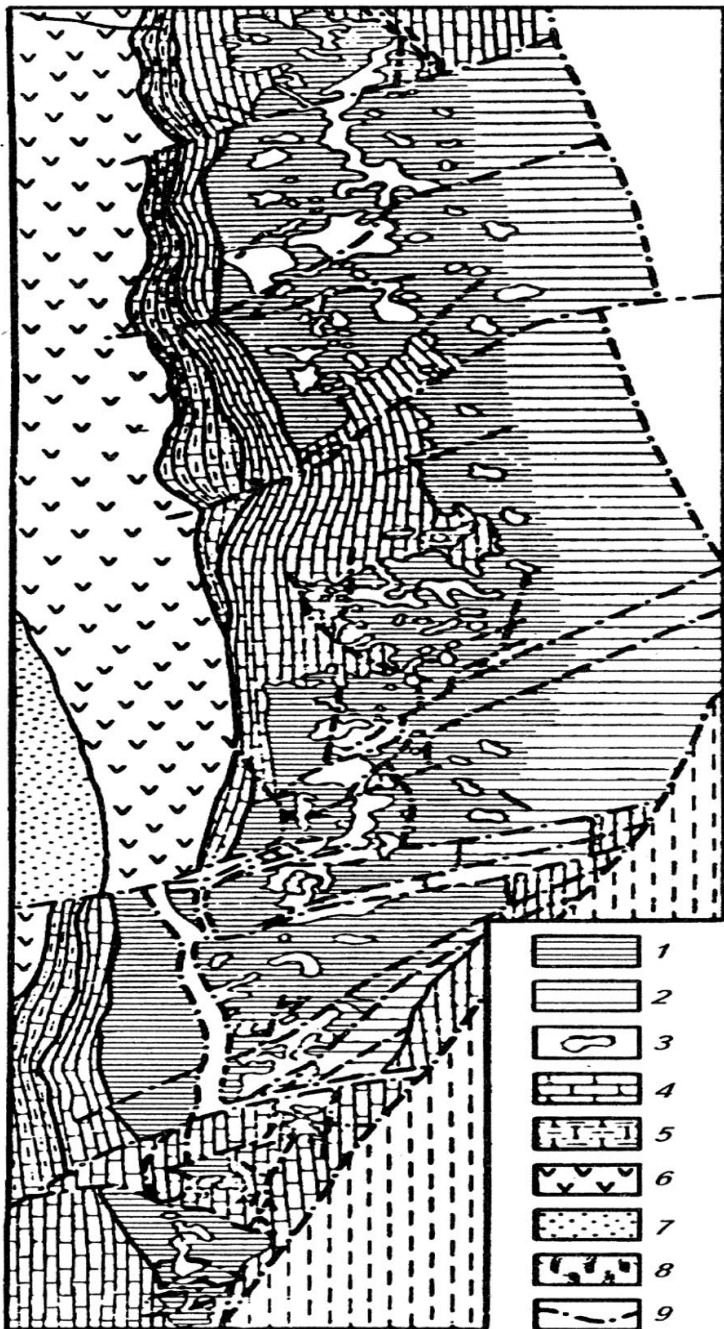


Рис. 15. Геолого-литологическая карта дорудного фундамента и бокситовых отложений Северо-Уральского бокситоносного района (по Г.Кирпалю): 1, 2 - площади развития бокситоносных отложений раннеэйфельского возраста: 1 - установленные, 2 - предполагаемые; 3 - безрудные участки; 4 - известняки рифогенные; 5 - известняки, битуминозные сланцы, песчаники и конгломераты; 6 - порфириды базальтовые и андезит-базальтовые; 7 - конгломераты, песчаники и песчано-глинистые сланцы; 8 - порфириды, туфопесчаники, песчаники, туфы базальтовые; 9 - тектонические нарушения.

## РАЗДЕЛ IV. МАЛЫЕ МЕТАЛЛЫ ОЛОВО

### Общие сведения и области применения

Олово – один из первых металлов, освоенных человеком. Применение его в сплавах с медью определило целую эпоху в развитии человечества, получившую название «бронзовый век» со второй половины IV тысячелетия до IX-VIII в. до н. э.

Химическая устойчивость Sn, нетоксичность его солей и сплавов обусловили широкое применение его в виде белой жести в консервной отрасли промышленности (32% добычи). Кроме того, олово используется для получения бронз, латуни, баббитов (22%), припоев (29%), типографских шрифтов и химической промышленности (15%), в производстве красителей, в стекольной и текстильной отраслях промышленности.

### Обзор ресурсов

Общие запасы Sn в недрах 34 стран мира оцениваются в 10,4 млн. т, разведанные составляют 8,2 млн. т. В 10 ведущих странах (Китай, Бразилия, Малайзия, Индонезия, Таиланд, Боливия, Перу, Россия, Конго, Австралия) сосредоточено 89% суммарных мировых разведанных запасов олова.

В России 86% разведанных запасов приходится на коренные месторождения, тогда как в зарубежных странах ведущее место занимают россыпи (58,8%), особенно велико их значение для стран Азии (до 80,5%).

Почти 95% всех российских запасов находится в Верхояно-Чукотской, Сихоте-Алинской и Монголо-Охотской провинциях. Основным недостатком минерально-сырьевой базы России – большая удаленность оловодобывающих предприятий от центров переработки.

Ежегодное производство касситеритовых концентратов колеблется от 160 до 200 тыс. т.

### Геохимия и минералогия

Кларк Sn 0,00025%. Наиболее высокие содержания отмечаются в кислых магматических породах. Геохимическая природа Sn двойственна: будучи литофильным элементом, оно обладает и халькофильными свойствами в зависимости от режима серы и кислорода. Олово – подвижный элемент, выносится из магматического очага гидротермальными растворами. В экзогенных условиях касситерит устойчив и образует россыпи.

Всего известно 20 минералов олова, из них промышленное значение имеет касситерит  $\text{SnO}_2$ , в меньшей степени используется станнин  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  и некоторые другие более редкие минералы.

### Промышленные типы руд и кондиции

1. Оловоносные пегматиты, содержание в них Sn 0,1-0,2%, отмечаются примеси Ta, Nb.

2. Оловоносные грейзены и кварц-касситеритовые жилы, содержание Sn 0,1-0,5%, руды комплексные, часто присутствуют Mo, W, Be.

3. Сульфидно-касситеритовые руды, содержание Sn 0,1-1% и более, руды часто комплексные, содержат Cu, Pb, Zn.

4. Силикатно-касситеритовые руды (турмалинового и хлоритового типа), сопутствующие те же, что и в третьем типе.

Богатые руды коренных месторождений содержат более 1% олова, рядовые – 0,4%, бедные - 0,1-0,4%. Россыпи разрабатываются при содержании касситерита 100-200 г/м<sup>3</sup>, иногда оно может достигать кг/м<sup>3</sup> породы.

### **Промышленные типы месторождений**

Олово извлекают из оловянных и комплексных олово-вольфрамовых, олово-серебряных и олово-полиметаллических руд.

### **Эндогенные месторождения**

*Пегматитовые месторождения* располагаются в зонах эндо- и экзо-контакта гранитных массивов. Большая их часть приурочена к структурам докембрия и нижнего палеозоя. Промышленные концентрации отмечаются преимущественно в пегматитах натрово-литиевого типа. Пегматиты образуют жильные, штокообразные, линзо- гнездообразные тела, группирующиеся в протяженные пояса. Оловоносными являются пегматиты, которые подверглись процессам альбитизации и грейзенизации. В рудах кроме касситерита присутствуют сподумен, петалит, амблигонит, реже встречаются вольфрамит и танталит. Нерудные минералы представлены кварцем, микроклинном, альбитом, турмалином, топазом, флюоритом. Касситерит отличается неравномерным, гнездовым распределением, образует крупные кристаллы, характеризуется повышенной концентрацией Ta, Nb, Zr, Cs.

Пегматитовые месторождения невелики по запасам, содержания олова низкие и практическое значение их небольшое, но они служат источником образования россыпных месторождений.

Пегматитовые месторождения известны в Восточной Сибири, Забайкалье, на Балтийском щите и Рудном Алтае, наиболее развиты в Заире (Манано-Китотоло), Намибии, Замбии.

*Скарновые месторождения* связаны с умеренно-кислыми гранитоидами. Оруденение приурочено к известковым и магнезиальным скарнам. Рудные тела имеют пластообразную, иногда трубообразную форму, обычно невыдержанные. Месторождения характеризуются комплексным составом руд (Sn-W, Sn-Cu, Sn-Pb-Zn). Минеральный состав касситерит, магнетит, разнообразные сульфиды, реже висмутин, блеклые руды. Оловянная минерализация является наложенной на скарны.

Руды вкрапленные, труднообогатимые, содержание Sn в среднем 0,3-0,5%

Скарновые месторождения известны в Приморье (Ярославское), Карелии (Питкяранта, Кителя), Средней Азии (Майхура), в Канаде, Австралии, Великобритании и других странах. Промышленное значение их невелико.

*Грейзеновые месторождения* олова связаны с гранодиорит-гранитными формациями, представленными обычно крупными многофазными батолитами, наиболее характерными для герцинской и киммерий-

ской эпох. Месторождения приурочены к апикальным частям отдельных штоков, куполов, апофиз поздних лейкократовых аляскитовых разностей. Рудные тела представлены штокверками, жилами, трубообразными телами. Форма обычно сложная. Глубина оруденения небольшая: 50-100 м. Руды массивные, вкрапленные, среднее содержание Sn 0,3-0,5%. Месторождения мелкие и средние по запасам, на их долю приходится 15,6% запасов, но 70% их сосредоточено в одном недавно открытом месторождении Питинга в Бразилии.

Грейзеновые месторождения обычно комплексные. Помимо Sn в рудах содержатся W, Mo, Li, Ta, Nb, TR, флюорит. Главные минералы руд - касситерит, вольфрамит, циннвальдит; второстепенные – магнетит, пирротин, молибденит, халькопирит, сфалерит, галенит и др. Большой части месторождений свойственна зональность, выраженная в уменьшении содержания Sn и увеличения сульфидной минерализации от центра к периферии штокверка.

Грейзеновые месторождения известны в Забайкалье (Этыка), Якутии (Бутугычаг), на Чукотке (Иультин). Крупные месторождения известны в Бразилии, Канаде, Франции, более мелкие в Германии и Чехии и других странах.

*Гидротермальные (плутоногенные) месторождения олова* – наиболее распространенная группа. В ней выделяется несколько рудных формаций.

Месторождения кварц-касситеритовой формации генетически связаны с гранодиорит-гранитными, гранодиорит-лейкогранитными магматическими формациями, свойственными структурам тектоно-магматической активизации на щитах и платформах. Рудные тела размещаются большей частью в надкупольных зонах, иногда в эндоконтактных частях массивов гранитоидов. Морфология рудных тел разнообразна: это жилы, штокверки, иногда трубообразные тела. Средняя мощность рудных тел 1-3 м, простираются они на многие десятки и сотни метров. Глубина распространения промышленного оруденения достигает нескольких сотен метров. Месторождения кварц-касситеритовой формации (Иультин, Пыркакайское на Чукотке и другие) характеризуются простым составом: на 90-95% состоят из кварца, помимо касситерита присутствуют вольфрамит, флюорит. Содержание олова - 0,3-0,8%, часто отмечаются промышленные концентрации вольфрама. Рудные жилы сопровождаются грейзенизацией и турмалинизацией. В суммарных значениях зарубежных стран они составляют 3,9%.

Месторождения силикатно-касситеритовой формации связаны с интрузивными комплексами габбро-гранодиорит-гранитовых и диорит-монцогранодиорит-гранитных формаций, развивающихся на поздних стадиях эволюции складчатых областей. Форма рудных тел часто - минерализованные зоны дробления. Месторождения характеризуются резким преобладанием в составе руд турмалина и хлорита, в связи с этим выделяется два минеральных типа руд: касситерит-турмалин-хлоритовый и касситерит-хлоритовый. В рудах содержится значительное количество сульфидов.

Масштабы месторождений средние и крупные, качество руд высокое: содержание олова 0,6-1% и более. В переменных количествах присутствуют Zn, Cu, Pb. В России эти месторождения содержат более 50% запасов и обеспечивают свыше 60% общего объема добычи.

Среди месторождений силикатно-касситеритовой формации нередко встречается многосульфидный (сульфидно-касситеритовый) тип (Эгехая, Фестивальное месторождение и др.). Руды отличаются резко повышенным количеством сульфидов железа, меди и цинка. Минеральный состав руд очень сложный.

Плутоногенно-гидротермальные месторождения различных формаций распространены на востоке России – на Чукотке (Пыркаайское – рис. 16, Валькумей), в Забайкалье (Хапчеранга, Шерлова Гора), Якутии (Депутатское, Эгехая), Приамурье (Солнечное, Фестивальное), Приморье (Хрустальное, Дубровское). За рубежом наиболее значительные месторождения этого типа находятся в Великобритании, Австралии, Канаде.

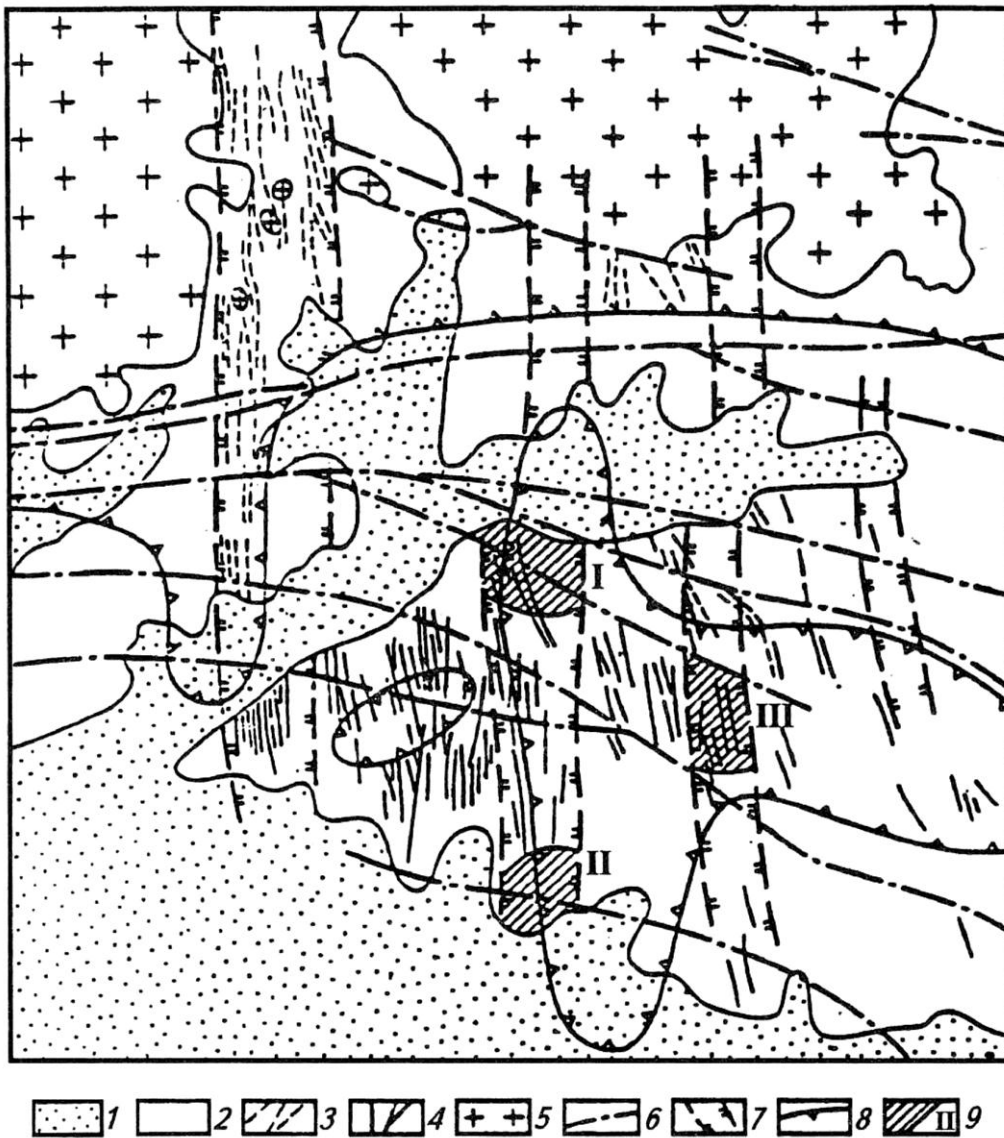


Рис. 16. Схематическая геологическая карта Пыркаайского оловорудного узла (по Б.В.Макееву, А.Б.Павловскому и др., 1988): 1 -рыхлые отложения; 2 - песчано-сланцевые отложения верхнего триаса; 3 - дайки кислого со-

става; 4 - дайки среднего состава (псевдолампрофиры); 5 - граниты; 6 - разрывные нарушения; 7 - контуры зон повышенной трещиноватости; 8 - контуры не вскрытых эрозией гранитоидных массивов; 9 - штокверковые оловорудные поля: I - Первоначальное, II - Нагорное, III - Незаметное.

*Гидротермальные (вулканогенные) месторождения олово-серебряной формации.* Руды этих месторождений отличаются не только большим содержанием сульфидов, но широким развитием сульфидных и сульфосольных минералов олова. Месторождения связаны с вулканоплутоническими и вулканогенными формациями: с кислыми и умеренно кислыми комплексами - риолитами, риолит-дацитами и дацитами. Месторождения относятся преимущественно к альпийской и отчасти киммерийской эпохам.

Рудные тела представлены жилами, часто ветвящимися, оруденелыми зонами дробления, штокверками. Руды сложные комплексные: наряду с Sn из них извлекаются Ag, Pb, Zn, Cu, Bi. Содержание окисного олова 0,3-0,4%, сульфидного – 0,1-0,2%. Главные минералы руд – касситерит (иногда деревянистое олово), станнин, висмутин, арсенопирит, пирротин. Второстепенные минералы – вольфрамит, халькопирит, галенит, сфалерит, пираргирит, аргентит, буланжерит, джемсонит, самородное серебро, а также каолинит, диккит, опал, халцедон, флюорит.

Рудообразование происходило в условиях небольших глубин (от 100-200 до 700-800м от поверхности) при быстром падении температуры. Месторождениям свойственна зональность: на нижних горизонтах развито касситерит-висмутовое, касситерит-вольфрамитовое оруденение с серебром, сменяемое в верхних частях жилами со станнином, сульфосолями олова, галенитом, баритом, минералами серебра.

Крупные месторождения боливийского типа размещаются в неогеновых вулканических поясах. Они включают 12,8% общих запасов и 4,8% добычи. Их отличительные особенности: приуроченность к жерловым зонам, выполненным штоками кварцевых порфиров; интенсивное развитие гидротермальных изменений, внутренние зоны которых представлены кварц-турмалиновыми метасоматитами, а во внешних зонах породы серицитизированы и на большом удалении хлоритизированы.

В России известны лишь мелкие и средние месторождения этого типа в Малом Хингане (Джалинда, Хинганское), за рубежом – в Боливии (Льяльягуа, Потоси и др.), Мексике, Японии, Австралии, Китае.

### Экзогенные месторождения

*Россыпные месторождения.* Россыпным месторождениям принадлежит ведущая роль в запасах (58,6%) и производстве касситеритовых концентратов (78%) в зарубежных странах. На территории России россыпных месторождений мало, и они отличаются небольшими запасами и низкими содержаниями.

Наиболее крупные россыпные месторождения известны в Бразилии (Питинга), Китае (Гэцзю), Индонезии (месторождения о. Банка), Малайзии, Таиланде. Среднее содержание касситерита в них  $0,6 \text{ кг/м}^3$ .

Россыпные месторождения образуются за счет разрушения коренных месторождений пегматитовых, скарновых, грейзеновых, некоторых сульфидно-касситеритовых и других. Наиболее благоприятны для россыпеобразования штокверковые месторождения, в рудах которых касситерит отличается большой крупностью.

Выделяются элювиальные, делювиальные, аллювиальные и прибрежно-морские типы россыпей.

Элювиальные россыпи развиты в странах с жарким и влажным климатом. Помимо касситерита они могут содержать колумбит, танталит, сподумен, вольфрамит, шеелит, золото, турмалин. Элювиальные россыпи могут служить источником формирования других россыпей, представляя промежуточный коллектор касситерита. В России наиболее крупные элювиальные россыпи обнаружены в Пыркакайском рудном узле на Чукотке.

Делювиальные россыпи являются промежуточным элементом между элювиальными и аллювиальными россыпями. Они характеризуются лучшей сортированностью материала и крайне неравномерным распределением касситерита.

Аллювиальные россыпи пользуются наиболее широким распространением, они образуются в различных климатических зонах. Россыпи характеризуются хорошей сортированностью материала, окатанностью зерен касситерита, равномерным распределением его и приуроченностью к приплотиковой части россыпи. Наибольшее промышленное значение имеют долинные россыпи, в особенности древние. Мощность продуктивных пластов изменяется от долей метра до первых десятков метра. Среднее содержание касситерита –  $0,6-0,8 \text{ кг/м}^3$ . Наряду с касситеритом в ряде случаев извлекаются ильменит, вольфрамит, монацит и другие минералы.

Наиболее крупные аллювиальные россыпи находятся в Малайзии, крупные россыпи с высоким содержанием касситерита имеются в Индонезии, Таиланде.

В России промышленные аллювиальные россыпи известны в Пыркакайском рудном узле и районе Депутатского месторождения. На базе аллювиальных россыпей в России производится треть оловоносных концентратов. Самая крупная россыпь руч. Тирехтях содержит 39% разведанных запасов с содержанием касситерита  $927 \text{ г/м}^3$ .

Прибрежно-морские россыпи касситерита пользуются широким распространением и имеют важное промышленное значение. Длительного переноса касситерит не выдерживает, поэтому оловосодержащие россыпи в береговой зоне сохраняются лишь при их быстром захоронении. Крупнейшей оловоносной провинцией является Бирмано-Малайско-Индонезийский оловянный пояс, в пределах которого сосредоточены россыпи аллювиально-морского и прибрежно-морского генезиса, заключенные в морских террасах на суше и на дне современных акваторий, а также



в затопленных речных долинах на удалении до 5-15 км от берега при глубинах до 40-60 м. Мощность продуктивных горизонтов колеблется от 1-2 до 20-30 м при мощности вскрыши до 30 м. Содержание касситерита – от сотен граммов до первых килограммов на  $1\text{м}^3$ . Совместно с касситеритом добываются монацит, вольфрамит, циркон, ильменит, золото, рутил, колумбит, танталит.

## **СУРЬМА**

### **Общие сведения и области применения**

Сурьму наряду с золотом, медью и ртутью считают доисторическим элементом. В древности она использовалась для изготовления красок. Освоение в промышленных масштабах началось в XX в. Сурьма придает прочность, твердость и коррозионную устойчивость сплавам со свинцом, медью и цинком, ее соединения характеризуются огнестойкостью. Главными потребителями сурьмы являются автомобильная, полиграфическая, химическая и стекльно-керамическая промышленность; кроме того, она применяется в электротехнической и электронной промышленности, при производстве красок и пропиток.

### **Обзор ресурсов**

Разведанные запасы сурьмы составляют 7,6 млн. т, из которых более 82% приходится на Китай, Таджикистан, Россию, Боливию, ЮАР, Таиланд, Киргизию и Мексику. Производство сурьмы составляет 143 тыс. т, основная часть приходится на Китай (84,2%), значительно уступают Боливия (4,2%), ЮАР (2,9%) и Россия (1,5%).

В России добыча руд и производство концентратов сурьмы осуществляются только на месторождениях Якутии, крупномасштабная добыча сохранилась лишь на Сарылахском месторождении. На Олимпиаденском месторождении в Красноярском крае пока ограничиваются лишь добычей сурьмосодержащих руд. Из других стран СНГ добычу сурьмы осуществляют Таджикистан и Киргизия.

### **Геохимия**

Кларк Sb 0,00005%. В различных типах изверженных пород содержания Sb мало изменяются. Сурьма выносится из магматического очага в виде комплексных ионов, обладающих высокой летучестью. В зоне окисления сурьма рассеивается, не образуя значащих концентраций.

### **Минералогия**

Основной промышленный минерал сурьмы – антимонит  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , меньшее значение имеют ливингстонит  $\text{HgSb}_4\text{S}_7$ , тетраэдрит  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ , джемсонит  $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$ , буланжерит  $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ , в зоне окисления образуются вторичные минералы – валентинит  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  и сервантит  $\text{Sb}_2\text{O}_4$ .

### **Промышленные типы руд и кондиции**

1. Монометалльные сурьмяные руды (содержание колеблется от 2 до 12%, бортовое – от 0,7 до 1,5%).
2. Комплексные сурьяно-ртутные руды, полезными компонентами которых являются Sn, W, Cu, Pb, Zn, а также Au, Ag, платиноиды.

## Промышленные типы месторождений

### Эндогенные месторождения

*Гидротермальные (плутоногенные) месторождения*, формация кварц-золото-антимонитовая. Рудовмещающие породы – черносланцевые и сероцветные глинисто-песчаниковые. Месторождения связаны с формацией диорит-гранодиоритовой. Рудные тела жильной формы локализуются в зонах сбросо-сдвигов. Наряду с простыми жилами встречаются согласные четковидные и седловидные тела, зоны прожилково-вкрапленной минерализации.

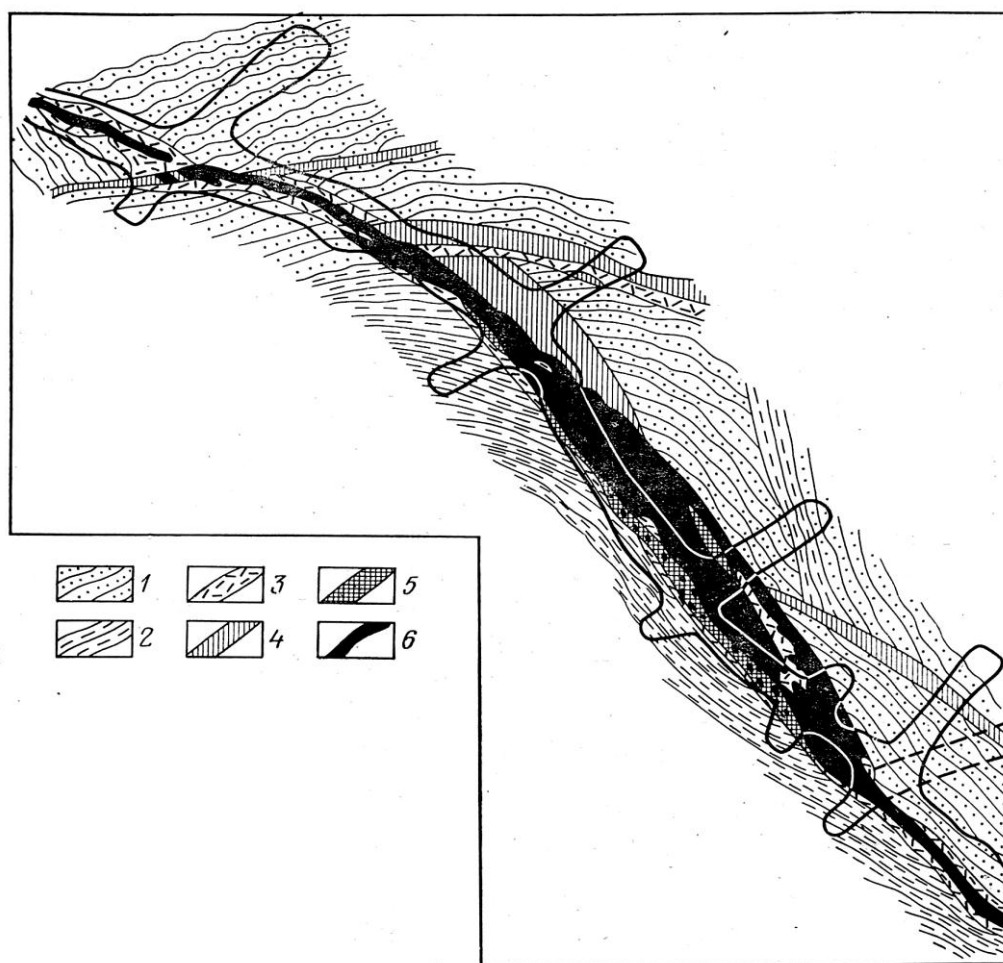


Рис. 17. Строение рудного тела месторождения Сарулах, по П. Полянскому: 1 - песчаники; 2 - алевролиты; 3 - катаклазированные породы; 4 - зоны дробления и рассланцевания; 5 - кварцевая жила с гнездово-вкрапленными сурьмяными рудами; 6 - массивные сурьмяные руды.

В составе руд главная роль принадлежит антимониту, бертьериту, высокопробному золоту. Жилы часто сопровождаются ореолами прожилково-вкрапленной сульфидизации (пирит, арсенопирит) с повышенной золотоносностью. Руды отличаются высоким качеством: среднее содержание сурьмы в рудах составляет от первых единиц до первых десятков процентов, золота - до десятков граммов на тонну породы.

Наиболее значительные месторождения этого типа находятся в Боливии, ЮАР, Франции. В России они известны в Якутии (Сарылах – рис. 17, Сентачан) на Енисейском кряже (Удере́йское).

*Гидротермальные (вулканогенные) месторождения*, формация кварц-антимонитовая. Месторождения располагаются в перивулканических и субвулканических зонах областей орогенеза и тектоно-магматической активизации. Преобладают жилы, наблюдаются минерализованные зоны дробления и брекчирования. Содержание Sb 1-10%, сопутствующие компоненты – Ag, W, Au. Экономическое значение месторождений этого типа в России малозначительно. Примером их может служить месторождение Салокачи на Дальнем Востоке.

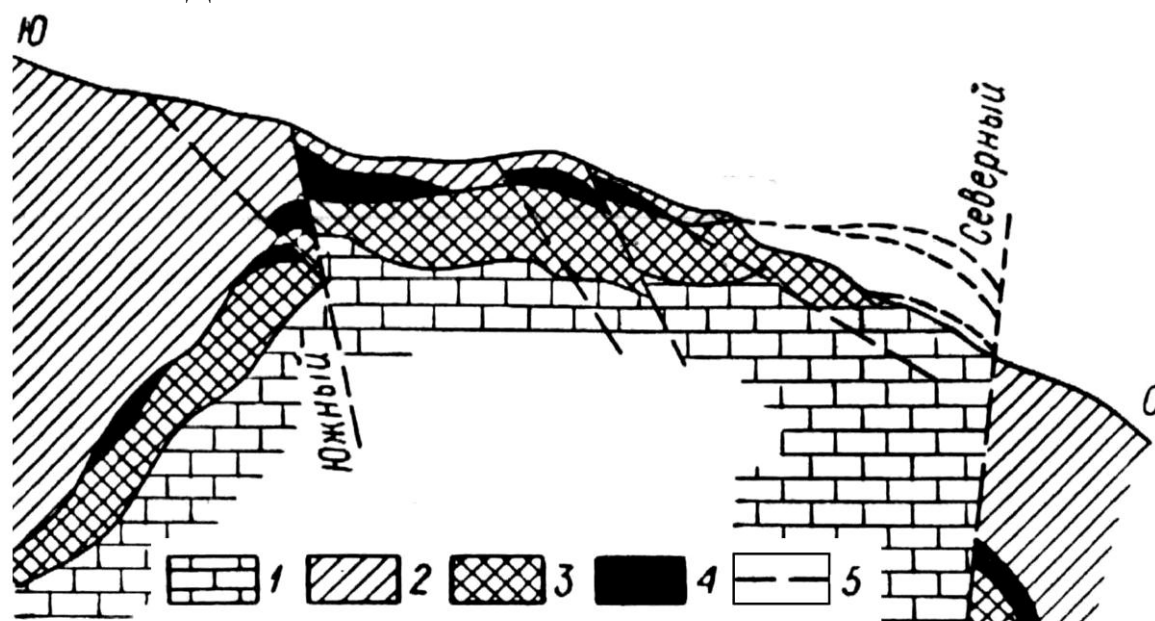


Рис.18. Поперечный разрез рудного тела месторождения Кадамджай, по А. К. Полякову: 1 - известняки; 2 - сланцы; 3 - бедная руда; 4 - промышленная руда; 5 - сбросы.

*Стратиформные (телетермальные) месторождения*, формация кварц-флюорит-антимонитовая. Для них типичны пластообразные рудные залежи, располагающиеся в терригенно-карбонатных комплексах на определенных стратиграфических уровнях. Прожилково-вкрапленное, иногда гнездовое оруденение локализовано в пластообразных залежах джаспероидов под сланцевыми экранами. Рудные залежи прослеживаются по простиранию на многие сотни метров, иногда первые километры при мощности от нескольких до 40-50 метров.

Главные промышленные минералы руд – антимонит и кварц, второстепенные – киноварь, марказит, пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, аурипигмент и реальгар. Гидротермальное изменение вмещающих пород выражается в окварцевании, карбонатизации и пиритизации. Руды сурьмяные и сурьмяно-ртутные. Содержание Sb 1-12%, в среднем – 1,5-3%.

Месторождения наиболее широко распространены в Среднеазиатской провинции (Кадамджай – рис. 18, Хайдаркан, Джиджикрут и др.). В Южном Китае находится уникальное сурьмяное месторождение Сигуаньшань.

## **РТУТЬ**

### **Общие сведения и области применения**

Ртуть известна с древнейших времен. В глубокой древности китайцы использовали ее в лечебных целях и знали о способности ртути растворять золото и серебро. За 300 лет до н.э. греки разрабатывали испанское месторождение Альмаден.

Ртуть обладает рядом необычных свойств: это единственный металл жидкий при нормальной температуре, способный растворять золото, серебро и другие металлы.

Ртуть используется в химической промышленности (45%) для получения хлора и каустической соды, красок, сулемы, каломели, различных катализаторов. Около трети ртути используется в электронной и электротехнической отраслях промышленности для осветительной аппаратуры, приборов. Для измерительных приборов, стоматологического оборудования и других целей используется около 45% ртути.

### **Обзор ресурсов**

Мировые запасы ртути составляют 900 тыс. т, а мировая добыча не превышает 3 тыс. т. Ведущая роль в минерально-сырьевой базе ртути принадлежит Испании, Алжиру, Китаю, Киргизии, Украине и Югославии. Основные производители Hg – Испания, Киргизия, Китай, Алжир.

В России ведется небольшая добыча Hg на Сахалинском месторождении в Краснодарском крае и на Алтае – Акташском месторождении. Освоение крупных месторождений Тамватнейского и Полянского невозможно без инвестиций.

### **Геохимия**

Кларк Hg 0,000008%. В различных типах изверженных пород содержания ртути мало изменяются. В ходе эндогенного рудогенеза геохимические пути Hg и Sb нередко тесно сближаются, что выражается в образовании комплексных ртутно-сурьмяных месторождений. Перенос ртути из магматических источников осуществляется, вероятно, в форме комплексных ионов в щелочных растворах.

### **Минералогия**

Главное промышленное значение имеет киноварь HgS, реже предметом добычи служит самородная ртуть, метациннабарит HgS (куб. синг.), блеклая руда – шварцит  $(\text{Hg,Cu})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ .

### **Типы руд и кондиции**

Ртуть извлекают из монометальных ртутных, комплексных сурьмяно-ртутных, полиметальных и ртутьсодержащих руд. Допустимое для разработки минимальное содержание в ртутных рудах составляет 0,1%.

## Промышленные типы месторождений

### Эндогенные месторождения

*Гидротермальные (вулканогенные) месторождения* включают в себя карбонатно-полиаргиллитовый, лиственитовый и опалито-алунитовый промышленные типы.

Месторождения карбонатно-полиаргиллитового типа связаны с зонами наземного вулканизма преимущественно андезит-дацитового состава, обнаруживают связь с вулcano-тектоническими структурами. Месторождения размещаются в карбонатных и алюмосиликатных породах, часто в алунитизированных кислых эффузивах и их туфах, зонах аргиллитизации.

Содержание Hg в рудах – десятые доли процента, редко – первые проценты. В рудах этого типа сосредоточено 14-15% запасов Hg.

Наиболее известные месторождения: Монте-Амиата в Италии, месторождения Алжира, Западно-Полянское на Чукотке – рис. 19, Акташ на Горном Алтае и другие.

Месторождения лиственитового типа. Рудные тела линзовидной или столбообразной формы локализуются вдоль контактов серпентинитов, основных вулканогенных пород с вмещающими терригенными породами. Листвениты помимо основной массы кварца и карбонатов содержат тальк, серпентин, хлорит, каолинит. В прилегающих терригенных породах лиственитизации сопутствует аргиллитизация.

Киноварь в большинстве случаев единственный рудный минерал. Значительно реже в некоторых месторождениях (Тамватнейское) в заметных количествах присутствуют минералы As и W, для некоторых зон характерно также Au. Доля месторождений лиственитового типа в суммарных запасах составляет 13-14%. Наиболее крупные месторождения находятся в США – Нью-Альмаден, Нью-Идрия. В России крупнейшими являются Тамватней (Чукотка), Чаган-Узун (Горный Алтай).

*Стратиформные месторождения* представлены кварц-диккитовым и карбонатным промышленными типами.

Месторождения кварц-диккитового типа представлены в основном монометальными киноварными рудами. Рудовмещающими являются мощные терригенные комплексы – песчаники с повышенной угленосностью. Рудные тела образуют согласные или пластообразные залежи прожилково-вкрапленных руд в пластах песчаников, претерпевших окварцевание и аргиллитизацию. Характерно многоярусное оруденение. Иногда наблюдаются жиллообразные, штокверкообразные тела, приуроченные к зонам разломов. Содержание ртути от сотых долей до 30% и более. Проблема генезиса не имеет однозначного решения. Ряд исследователей относит их к телетермальным, другие считают гидротермально-осадочными. В последние годы утверждается представление о сингенетичном накоплении ртути в процессе седиментации терригенных толщ и последующей перегруппировке при метаморфизме. Это наиболее важный тип месторождений Hg, на его долю приходится 42-44% мировых запасов. К этому типу относятся месторождения Альмаден в Испании, Никитовка на Украине, месторождения Китая.

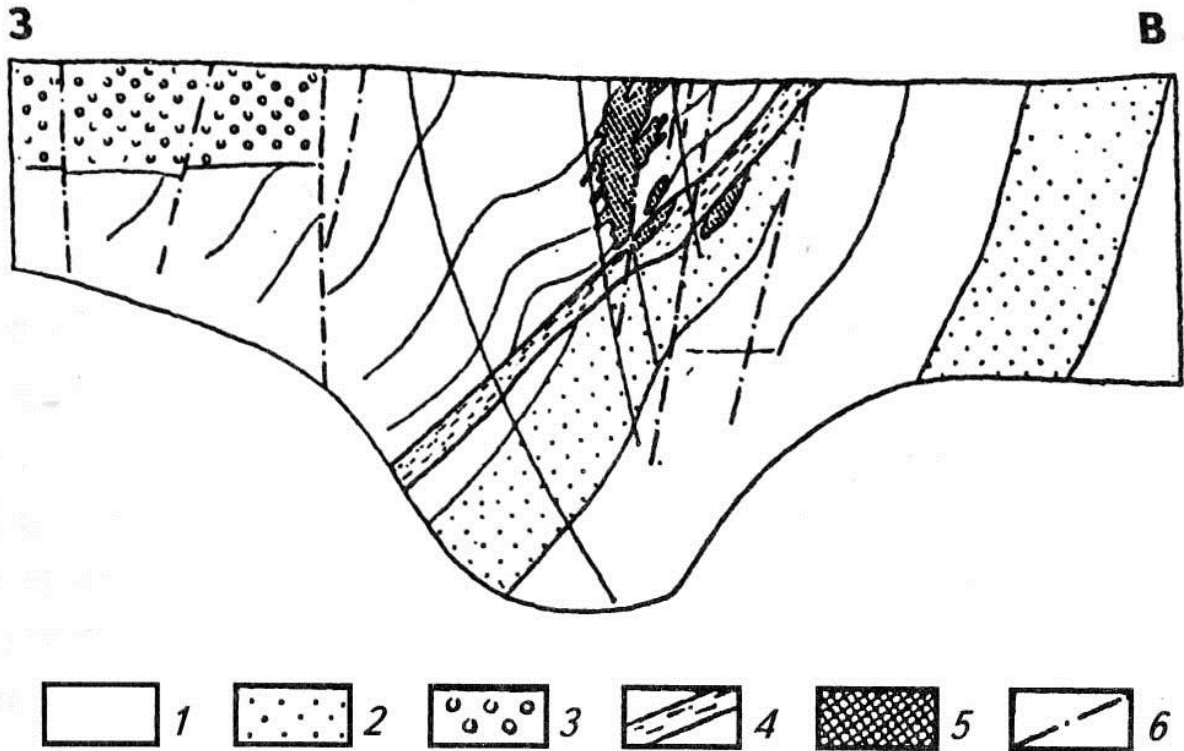


Рис. 19. Схема строения Западно-Полянского месторождения (по П.Бабкину, В.Кузьмину и др.): 1 - глинистые сланцы, алевролиты, песчаники триаса; 2 - песчаники триаса; 3 - конгломераты нижнего мела; 4 - зона Восточного сброса; 5 - рудные залежи; 6 - тектонические нарушения.

Месторождения карбонатного типа в России в настоящее время промышленного значения не имеют. Они широко развиты в Юго-Восточном Китае, известны в Югославии (Идрица). Месторождения монометалльные ртутные связаны с карбонатными и глинисто-карбонатными формациями. Рудные тела представлены согласными пластообразными залежами. Содержание Hg от десятых долей до 1%. Руды прожилково-вкрапленные, иногда слоисто-полосчатые, встречаются участки сплошных руд, нередко содержат самородную ртуть.

## РАЗДЕЛ V. БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ ЗОЛОТО

### Общие сведения и области применения

По мнению некоторых исследователей, золото было известно человеку за 6 тысяч лет до новой эры. На территории России золото добывали скифы.

Золотодобывающая промышленность России начала развиваться после открытия коренного месторождения в Карелии (Воицкий рудник, 1732 г.) и на Урале (Березовский рудник, 1742 г.).

Области применения золота разнообразны. Подавляющая часть добываемого золота хранится в виде слитков в национальных банках государств и служит обеспечением и валютой при международных платежах и расче-

тах. Во-вторых, золото с глубокой древности применяется для изготовления ювелирных изделий и чеканки монет. Третьей областью применения золота является промышленность: золочение металлов, сварка в особо ответственных деталях ракет, изготовление химически стойкой аппаратуры, радиоэлектроника. Применяется золото и в медицине.

### **Обзор ресурсов**

Общие запасы Au оцениваются в 90 тысяч тонн. Месторождения золота установлены в 117 странах мира. Наиболее богаты золотом ЮАР, США, Австралия, Канада, Россия. Всего в мире производится 2345 т. Главные производители – ЮАР, США, Австралия, Канада, Китай, Узбекистан, Бразилия, Россия.

В России в 2001 году было добыто 140 т. Главными золоторудными провинциями России являются Восточная Сибирь – районы Енисейский, Приленский, Восточно-Забайкальский; Якутия – районы Верхоянский, Алданский; Приамурье, Приморье. Наиболее известные месторождения - Олимпиаденское, Балейское, Карамкен, Кубака, Многовершинное, Хаканджа, Качкарское, Дарасун, Сухой Лог, Зун-Холбинское.

Основной объем добычи Au обеспечивают собственно золоторудные месторождения шести главных геолого-промышленных типов, а также золотосодержащие месторождения комплексных руд. К главным относятся: месторождения золотоносных конгломератов (метаморфогенные); эпитеpmальные (Au-Ag и Au-Te руд); месторождения жильных и прожилковых руд в расланцованных вулканогенно-осадочных породах зеленокаменных поясов; преимущественно вкрапленных руд в углеродистых породах песчанико-сланцевых формаций; пластовые месторождения джаспероидных руд в терригенно-карбонатных и карбонатных породах; россыпные месторождения. Примерно 11,4% Au добывают попутно из комплексных (главным образом медно-порфировых) месторождений.

В России с участием зарубежных компаний завершена детальная разведка Балейского рудного поля, месторождений Аметистового и Агинского (Камчатка). Работают на полную мощность два ГОКа – Олимпиаденский в Красноярском крае и Кубака в Магаданской области.

### **Геохимия**

Кларк Au 0,00000045%. Эндогенные месторождения часто связаны с гранитоидами. Процесс образования крупных эндогенных месторождений является многоэтапным. В экзогенных условиях происходит высвобождение золота из пород и руд и его накопление в зонах окисления и россыпях речного и прибрежно-морского происхождения. Метаморфизм может приводить к перераспределению и концентрации золота в виде весьма крупных месторождений. При метаморфизме древних россыпей образуются золотоносные конгломераты. Значительную роль при этом играют флюидно-метаморфические процессы, которые происходят в зонах динамометаморфизма среди черносланцевых толщ, обогащенных золотом, и в зеленокаменных поясах.

## Минералогия

Главный минерал золоторудных месторождений - самородное золото, которое может быть и тонкодисперсным и представлено крупными самородками. Наиболее крупный самородок, найденный в России, Большой Треугольник массой 36,22 кг. Одним из наиболее крупных самородков является Плита Холтермана (Австралия) массой 285 кг.

Другие минералы: электрум  $\text{AuAg}$ , аурикуприд  $\text{AuCu}_3$ , ауристибнит  $\text{AuSb}_2$ , теллуриды – калаверит  $\text{AuTe}_2$ , сальванит  $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_4$  и другие.

### Требования промышленности к качеству руд

Промышленными считают коренные месторождения с содержанием  $\text{Au}$  1-5 г/т и более и россыпи с минимальным содержанием  $0,1 \text{ г/м}^3$ . Качество золота определяется его пробностью – содержанием  $\text{Au}$  в 1000 единицах по массе. Пробность золота возрастает от низкотемпературных к высокотемпературным месторождениям. В золоте содержится свыше 40 элементов-примесей, в том числе  $\text{Ag}$ , платиноиды,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Sb}$  и другие.

### Промышленные типы месторождений

Э н д о г е н н ы е м е с т о р о ж д е н и я

Собственно золоторудные месторождения

*Скарновые месторождения* отличаются небольшими масштабами. Они залегают в терригенных и вулканогенно-терригенных толщах среди карбонатных горизонтов, прорванных малыми интрузиями умеренно кислого состава. Скарны имеют гранат-пироксеновый состав. На территории России они известны в Сибири (Ольховское), на Алтае. Наиболее крупные месторождения находятся в Канаде и Китае.

*Гидротермальные (плутоногенные) месторождения* широко распространены. Они встречаются практически во всех золотоносных провинциях России и СНГ. Наиболее крупные месторождения находятся на Северо-Востоке, в Якутии, Забайкалье, Восточных Саянах, на Урале. Известными зарубежными месторождениями являются Колар (Индия), Крипл-Крик (США), Бендиго (Австралия). К весьма крупным относится также месторождение Мурунтау в Узбекистане.

Месторождения генетически связаны с малыми интрузиями кислосреднего состава. Они формируются на завершающих стадиях развития складчатых поясов или на этапах тектоно-магматической активизации древних тектонических зон земной коры.

По составу руд выделяются следующие рудные формации: золото-кварцевая, золото-сульфидная и золото-кварц-сульфидная.

Рудное тело золото-кварцевой формации представляет собой штокверк, в составе которого залежи круто- и пологопадающие, кварцевожильные и прожилковые зоны. Зоны характеризуются высоким содержанием золота. Золото мелкое, иногда тонкодисперсное. Рудная минерализация представлена пиритом и арсенопиритом, встречаются сфалерит, галенит, висмутин. Нерудные минералы – кварц с небольшим количеством калиевого полевого шпата, альбита, турмалина, биотита. К этой формации относятся месторождение Мурунтау (Узбекистан), Качкарское на Урале.



Месторождения золото-кварц-сульфидной формации генетически связаны с умеренно кислыми породами, часто приурочены к дайкам. Форма рудных тел – жильная, иногда система лестничных жил (Березовское месторождение). Самородное золото (пробность – 800-900) ассоциирует с пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами. Среднее содержание Au – 10-20 г/т. Околорудные изменения – березитизация, лиственитизация, хлоритизация, окварцевание, серицитизация. Месторождения – Дарасун, Березовское, Колар (Индия).

*Вулканогенно-гидротермальные месторождения* связаны с вулканами дацит-андезит-риолитового ряда. Это близповерхностные золото-серебряные, золото-теллуридные и золотые руды, приуроченные к вулканическим постройкам (кальдеры, вулканокупольные структуры). Обычно это низкотемпературные месторождения со сложным составом руд и значительными концентрациями серебра. Основные рудные формации месторождений этого типа: золото-кварц-халцедон-сульфидная, золото-серебро-кварц-адуляровая, золото-сульфидная и другие.

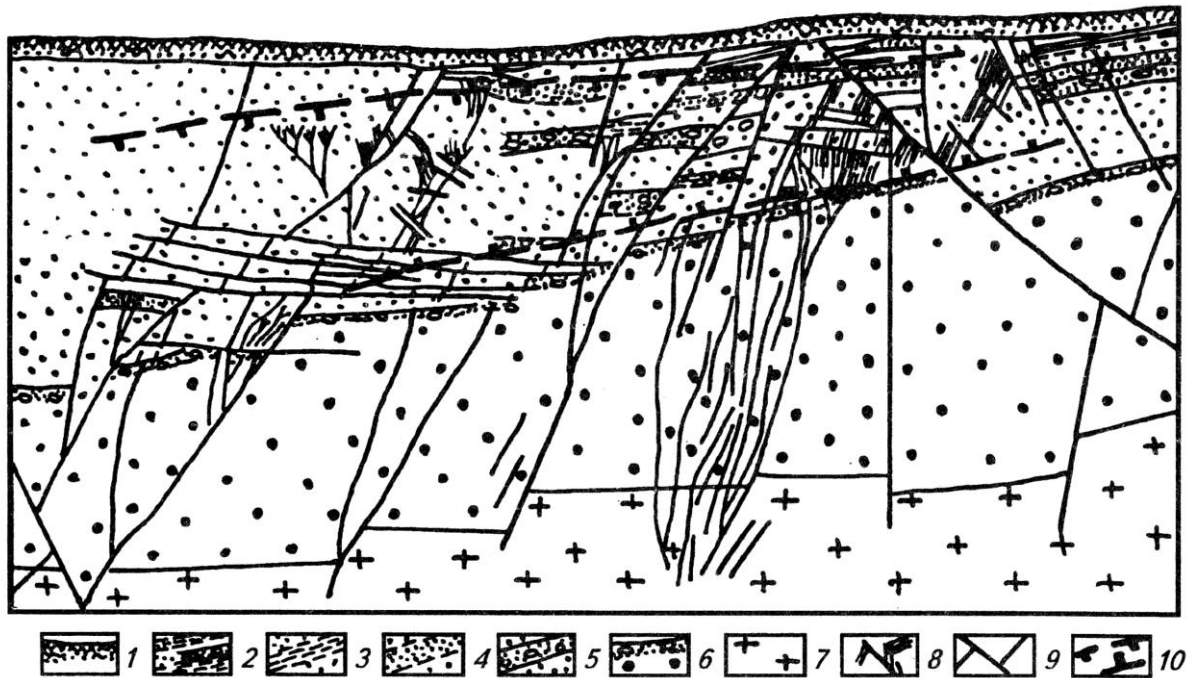
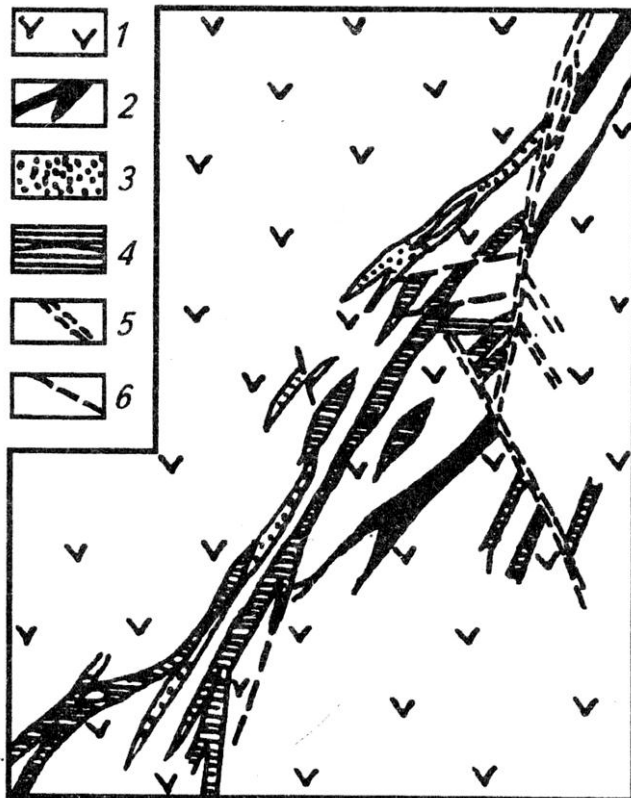


Рис.20. Схематический геологический разрез кварцево-жильных зон Тасеевского месторождения (по С.С.Максимову, Ж.В.Семинскому, В.Л.Филонюку, А.Л.Черных, 1987): 1 - четвертичные отложения; 2-5 - песчаники, алевролиты, конгломераты, вулканомиктовые конгломераты и гравелиты верхнебалеийской свиты с прослоями: 3 - алевролитов, 4 - песчаников, 5 - конгломератов; 6 - конгломераты с прослоями песчаников нижнебалеийской свиты; 7 - гранитоиды ундинского комплекса; 8 - кварцевые жилы и кварцево-жильные зоны; 9 - разрывные нарушения; 10 - зона повышенной рудоносности.

Месторождения золото-кварц-халцедон-сульфидной формации залегают среди вулканических толщ, приурочены или к кальдерам или к пучку радиальных разломов. Рудные тела имеют сложную форму, они характеризуются резкими изгибами, разветвлениями, участками переходят в прожилки и штокверки, сопровождаются множеством апофиз. В минеральном составе преобладают пирит, сфалерит, галенит, содержание сульфидов 15-20%. Золото находится в кварце вместе с петцитом и калаверитом, содержание высокое (до 50 г/т), распределение неравномерное. Отношение Au/Ag составляет 1:10, 1:12,5. Золото тонкодисперсное, отличается высокой серебристостью и примесью Sb, Hg, Se и Te. Пробность 650-750. Гидротермальные изменения выражаются в процессах окварцевания, адуляризации, каолинизации и карбонатизации.

В рудных телах развиты серебросодержащие блеклые руды, сульфосоли серебра, прустит, аргентит. Месторождения США – Сильвертон-Теллурид, Тасеевское (рис. 20) и Балейское (рис. 21) месторождения в Восточном Забайкалье).

Золото-серебро-кварц-адуляровые формации также приурочены к вулканотектоническим структурам, залегают в андезито-дацитах, риолитах и их туфах. Разрывная тектоника представлена полукольцевыми и радиальными разломами. Рудные тела представляют собой жилы мощностью до 1-3 м, которые образуют пучки. Вмещающие вулканиты метасоматически изменены. Наблюдается интенсивная пропилитизация, адуляризация, алунификация.



Рудные жилы имеют кварцевый, кварц-адуляровый и карбонатно-кварцевый состав. Рудные минералы (1-2% жильной массы) – пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, теннантит, сульфосоли серебра, пираргирит, прустит, электрум, золото (проба 500-600), серебро. Примером этой формации является Карамкенское месторождение – рис. 21.

Рис. 21. Жилы месторождения Карамкен (по М.Бородаевской и И.Рожкову): 1 - гидротермально измененные андезиты; 2-4 - жилы: 2 - адуляровой (продуктивной) стадии, 3 - второй кварц-карбонатной, 4 - третьей кварц-карбонатной;

5, 6 - сбросы: 5-интравенные, 6 - пострудные.

### Золотосодержащие месторождения

Известны золотосодержащие колчеданные и полиметаллические месторождения (Широкинское рудное поле, Вост. Забайкалье; Баймакский рудный район, Южный Урал). Они ассоциируют с базальтоидными вулканоплутоническими комплексами. На Алдане встречаются месторождения золота, связанные со щелочными и субщелочными интрузиями.

### Метаморфогенные месторождения

Месторождения, связанные с процессами метаморфизма, разделяются на два типа: флюидно-метаморфогенный и осадочно-метаморфизованный.

*Флюидно-метаморфогенные месторождения* являются одними из важных промышленных типов, так как, как правило, содержат значительные запасы золота и имеют широкое распространение. К ним относятся месторождения США (Хомстейк), Бразилии, Австралии, в России – Сухой Лог, Советское, Зун-Холбинское (Вост. Сибирь).

Основные особенности таких месторождений – приуроченность к зонам метаморфизма в зеленокаменных поясах или древних прогибах; залегание среди метаморфических песчано-сланцевых зеленокаменных или черносланцевых толщ в виде согласных или согласно секущих тел, контролируемых зонами рассланцевания и элементами складчатых структур (замковые части складок, мульды, флексуры и т.д.), приуроченность к толщам, обогащенным органическим веществом.

Генезис этих месторождений является сложным и дискуссионным. С одной стороны, они приурочены к метаморфическим толщам и тесно с ними связаны. С другой стороны, всеми исследователями отмечается наложенный характер золоторудной минерализации, контроль оруденения разломами, проявление околорудных изменений, что характерно для гидротермальных месторождений. Эти данные заставляют сделать вывод о длительном процессе рудообразования, который включает и накопление золота в стадию формирования вмещающих пород и при их метаморфизме, и концентрацию золота в виде рудных тел в связи с деятельностью глубинных флюидных систем. Наиболее правильно считать такие месторождения флюидно-метаморфогенными. Наибольшим распространением пользуются формации: золото-малосульфидные в черносланцевых толщах (Сухой Лог – рис. 22, месторождения Аллах-Юньского района в Якутии) и золото-кварц-сульфидные в зеленосланцевых толщах (Зун-Холбинское месторождение в Бурятии).

Месторождение Сухой Лог находится в Байкало-Патомском нагорье, сложено породами среднерифейского возраста, в разрезе которых существенную роль играют углеродистые терригенные и карбонатно-терригенные породы. Рудная зона с платиноидно-золото-кварцевой минерализацией приурочена к интенсивно березитизированным углеродсодержащим породам мощностью 50-250 м. В рудах установлено Au мелкое, высокой пробы – 890-950. Помимо золота присутствуют самородная платина, твердые растворы системы Pt-Fe-Cu и теллуридов Pd и Ag, а также вольфрамит, шеелит, монацит, теллуриды Au и Ag, Bi и Ag, пирит

(преобладает) и целый ряд сульфидов. Металлы платиновой группы представлены не только собственными платиновыми минералами, но и локализуются в серицит-графитовой массе, в битуминоидах, в теллуридах.

Среднее содержание Au 2,5 г/т, Pt от 0,91 до 1,17 г/т, Os – 1 г/т.

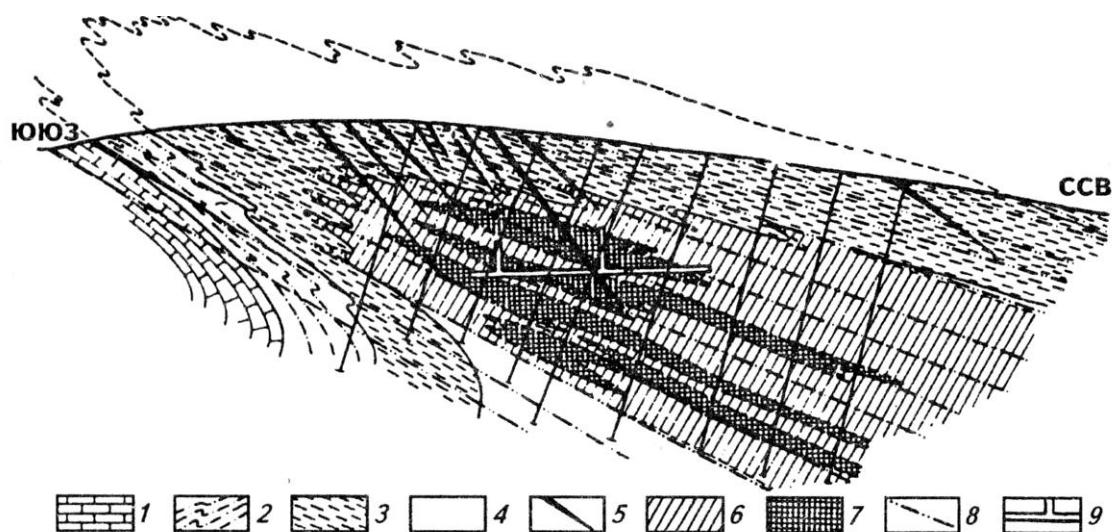


Рис.22. Поперечный разрез зоны прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализации, сопровождающейся золотоносными кварцевыми жилами месторождения Сухой Лог (по В.А.Буряку): 1 - известковистые алевролиты и алевросланцы; 2 - алевросланцы и алевролиты, преимущественно грубозернистые; 3 - "углистые" филлитовидные алевролиты; 4- углистые кварцево-серицитовые алевросланцы; 5-кварцевые жилы; 6,7 - ореол развития золото-сульфидной минерализации: 6- умеренной, 7 - повышенной; 8 - кливаж; 9 - подземные горные выработки.

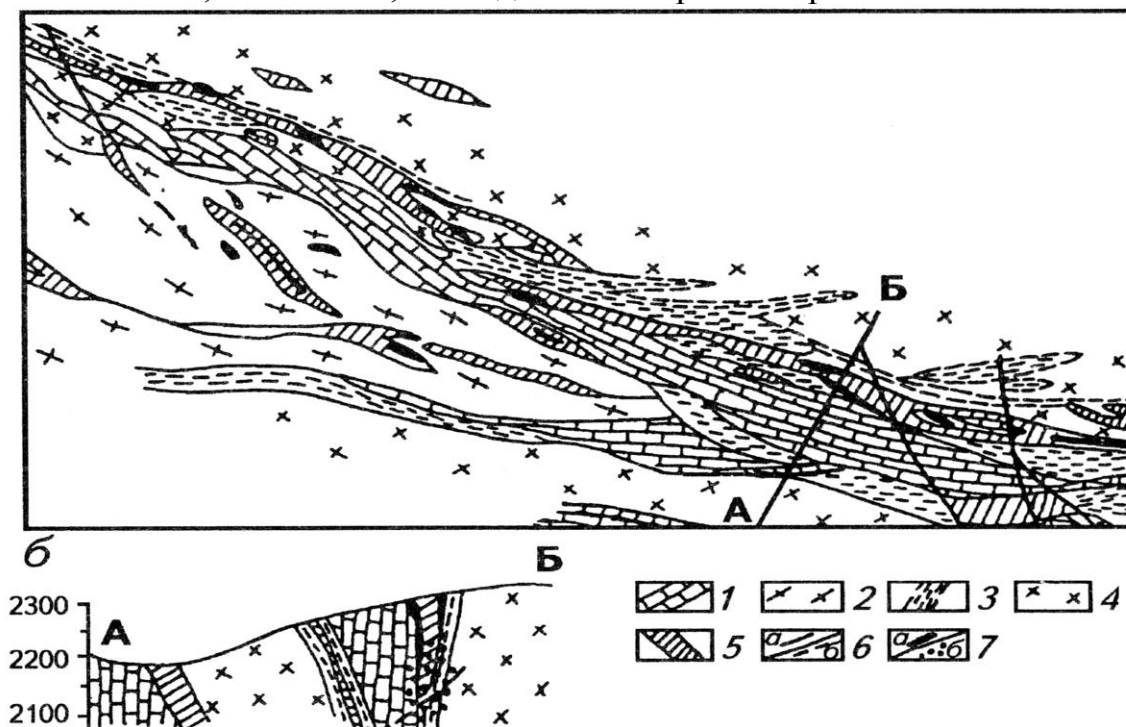


Рис. 23 Схематическая геологическая карта (а) и разрез (б) Зун-Холбинского месторождения (по П.Рошкетову, Г.Шуляку и др.): 1 - из-

вестняки; 2 - гранитогнейсы, гнейсы; 3 - углистые сланцы, филлиты, милониты; 4 - плагиограниты, граниты, гранодиориты; 5 - зоны катаклаза и трещиноватости; 6 - достоверные (а) и предполагаемые (б) разломы; 7 - золотоносные кварц-сульфидные жилы (а) и вкрапленная рудная минерализация (б).

Золотое оруденение в месторождениях золото-кварц-сульфидной формации в зеленокаменных породах (Зун-Холбинское – рис. 23) локализуется в вулканогенно-терригенных и карбонатных породах верхнего протерозоя: хлорит-серицитовых, углисто-серицит-хлоритовых сланцах и известняках. Рудные тела – полосчатые жилообразные залежи, согласные с крутопадающей толщей сланцев и карбонатных пород. Они расположены кулисообразно, прослеживаются на 100-700 метров при мощности до 3 метров. Ведущими типами руд являются кварц-золото-платиноидно-сульфидный и золото-кварцевый в лиственитизированных и березитизированных окварцованных углеродисто-кремнистых сланцах, вулканитах и мраморах. В минеральном составе преобладают галенит, пирит, сфалерит, встречаются блеклые руды, халькопирит, золото, серебро, платина самородная, сперрилит (0,01-29,4 г/т). Золото встречается в виде мелкой вкрапленности в кварце, реже в сульфидах. Содержание его колеблется от 2 до 140 г/т. Максимальное содержание Pt (0,01-29,4 г/т) и Pd (до 4 г/т) выявлены в кварц-сульфидно-теллуридных рудах. В кварц-золото-сульфидных рудах до 2,21 г/т Pt и 0,68 г/т Pd.

*Осадочно-метаморфизованные месторождения.* Месторождения этого промышленного типа являются главным источником золота и платиноидов во многих странах (ЮАР, Канада, Бразилия). Их уникальность определяется значительными размерами, комплексным составом руд, кроме золота и урана в них содержатся серебро и платиноиды (Ir, Ru, Os).

Месторождения приурочены к толщам метаморфизованных конгломератов протерозойского возраста. Это древние россыпи, преобразованные при последующих деформациях и метаморфизме зеленосланцевой фации с перегруппировкой первичных минералов. Форма рудных тел – пластовая и лентообразная. В плане структура рудных полей веерообразная.

Месторождение Витватерсранд – рис. 24. Нижний структурный этаж сложен гранитогнейсами архея. Верхний структурный этаж представлен протерозойскими отложениями. Золотоносная толща Витватерсранд состоит из ритмичных серий конгломератов, песчаников, сланцев. Пачки рудоносных конгломератов образуют «риффы», содержащие золото и уран. Риффы представляют собой группы сближенных горизонтов конгломератов мощностью от первых метров до первых десятков метров. Мощность риффов от 30 до 400 м, протяженность по простиранию до 70 км. Протяженность всей полосы около 200 км. Рудные тела вскрыты горными выработками до глубины 3600 м и скважинами на глубине 4600 м.

Конгломераты сложены на 80% окатанной галькой кварца или кварцита. Цемент имеет кварц-биотит-хлорит-эпидотовый состав, содержит углистое вещество и рудную минерализацию. В цементе содержится до 5-

10% сульфидов. Установлено более 70 минералов, в том числе пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, молибденит и другие минералы. Уран представлен уранинитом, тухолитом, браннеритом, настураном. Содержание  $U_3O_8$  около 0,03%, иногда выше. Золото содержится в сульфидах и в виде мелких обломков в цементе. Содержание золота 8-20 г/т, пробность 920-935. Встречаются самородное серебро, прустит, платиноиды с Os, Ir, Rh.

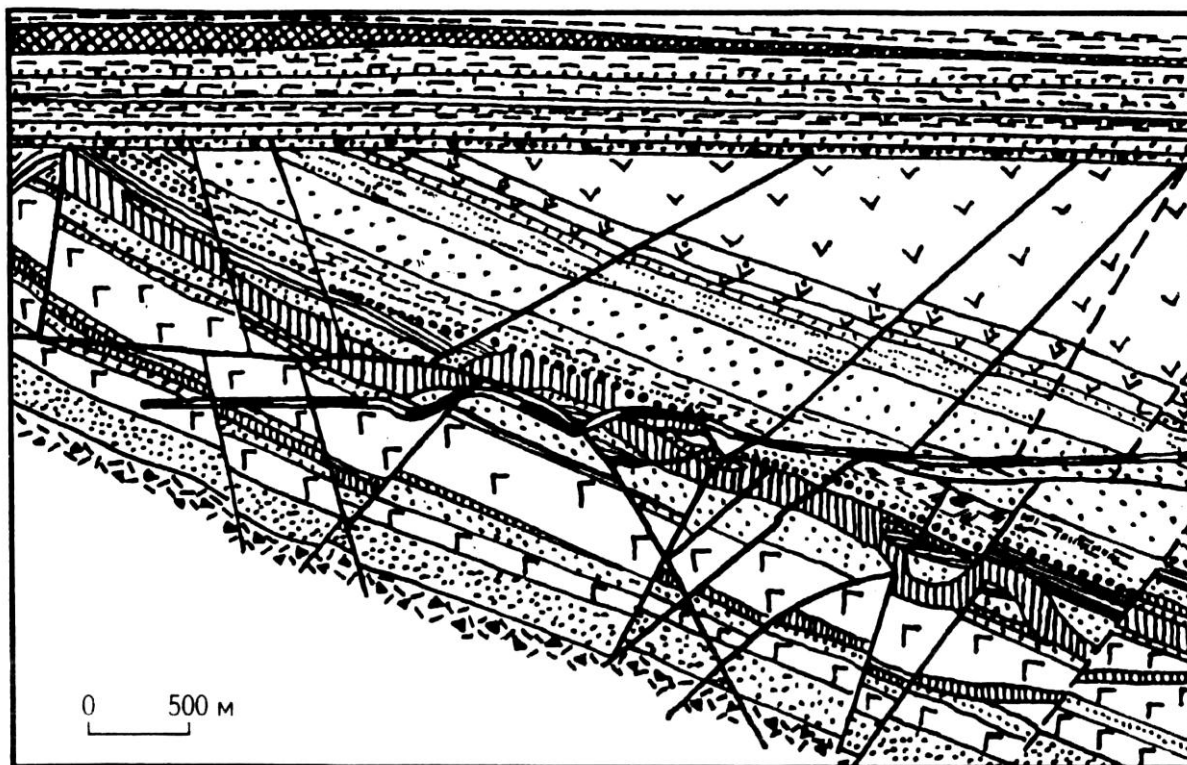


Рис.24. Рудоносные конгломераты рудника Лесли-Голд, Витватерсранд (по К.Твидлу): 1-4 - палеозой: 1 - дайки долеритов, 2 - угленосные отложения, 3 - долериты, 4 - породы основания; 5-16 - протерозой: Вентердорпская система: 5 - амигдалоидные лавы, 6 - порфириды и их туфы, 7 - диабазы (силлы), 8-16 - Витватерсрандская система - формация Кимберли-Эльсбург: 8 - сланцы, 9 - кварциты, 10 - зона прерывистых рифов, 11 - зона кварцитов, 12 - риф Кимберли, 13 - сланцы Кимберли, формация Мейн-Берд, 14 - амигдалоидные лавы, 15 - кварциты, 16 - голубые гравелиты; 17 - разрывные нарушения.

Происхождение месторождения полигенное – осадочно-метаморфогенно-гидротермальное. Большая часть исследователей считает, что конгломераты отлагались в конусах выноса рек. Переотложение урана и золота происходило многократно.

Из руд этого самого крупного месторождения было извлечено 34600 т золота, 1500 т серебра, 1500 т платиноидов, 100 тысяч тонн урана. С 1979 по 1995 годы добыча золота составила 10725 т.

### Экзогенные месторождения

*Месторождения выветривания.* Концентрации золота в промышленных масштабах образуются часто на залежах сульфидных золотосодержащих руд. Содержание его в несколько раз выше, чем в первичных рудах. Гипергенное золото встречается в виде кристаллов, пленок.

*Россыпные месторождения* распространены во всех золоторудных районах мира. На территории России известными районами развития золотоносных россыпей являются Восточная Сибирь (Енисейский кряж, Ленский и Алданский районы), Северо-Восток, Забайкалье, Приамурье.

Золото концентрируется в элювиальных, делювиальных, аллювиальных и прибрежно-морских россыпях, наибольшее значение имеют аллювиальные россыпи.

Источником золота в аллювиальных россыпях являются коренные месторождения, разрушенные в процессе выветривания. Золото отлагается в речных долинах в виде лентообразных, шнурковых, линзо- и гнездообразных тел. Отложение золота из водных потоков происходит под влиянием россыпеобразующих барьеров: изменения уклона реки, положительные формы рельефа, участки расширения или сужения долины, эрозионные канавы и ложбины и другие. Наиболее крупные зерна золота (более 0,5 мм) встречаются вблизи коренных источников.

В России широко известны россыпи Сибири (Бодайбо), Якутии (Туора-Тас), Приамурья, Северо-Востока (Билибинский район).

## МЕТАЛЛЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

### Общие сведения и области применения

В состав металлов платиновой группы кроме платины входят палладий, иридий, родий, осмий и рутений.

В XVI в. в Южной Америке был обнаружен в золотоносном россыпном месторождении тусклый белый металл, его называли уменьшительным словом «серебришко» от испанского слова plata. Научное описание этого металла сделано в 1741 году.

В России Pt впервые была найдена на Урале в 1819 году. В конце XIX в. Pt находят в золотых россыпях Восточной Сибири и в Вилюйском районе Якутии.

Использование платиноидов обусловлено их уникальными физико-химическими свойствами: тугоплавкостью, химической стойкостью, электропроводностью, пластичностью и другими. Платиноиды применяются как катализаторы (50%), в электротехнической, нефтехимической, автомобильной, медицинской отраслях промышленности (25%), при производстве химической аппаратуры и антикоррозионных покрытий (15%), а также ювелирном деле (10%).

## Обзор ресурсов

Общие запасы платиноидов зарубежных стран составляют 60180 т, из которых более 96% приходится на ЮАР, ресурсы оцениваются в 76000 т. Основное количество металлов платиновой группы (МПГ) заключено в недрах следующих стран: ЮАР, Канада, США, Австралия. Главная роль в ресурсах и запасах платиноидов принадлежит платиноидно-хромитовым (42%), малосульфидным платиноиднометалльным (34,2%) и сульфидным платиноидно-медно-никелевым (23,4%) месторождениям.

По запасам и добыче платиноидов Россия занимает одно из ведущих мест в мире. При этом 99,4% запасов приходится на сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения (Норильский район, месторождения Кольского полуострова). Из этих руд в стране добывается 98,5% платиноидов.

Значительные перспективы связываются с новым нетрадиционным типом пластовых платиноидных месторождений гидротермального генезиса в черносланцевых комплексах (золото-платиновые проявления Онежской и Ветренопоясной впадин в Южной Карелии). Проведена детальная разведка Федорово-Панковского месторождения в Мурманской области. Изучаются платиносодержащие рудопроявления ВКМ [ 2, 3] и других районов страны.

Россыпи разрабатываются на Урале более 170 лет. Выявленная в Хабаровском крае Кондерская россыпь по количеству и содержанию платиноидов превышает уральские россыпи. Разрабатываются россыпи Корякского нагорья. Проведены разведочные работы на россыпных месторождениях Сев. Камчатки и на Таймыре.

### Кондиции

Промышленными считаются коренные руды с содержанием платиноидов от 3-5 до 10-15 г/т, в россыпях – 0,1 г/м<sup>3</sup> песков.

### Геохимия и минералогия

Средние содержания платиноидов в земной коре составляют миллионные доли процента.

В эндогенных процессах платиноиды связаны с глубинными ультраосновными и основными магмами.

В экзогенных процессах металлы платиновой группы накапливаются в аллювиальных и других россыпях.

Платиноиды содержатся в составе более 90 минералов. Среди них выделяются: 1) самородные платиноиды и природные сплавы – изоферроплатина Pt<sub>3</sub>Fe, осмирид Ir,Os; иридосмин Os,Ir; рутениридосмин Ru,Os,Ir; 2) интерметаллические соединения с Sn, Pb, Bi, Sb и Te; 3) сульфиды, арсениды, сульфоарсениды – куперит PtS<sub>2</sub>, сперрилит PtAs<sub>2</sub>.

### Промышленные типы месторождений

#### Эндогенные месторождения

Месторождения разделяются на собственно платиноносные и платиносодержащие. Классификация платиноидных месторождений приводится



по Д.А.Додину и Н.М.Чернышову [2, 3]. Ими выделяются среди эндогенных следующие формации:

сульфидная платиноидная медно-никелевая;  
 малосульфидная платинометальная;  
 платиносодержащая хромитовая, титаномагнетитовая, черносланцевая, полиметальная, золоторудная.

Среди платиноносных месторождений выделяются раннемагматические типа рифа Меренского в Бушвельдском массиве (платина-хромит-медно-никелевая формация) и позднемагматические типа Нижне-Тагильского месторождения (хромит-платиновая формация).

Месторождения, содержащие платиноиды в качестве попутных компонентов, относятся к следующим группам: ликвационные медно-никелевые и сульфидные никелевые норильского типа (медь-никель-платиновая формация); хромитовые с платиноидами кордильерского типа; комплексные медно и молибден-меднопорфировые месторождения.

*Магматические (ликвационные) месторождения, формация платиноидно-медно-никелевая сульфидная* – наиболее важный для России тип, к которому относятся крупнейшие Талнахское и Октябрьское месторождения (Норильский рудный район), которые по содержанию и запасам МПГ не имеют себе равных среди других сульфидных платиноидно-медно-никелевых объектов мира. Описание формации приводится в разделе «Никель». Платиновая минерализация сконцентрирована в сульфидных рудах нижних рудоносных толщ интрузивов и в экзоконтактовых метасоматитах. Породы представлены габбро-долеритами.

Платиноносные рудные тела относятся к нескольким типам: пластообразные пологозалегающие слои с вкрапленностью пентландит-халькопирит-пирротинового состава; инъекционно-магматические сплошные руды плитообразных залежей, линз и жил; инъекционно-метасоматические прожилково-вкрапленные руды; брекчиевидные руды.

Наибольшие концентрации платины и палладия установлены в линзах и жилах сплошных руд внутри интрузивов. По содержаниям МПГ месторождения являются уникальными: содержание Pd достигает 200 г/т (ранее до отработки до 2 кг/т), Pt – до 60 г/т, Rh – до 17 г/т. Максимально обогащенными Pd являются руды Октябрьского, а Ir и Ru - Талнахского месторождения.

Состав руд отличается большим количеством минералов и разнообразием минеральных форм платиноидов. На Октябрьском месторождении установлены минералы платины и палладия. Главными являются паоловит  $Pd_2Sn$  и соболевскит  $PdBi$ . На Норильском месторождении преобладают ферроплатина  $(Fe,Ni,Cu)Pt$  и рустенбургит  $(Pt,Pd)_3Sn$ , встречаются железистая платина  $Pt_3Fe_2$ , плюмбопалладинит  $Pd_3Pb_2$ , сперрилит  $PtAs_2$  и другие.

Минералы платиноидов образуют микроскопические мономинеральные выделения размером 1-15 мкм или полиминеральные сростки до 70 мкм.

В Печенгском районе (Кольский полуостров) запасы МПГ более чем в 100 раз уступают норильским. Наиболее значительными в этом районе являются Ждановское и Заполярное месторождения. Из платиновых минералов здесь установлены сперриллит, атоцит, меренскит, майченерит и другие. Содержание Pt – 0,02-0,23 г/т, Pd – 0,04-0,39 г/т.

К менее значительным по запасам и ресурсам сульфидным платиноидно-медно-никелевым принадлежит ряд месторождений и рудопроявлений ВКМ, изучаемых группой научных сотрудников под руководством проф. Н.М.Чернышова. Это Мамонский тип месторождений, связанных с интрузиями дунит-перидотит-габбро-норитовой формации. Главным концентратором МПГ являются магнезиальные дифференциаты (дуниты, перидотиты, оливиновые пироксениты). Содержания платиновых металлов составляют: 1,109 г/т (Pt – 0,02-0,8, среднее 0,091; Pd – 0,005-0,06, среднее 0,018) в дунитах. Содержания платиновых металлов заметно снижаются в перидотитах и серпентинитах. Общая закономерность для месторождений мамонского типа – преобладание Pt над Pd.

К этой же формации относится и Еланский тип, характеризующийся платино-палладиево-медно-кобальт-никелевыми рудами, ассоциирующими с телами ортопироксенит-норит-диоритов. Выполненное исследователями [2] изучение распределения МПГ показало, что Еланский комплекс отличается невысокими концентрациями платиноидов и устойчивым преобладанием Pd над Pt (Pt – 0,004-0,015 г/т, Pd – 0,01-0,04 г/т). Наиболее важный интерес представляет сульфидное платиноидно-медно-никелевое оруденение в ортопироксенитах (Центральное рудопроявление).

Из зарубежных к этой формации относится ряд месторождений Бушвельда (ЮАР), Садбери (Канада), Камбалда (Австралия).

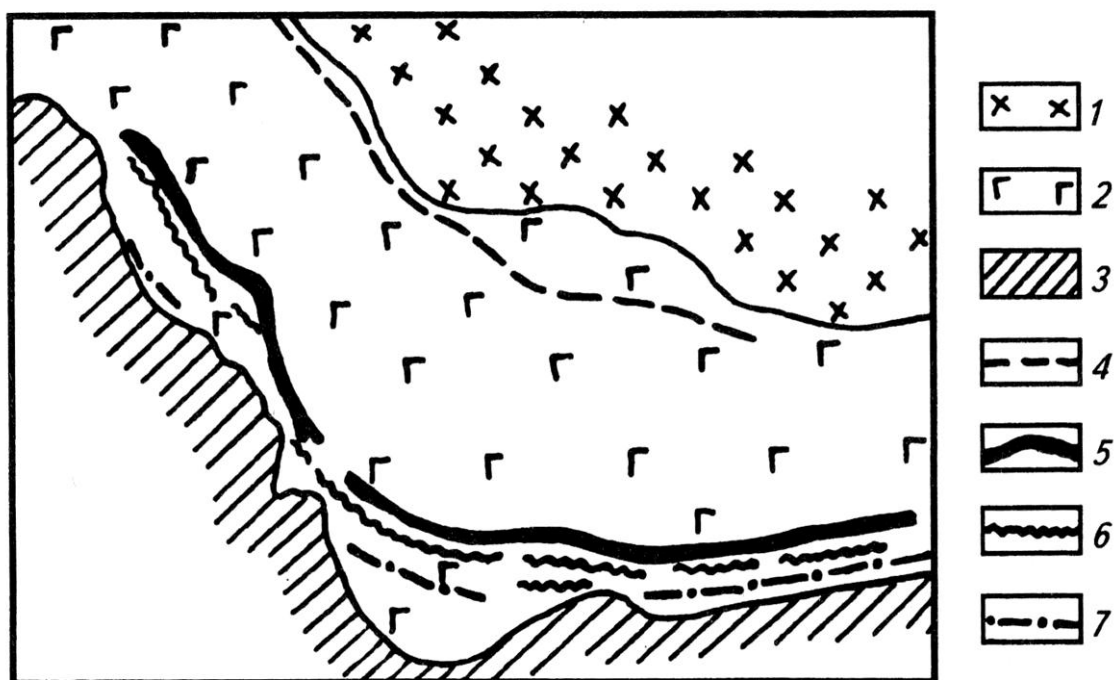


Рис. 25. Хромитовые и платиновые месторождения площади Рустенбург массива Бушвельд (по Д.Куну): 1 - граниты; 2 - нориты; 3 - осадочные

породы; 4 - тела титаномагнетитов; 5 - Риф Меренского; 6 - тела хромитов; 7 - разрывные нарушения.

*Раннемагматические месторождения*, формация малосульфидная платинометальная. Наиболее крупным и типичным представителем этой формации является Риф Меренского (ЮАР), сюда же относится месторождение Стиллуотер, являющееся главным источником МПГ в США. Риф Меренского сложен перемежающимися пироксенитами и анортозитами с гнездами и прожилками хромитов. По простиранию он прослежен на 230 км при средней мощности 0,8 м, рис. 25. Минеральный состав Рифа: ромбический пироксен, битовнит, биотит, хромит, магнетит, ильменит. Участки вкрапленных руд содержат пирротин, пентландит, халькопирит, кубанит, миллерит. Минералы платиновой группы представлены ферроплатиной, куперитом, сперрилитом, теллуридами платины и палладия. Содержание платиноидов 5-15 г/т. Доля платины в рудах составляет 60%, палладия – 25%, остальное приходится на другие платиноиды. Ресурсы оцениваются в 18 тысяч тонн.

Платиновая минерализация Бушвельда формировалась на разных этапах магматического процесса. Руды Рифа Меренского рассматриваются большинством исследователей как раннемагматические.

*Позднемагматические месторождения*, формация платиносодержащих хромитовых руд. Для зарубежных стран важнейший в промышленном отношении тип. Он представлен месторождениями Бушвельда, Уральскими месторождениями (Нижне-Тагильское), Кемпирсайско-Рай-изским, Алданским и Гулинским месторождениями.

Платиновая минерализация Бушвельда формировалась на разных этапах магматического процесса. Наряду с раннемагматическими в районе известны позднемагматические крутопадающие трубообразные залежи платиноносных дунитов. Залежи имеют диаметр 10-100 м и прослеживаются на глубину до 300 м.

Минеральный состав – хромшпинелиды, оливин, пироксены, титаномагнетит в сростках с минералами платиноидов: поликсомом, самородной платиной, ферроплатиной, иридийной платиной. Содержание платиноидов в аллювиальных россыпях изменяется от нескольких миллиграммов до сотен граммов на 1 м<sup>3</sup>.

Уральский (нижнетагильский) тип представлен платиноносным поясом, который прослеживается на 900 км вдоль Главного Уральского разлома. Ряд массивов пояса при разрушении образовали гигантские россыпи платиноидов, которые начали отрабатываться на Урале с 1824 года. Месторождения связаны с массивами дифференцированных ультраосновных пород. Платиноносными являются дуниты (рис. 26). В них отмечаются шпиры, гнезда, жилы, прожилки хромитов (преобладают магнохромит и хромит). Для хромититов Нижне-Тагильского массива характерны следующие содержания (в г/т): Pt – 0-19,4; Pd – 0-2,22; Rh – 0-0,043; Ru – 0,26-0,43; Ir – 0-0,2; Os – 0,27-0,56.

Общий перечень платиновых минералов в платино-хромитит-дунитовых месторождениях Платиноносного пояса Урала следующий: Pt самородная, железистая, иридная, медистая, никелистая, поликсен, изоферроплатина, платинистый иридий, иридий самородный, осмирид, иридоосмин, самородный осмий, куперит и др. Были встречены платиновые самородки, наиболее крупный из которых весил 427 г.

Платиносодержащие хромитовые руды, приуроченные к дунит-гарцбургитовому массиву, известны на Полярном Урале (Рай-Изское месторождение). Максимальные содержания платины установлены в дунитах (до 0,1 г/т) и хромитовых рудах (до 0,3 г/т). Платиноиды представлены изоферроплатиной (с Ir), осмиридом, иридоосмиридом, рутениридоосмиридом, а в зонах дробления и серпентинизации – самородной платиной, куперитом, лауритом и др.

Потенциально промышленно-значимыми являются месторождения Корякско-Камчатского пояса, относящиеся к этому типу, месторождения Алданского типа (Кондер, Чаф и др.).

Платиносодержащая титаномагнетитовая формация. В целом ряде ванадийсодержащих титаномагнетитовых месторождений установлены Pt минералы. Выделяются пудожгорский, качканарский, волковский и чинейский типы месторождений.

В Пудожгорской габбро-долеритовой интрузии рудный горизонт представлен окисными титаномагнетитовыми рудами. Рудный горизонт – концентрат Pt, Pd, Au, Cu и Ni. Содержание МПГ и золота (в г/т): Pd – 0,075-0,088, Pt – 0,028-0,029, Au – 0,034-0,041. В рудах установлены теллуриды Pd с небольшой примесью Bi и электрум.

В рудах Качканарского и Гусевогорского месторождений установлены МПГ от следов до 0,75 г/т, среди которых преобладают Pt и Pd. Среди минералов установлены сперрилит, стибиопалладинит, медистый Pd, палладистая Pt, поликсен, ферроплатина, иридоосмин, осмирид, осмий и др.

Волковский тип охарактеризован в разделе «Медь».

Чинейское месторождение железо-титан-ванадиевых руд (Сев. Забайкалье) является крупнейшим в России по ванадию и намечено для разработки. Оно имеет многие черты сходства с Волковским месторождением. Максимально обогащенными платиновыми минералами являются породы железорудной серии, в которой преобладают Pt (0,2-0,3 г/т) и Pd (0,1-0,5 г/т).

Платиносодержащая меднорудная формация. Медистые песчаники ряда месторождений: Удоканского, Сухаринского, Предуральского прогиба содержат повышенные количества платиновых металлов. На Удоканском месторождении отмечаются следующие содержания благородных металлов (в г/т): Pd – 0,2-0,08; Ag – 77-675; в меньшей мере Au -0,1; Pt -0,03; в месторождениях Предуральского прогиба Pt до 0,6; Pd – 2,4; Rh до 4,1; Ворового бора Заонежья до 7,1 Pd.

Платиносодержащая соленосная формация. В нерастворимом остатке, выделенном из красных сильвинитов Верхнекамского месторождения ка-

лийных солей, отмечается содержание благородных металлов (в г/т): Pt – до 24,2; Pd – 3,4; Rh – 0,43; Au – 25 и Ag – 172.

#### Полигенные месторождения

К полигенным месторождениям относится платиносодержащая полиметальная формация черных сланцев и метасоматитов. Здесь выделяются:

онежский тип – кратко охарактеризован в разделе «Ванадий»;

сухоложский тип – описан в разделе «Золото»;

тимской тип – ниже приводится его характеристика.

Золото-платинометальное оруденение, ассоциирующее со стратифицированными высокоуглеродистыми образованиями и их метасоматитами, установлено во всех структурно-вещественных комплексах Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Наибольшие содержания благородных металлов связаны с высокоуглеродистыми породами оскольской серии (Тим-Ястребовская золото-платиноносная структура КМА и др.), приуроченными к краевым частям позднеархейских зеленокаменных поясов. Среди минералов МПГ установлены [2]: самородный палладий, золото-платиновый палладий, самородная платина, а также селенид платины и палладия и более сложные соединения.

Сложный характер распределения МПГ и Au и сопутствующих им элементов в металлоносном черносланцевом комплексе ВКМ является, вероятно, следствием не только разнотипных первичных источников рудного вещества, но и последующего перераспределения в процессе метаморфизма и метасоматоза.

#### Экзогенные месторождения

Россыпные месторождения формируются при разрушении сравнительно бедных, но значительных по площади и запасам интрузивных массивов. По типу разрушающихся коренных месторождений россыпи подразделяются на следующие типы: уральский (корякский) иридиево-платиновый; алданский иридиево-платиновый, иридиево-осмиево-золото-платиновый; альпийский платинометальный норильский; золото-родиево-платиновый виллойский. Наибольшее промышленное значение имеют первые два типа. Россыпи Урала в течение длительного времени были главным источником Pt во всем мире. Наиболее богатые россыпи были установлены в Нижнетагильском, Исовском, Косьвинском районах. Добыча платиноидов продолжается и сейчас. Ведущим минералом уральских россыпей является платина. Нередко встречаются самородки, самый крупный весил 9,6 кг.

В 1991 году были открыты промышленные россыпи корякского (уральского) типа на севере Камчатки.

Зарубежными аналогами данного типа россыпей являются россыпи Британской Колумбии и Аляски.

Россыпное месторождение алданского типа – Кондер является крупнейшим в стране и мире. Преобладающим минералом россыпи является изоферроплатина, встречаются включения осмиридия, платосмиридия, а

также мелкие включения других платиноидов. Среднее содержание МПГ составляет 0,2-2 г/т м<sup>3</sup>.



Рис.26. Схематическая геологическая карта Нижне-Тагильского платиноносного массива (по Н.Высоцкому): 1 - россыпи платины и золота; 2 - четвертичные отложения; 3 - апогаббровые и аподиоритовые амфиболиты; 4 - габбро-диориты; 5 - уралитизированные габбро; 6 - аподунитовые и аподиоритовые амфиболиты; 7 - аподунитовые серпентиниты; 8- дуниты; 9 – известняки.

Платиноиды установлены также в древних метаморфизованных россыпях. Так, в метаморфизованных древних конгломератах ЮАР (район Витватерсранд) содержатся осмистый иридий, платинистый иридий, сперрит, куперит.

Перспективные типы платиносодержащих месторождений

1. Железо-марганцевые конкреции Мирового океана.
2. Глубоководные полиметаллические сульфидные образования.
3. Платиноносные офиолитовые и черносланцевые комплексы.

#### Техногенные месторождения

Хвосты, отвалы и различные промпродукты платинометалльных и платиносодержащих месторождений (платиноидных, хромитовых, полиметаллических, медно-молибденовых, медных, россыпных золоторудных, в том числе древних метаморфизованных).

## Литература

## Основная

1. Авдонин В.В. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.В.Авдонин, Б.Е.Бойцов, В.М.Григорьев и др. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – 272 с.

## Дополнительная

1. Бокситы и другие руды алюминиевой промышленности. – М.: Наука, 1988.
2. Додин Д.А. Металлогения платиноидов крупных регионов России /Д.А.Додин, Н.М.Чернышов, О.И.Чередникова – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. – 300с.
3. Додин Д.А. Платинометальные месторождения России / Д.А.Додин, Н.М.Чернышов, Б.А.Яцкевич – СПб.: Наука, 2000. – 753 с.
4. Железорудные формации докембрия КМА и их перспективная оценка на железные руды. – М.: Недра, 1982.
5. Минеральные ресурсы мира. – М.: ВНИИ зарубежгеология, 2000.- 870с.
6. Смирнов В.И. Курс рудных месторождений / В.И.Смирнов, А.И.Гинзбург, В.М.Григорьев и др. - 2-е изд. – М.: Недра, 1986. – 360 с.
7. Рудные месторождения СССР /под ред. акад. В.И.Смирнова: в 3-х т.- М.: Недра, 1974.- Т.1-328 с.; Т.2-392 с.; Т.3- 471 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Раздел I. ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ	4
Железо	4
Марганец	10
Хром	13
Титан	16
Раздел II. ЛЕГИРУЮЩИЕ МЕТАЛЛЫ	19
Ванадий	19
Никель	21
Кобальт	25
Молибден	27
Вольфрам	30
Раздел III. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ	34
Медь	34
Свинец и цинк	41
Алюминий	46
Раздел IV. МАЛЫЕ МЕТАЛЛЫ	51
Олово	51
Сурьма	57
Ртуть	60
Раздел V. БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ	62
Золото	62
Металлы платиновой группы	71
ЛИТЕРАТУРА	80

Для заметок

Автор Коваль Ирина Константиновна  
Редактор Тихомирова О.А.