

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский федеральный университет»

В. З. Мильман
В.Г.Михеев

Промышленные типы месторождений
полезных ископаемых

Учебные пособия по циклу лабораторных работ

КРАСНОЯРСК
2008

Учебные пособия по циклу лабораторных работ по курсу «Промышленные типы месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых». Дана краткая характеристика минералогии и основных промышленных типов руд металлов и неметаллического сырья. Приведены требования к качеству сырья и руд, технологии переработки. Описаны некоторые типовые месторождения металлических и неметаллических полезных ископаемых.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	4
Месторождения железа	5
Месторождения марганца и хрома	7
Месторождения титана и ванадия	9
Месторождения никеля и кобальта	13
Месторождения меди	14
Месторождения свинца и цинка	17
Месторождения молибдена	19
Месторождения вольфрама и олова	20
Месторождения сурьмы и ртути	23
Месторождения алюминия	25
Месторождения золота, серебра и платиноидов	27
Месторождения редких, рассеянных и радиоактивных элементов	32
Месторождения фосфатного сырья, самородной серы и бора	36
Месторождения минеральных солей, гипса, ангидрита, карбонатного сырья и флюорита	38
Месторождения слюд, асбеста, высокоуглеродистого сырья и волластонита	40
Месторождения высокомагнезиального и высокоглиноземистого сырья	43
Месторождения барита, виверита и кварцевого сырья	45
Месторождения кремнеземистого и кварц- полевошпатового сырья	46
Месторождения каолинового и цеолитового сырья	48
Месторождения песков, глин, магматических и метаморфических пород	50
Заключение	52
Список рекомендуемой литературы	53

ВВЕДЕНИЕ

Промышленными рудными месторождениями являются такие, которые экономически целесообразно разрабатывать при современном состоянии техники. Эксплуатируются месторождения мелкие, средние, крупные и уникальные. Большая часть добычи металлов приходится на крупные месторождения. Многие металлы извлекаются из руд не одного, а нескольких типов.

Промышленный тип месторождений обычно включает ряд эксплуатируемых объектов со сходной морфологией рудных тел и близким минеральным составом руд чаще всего одной, а для некоторых типов — и нескольких рудных формаций. Изучению промышленных типов месторождений различных полезных ископаемых посвящен данный курс.

Цель лабораторных занятий по курсу «Промышленные типы месторождений» заключается в изучении по графическим схемам наиболее значительных месторождений России: их геологического строения, формы и условий залегания рудных тел, а также рудовмещающих горных пород, околорудных метасоматитов и минерального состава руд. Особенности руд и вмещающих пород студенты изучают с помощью учебных коллекций в ходе самостоятельной работы

Настоящее пособие рассчитано на 20 лабораторных занятий в соответствии с лекционной частью курса. На каждом занятии студенту следует заполнить таблицу (см. приложение), обобщенно характеризующую каждый промышленный тип. В таблицу заносятся основные характеристики месторождений изучаемого промышленного типа: связь оруденения с магматизмом (если есть, указывается, с каким именно и какого состава), факторы структурного контроля (структурные элементы, непосредственно определяющие размещение оруденения – контакты пород, определенные литологические разновидности пород, магматические массивы, апикальные части гранитоидов, зоны выветривания, зоны прибрежно-морского осадконакопления и т.п.), минералогические особенности руд (типовые рудные и нерудные минералы), набор полезных ископаемых (основных и попутных). Приводятся два-три примера крупных российских и зарубежных месторождений, а также месторождения Красноярского края и сопредельных субъектов РФ (при наличии). Кроме таблицы, студенту необходимо описать месторождения из прилагаемого в конце лабораторной работы списка.

Выполненные лабораторные работы оформляются в соответствии с требованиями стандарта предприятия, сшиваются в одну папку с единым титульным листом. Защита лабораторных работ проводится по мере их выполнения на занятиях и во внеурочное время. При защите студент должен опре-

делить по нескольким образцам вид полезного ископаемого, оценить его качество и принадлежность к конкретному геолого-промышленному типу, назвать примеры месторождений подобного типа. К сдаче экзамена и зачета допускаются студенты, выполнившие и защитившие все лабораторные работы.

РАЗДЕЛ 1. МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Гипогенными промышленными минералами железа являются магнетит FeFe_2O_4 , магномагнетит $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Fe}_2\text{O}_4$, титаномагнетит (содержит до нескольких процентов TiO_2), гематит Fe_2O_3 и сидерит FeCO_3 , а гипергенными — мартит (псевдоморфоза гематита по магнетиту), гидрогематит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, гётит FeOOH , гидрогётит $\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, шамозит и тюрингит (хлориты железа переменного состава), сидерит.

Минеральные типы железных руд выделяются в зависимости от их минерального состава: титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые в базитах и ультрабазитах; апатит-магнетитовые (карбонатитовые); магнетитовые, магномагнетитовые (скарновые); магнетит-гематитовые (железистые кварциты); мартитовые, мартит-гидрогематитовые, гидрогематит-мартитовые и гидрогематитовые (богатые руды, образовавшиеся по железистым кварцитам); сидеритовые; гидро гётитовые (бурожелезняковые); хлоритовые, или шамозит-тюрингитовые, и гидро-гётитовые оолитовые (осадочные); гётит-гидрогётитовые (природнолегированные руды коры выветривания).

В настоящее время добываются руды с содержанием железа от 16—18 % и выше. Среди них различают богатые ($\text{Fe} > 50 \%$) и бедные ($\text{Fe} < 50 \%$), требующие обогащения. Богатые руды разделяются на доменные и мартеновские. Доменные руды, используемые непосредственно в плавке, должны быть на 70-75 % представлены крупнокусковатыми классами (10—100 мм), содержание Fe в магнетитовых и гематитовых рудах должно превышать 50 %, а в гидрогётитовых - 45 %, максимальное количество вредных примесей следующее (в %): S 0,3; P 0,3; Cu 0,2; As 0,07; Zn и Pb 0,1; Sn 0,08. Никель, кобальт, марганец, хром, молибден, вольфрам, ванадий и другие легирующие компоненты могут присутствовать в количествах, не ухудшающих основных свойств продуктов передела железных руд.

Мартеновские руды должны иметь следующие параметры: содержание класса 10—250 мм — более 70 %, железа в магнетитовых, гематитовых, гидрогётитовых и смешанных рудах - более 57 %, предельная концентрация вредных примесей (в %): SiO_2 5; S, P по 0,15; Cu, As, Zn, Pb, Ni, Cr по 0,04; Mn 0,5.

Для качественной характеристики богатых руд важную роль играет содержание и соотношение нерудных примесей – шлакообразующих компонен-

тов, выражающиеся коэффициентом основности и кремневым модулем.

Железные руды, требующие обогащения, подразделяются на легко- и труднообогатимые, что зависит от их минерального состава и текстурно-структурных особенностей. Легкообогатимыми являются руды, магнетитового состава и прежде всего магнетитовые кварциты. К труднообогатимым относят те, в которых железо связано со скрытокристаллическими и коллоидальными образованиями.

Способы обогащения определяются минеральным составом руд, их текстурно-структурными особенностями, физико-механическими свойствами, а также характером нерудных минералов. Магнетитовые руды обогащаются магнитным способом, гематит-магнетитовые — магнитным, магнитно-флотационным или магнитно-гравитационным. Если в магнетитовых рудах содержатся в промышленных количествах апатит, сульфиды кобальта, меди и цинка, минералы бора и другие компоненты, то для их извлечения применяется флотация отходов магнитной сепарации.

Титаномагнетитовые и ильменит-титаномагнетитовые руды обогащаются путем многостадийной мокрой магнитной сепарации. Из хвостов магнитной сепарации способом флотации или гравитации получают ильменитовый концентрат.

Для обогащения гидрогётит-хлоритовых оолитовых руд используется гравитационный или гравитационно-магнитный (в сильных полях) способ, а сидеритовых — обычно обжиг.

Продукцией горно-обогатительных предприятий являются концентраты, агломерат и окатыши. Концентраты, получаемые при переработке железистых кварцитов, скарновых магнетитовых и апатит-магнетитовых руд, должны содержать не менее 62-66 % железа, а при переработке оолитовых бурых железняков — 48-49 %.

Из руд, подвергающихся обогащению, в самостоятельные концентраты извлекают минералы титана, меди, кобальта, редких металлов, апатит. Флотацией хвостов мокрой магнитной сепарации комплексных руд могут быть получены золото-сульфидный и боратовый концентраты.

Легирующие компоненты (никель, кобальт, марганец) переходят из чугуна в сталь и являются полезными примесями. Из шлаков металлургического передела титаномагнетитовых концентратов извлекается ванадий. Фосфорсодержащие шлаки используются в качестве удобрений.

В России основными промышленными являются следующие типы железорудных месторождений: 1) метаморфизованный в железистых кварцитах; 2) скарновый; 3) магматический; 4) карбонатитовый; 5) осадочный морской и континентальный; 6) вулканогенно-гидротермальный; 7) коры выветривания; 8) эксфильтрационный. Ниже приводится описание некоторых типовых месторождений.

Месторождения Криворожского бассейна. Кривбасс - один из старейших горнорудных районов, который эксплуатируется более 100 лет. Кри-

ворожский синклиорий приурочен к субмеридиональной зоне глубинного разлома в Украинском щите. В тектоническом отношении Кривбасс представляет собой клиновидную в поперечном сечении чешуйчато-моноклиналичную структуру, которая падает на запад и осложнена продольными и поперечными складками нескольких порядков, а также продольными и поперечными разрывными нарушениями. Протяженность структуры около 100 км, ширина у поверхности от 2 до 7 км, глубина погружения по геофизическим данным 8,5 км. В стратиграфическом разрезе бассейна выделяются две нижнепротерозойские железоносные формации с сингенетическими железистыми кварцитами: криворожская терригенно-сланцевая мощностью 2,2 км и несогласно залегающая на ней оскольская хемогенно-кластогенная мощностью 4,5 км. Ведущая роль в бассейне принадлежит бедным рудам семи железистых горизонтов саксаганской свиты криворожской формации, второстепенная — железистым кварцитам и небольшим сингенетическим залежам богатых сидерит-магнетитовых руд гданцевской свиты оскольской формации. Руды обеих формаций являются пластовыми и имеют осадочно-метаморфическое происхождение.

В Лихмановском рудном поле, сложенном породами саксаганской свиты мощностью 300 м, известно пять железистых горизонтов, составляющих 75—80 % мощности свиты. На всем протяжении они залегают моноклиналично и круто падают на запад. В Южном рудном поле саксаганская свита мощностью 550 м представлена почти полным разрезом с четким циклическим строением шести сланцевых и железистых горизонтов; продуктивными из последних являются первый, второй и четвертый (главный). Структурные типы месторождений железистых кварцитов — синклинальные, антиклинальные и моноклиналичные.

Саксаганское рудное поле характеризуется моноклиналичным строением, осложненным продольными разрывными нарушениями. Пласты саксаганской свиты имеют крутое падение, глубина распространения их достигает 4-6 км. Северным продолжением Саксаганского является Первомайское рудное поле.

Железистые кварциты саксаганской свиты полосчатые магнетитовые, реже магнетит-гематитовые и гематитовые неокисленные. Среднее содержание компонентов следующее (в%): Fe по отдельным участкам и пластам 31—40; SiO₂— 21—43; Al₂O₃ 0,9—3,9; S 0,40—0,11; P до 0,15. Разведанные запасы железистых кварцитов Кривбасса составляют 14,4 млрд т.

В пределах оскольской железорудной формации выделяется новое — Гданцевское или Дальнее Западное, рудное поле. Это поле еще слабо изучено.

Среди железистых кварцитов Кривбасса находятся несогласные эпигенетические тела богатых руд, обладающих пласто-, штоко-, столбообразной формой. Размеры их значительны, так, мощность пластообразных тел составляет несколько десятков метров, длина по простиранию — до 1000 м. Про-

странственное положение богатых рудных тел определяется складчатыми структурами и разрывными нарушениями. Богатые эпигенетические руды приурочены к двум уровням (ярусам) — близповерхностному и глубинному. Наибольшее значение имеет глубинный ярус, рудные тела которого прослежены до глубины 2600 м. Отработанные карманообразные залежи гипергенных остаточных руд близповерхностного яруса совмещены с частями месторождений глубинного яруса, выходящими на поверхность.

Формирование богатых гипергенных руд происходило в три этапа: раннерифейский, позднерифей-девонский и позднемезозойский. С первым связано обогащение до 65—70 % железа в рудах саксаганской формации на всю глубину их распространения, а с двумя последующими, проявившимися на разных, но близких к современному уровнях эрозионного среза, - образование рудоносных линейно-площадных кор выветривания железистых кварцитов.

Остаточные гипергенные месторождения близповерхностного яруса представлены воронковидными залежами, выклинивающимися на глубинах 200—600 м. Бурожелезняковые руды с глубиной сменяются дисперсногематит-мартитовыми пористыми, полурыхлыми. Это руды белгородского типа.

Дисперсногематит-мартитовые руды саксаганского типа являются метаморфогенно-гипергенными. Столбообразные рудные тела значительных размеров имеют пологое северное склонение. С ними сопряжены более мелкие крутопадающие тела. Последние ориентированы перпендикулярно к линиям срезания рудоносных горизонтов Саксаганским разломом. Рудные тела саксаганского типа прослежены на глубину более 2600 м.

Богатые эгирин-рибекит-магнетитовые руды Первомайского месторождения возникли в результате эндогенных процессов карбонатно-щелочного метасоматоза.

Среди богатых руд Кривбасса различают также мартитовые и гематит-мартитовые, гематит-дисперсногематит-гидрогетитовые, а также магнетитовые и магнетит-железнослюдковые. Главные запасы богатых руд бассейна (более 90 %) заключены в гематит-мартитовых рудах. В них содержится (в %): Fe 63,7; SiO₂ 7,2; Al₂O₃ около 1. Разведанные запасы этих руд составляют 1,3 млрд т. На их базе в бассейне действуют 12 рудников подземной добычи.

Качарское месторождение находится в Кустанайской обл., в северной части Тургайского рудного пояса. Площадь месторождения сложена вулканогенно-осадочной толщей нижнего карбона (зеленокаменные базальтовые и андезитовые порфириды, их туфы и вулканические брекчии, алевролиты, красноцветные песчаники и гравелиты, известняки), образующей крупную вулканическую постройку. Выше залегают известковистые алевролиты и песчаники среднего-верхнего карбона. Палеозойские отложения смяты в складки и прорваны субвулканическими телами кварцевых порфиров, гранит-порфиров и фельзит-порфиров, обладающими весьма сложной формой. По геофизическим данным предполагается наличие на глубине 2-2,5 км габбро-

диоритового интрузивного массива. Крупные разрывные нарушения с амплитудой перемещения до нескольких сотен метров имеют различное простирание.

Складчатый палеозойский фундамент перекрыт чехлом рыхлых мезокайнозойских отложений мощностью более 100 м.

На значительной площади (более 10 км²) развиты скаполитовые метасоматиты (скарны). Мощность скаполитизированных пород достигает 1 км. Наиболее широко распространены пироксен-скаполитовые скарны, меньше — альбит-пироксеновые, а гранат-пироксеновые скарны встречаются лишь на отдельных участках.

Рудные залежи сплошных и вкрапленных магнетитовых руд локализуются в скаполитовых скарнах и скаполитизированных породах. Насчитывается несколько десятков пласто- и линзообразных рудных тел, лишь немногие из которых выходят на поверхность палеозойского фундамента. Основная масса руд расположена на глубинах 200-700 м (на юго-западе месторождения) и 800-1500 м (на северо-востоке). Руды развиваются по известнякам, ангидритовым породам, туфопесчаникам, вулканитам, гравелитам, туфам. Рудные тела в основном согласные и повторяют элементы залегания вмещающих пород. В интрузивных массивах порфировых пород зоны прожилково-вкрапленного оруденения приурочены к разрывным нарушениям.

Наиболее крупные рудные тела размером (100-1600) x (40-100) x (200-450) м находятся в юго-западной части месторождения. Многоярусные залежи погружаются к центру вулканической постройки. В центральной части месторождения в интрузивных массивах на глубине 750-950 м от поверхности выявлены штокверковые рудные тела. Руды Качарского месторождения магнетитовые, с небольшим количеством гематита (гипогенные) и мартитовые (гипергенные). Среди магнетитовых руд известны как сплошные (пироксен-хлорит-магнетитовые, пирит-магнетитовые, полевошпат-магнетитовые), так и равномерно- и полосчато-вкрапленные (пироксен-скаполит-магнетитовые, полевошпат-магнетитовые), и брекчиевидно-пятнистые. Образование этих руд происходило метасоматическим путем. Редко встречаются апатит-пироксен-магнетитовые жилы выполнения. Сплошные руды составляют около одной трети запасов. Преобладают вкрапленные руды.

В рудах отмечаются гипогенные сульфиды (пирит, халькопирит, сфалерит, марказит, галенит, борнит, пирротин, молибденит). Однако количество их невелико. Наиболее широко распространен пирит, образующий вкрапленность и прожилки в магнетитовых рудах и содержащий примеси кобальта, никеля и мышьяка. Сульфидная минерализация пересекается прожилками хлорита, кальцита, кварца.

Таким образом, скарново-магнетитовые руды описываемого месторождения сформировались в несколько стадий минерализации. С первой связано появление обширных полей скаполитовых и полевошпатовых (альбит-ортотлазовых) метасоматитов. Вторая стадия является скарново-вой (гранат-

пироксеновой), а третья — магнетитовой (продуктивной). Магнетитовые руды отлагались после тектонических подвижек. В течение четвертой стадии возникла сульфидная минерализация, а на более поздних — безрудные хлоритовые и карбонатные прожилки.

Характерная особенность Качарского месторождения заключается в широком и интенсивном развитии на его площади скаполитизации пород, что свидетельствует об активном участии хлора в гидротермальном процессе. В связи с этим возникает вопрос об источниках данного элемента, который может быть как плутоногенным, так и экзогенным. Возможно, источником хлора являлись захороненные экзогенные хлоридные воды, которые разогревались в результате магматической деятельности; хлор вовлекался при этом в процесс становления гидротермальных метасоматитов и магнетитовых руд.

В коре выветривания палеозойского фундамента формировались мартиновые руды. В зонах разломов глубина зоны окисления значительная. Наибольшие количества халькозина и ковеллина, встречающихся в рудах, относятся также к гипергенному этапу.

По запасам железных руд Качарское месторождение является одним из самых крупных среди скарновых месторождений (более 1 млрд т).

Коршуновское месторождение находится в районе г. Железногорска Иркутской обл. на ж.-д. магистрали Тайшет—Лена. Оно является наиболее крупным месторождением Ангаро-Илимского железорудного района, расположенного на юго-западной окраине Сибирской платформы. Приурочено месторождение к трубке взрыва, связанной с трапповым магматизмом и локализующейся в зоне глубинного разлома близширотного простирания. Площадь рудоносной трубки 2800x1200 м, а вероятная глубина распространения не менее 3 км. Сложена она раздробленными и гидротермально измененными осадочными породами ордовика и кембрия, небольшими телами и дайками долеритов и рудой. По ее периферии осадочные породы сильно трещиноваты.

Рудное тело представлено сложной залежью, повторяющей форму трубки, осложненной пологими пластообразными телами, которые прослеживаются по межпластовым зонам разрывных нарушений в осадочных породах кембрия. Рудное тело обрабатывается карьером и вскрыто скважинами до глубины 1200 м.

На месторождении широко и интенсивно проявлено гидротермальное изменение вмещающих пород. Здесь выделяются пироксен-гранатовые скарны, скарнированные и эпидотизированные породы, низкотемпературные (кальцит, хлорит, серпентин) метасоматиты. Текстуры руд брекчиевидновкрапленные, массивные, полосчатые, прожилковые, крустификационные, колломорфные. По минеральному составу выделяют магнетитовые (магномагнетитовые), кальцит- и галит-магнетитовые. Последние встречены на глубоких горизонтах. Основными рудообразующими минералами являются магнетит и магномагнетит, отмечаются гематит, мартит и мушкетовит, пирит и халькопирит. Среднее содержание железа в рудах 34,4 %.

Рудоносные скарны образовались в несколько стадий. Сначала произошло скарнирование пород и формирование скаполит-пироксен-гранатовых скарнов — первая стадия. Во вторую отлагались магнетитовые (магномагнетитовые) руды. Эпидотизация скарнов и скарнированных пород связаны с третьей стадией. Выделение сульфидов относится к четвертой стадии, а безрудные кальцитовые и хлоритовые прожилки развивались еще позже.

Качканарское месторождение находится в Свердловской обл., в 30 км к северо-западу от ж.-д. ст. Нижняя Тура. Оно приурочено к одноименному габбро-пироксенитовому массиву. Овальный в плане массив имеет площадь около 110 км². Вмещающие его породы представлены вулканогенно-осадочными толщами ордовика и силура. Пироксениты занимают примерно половину площади массива и слагают два обособленных тела: Гусевогорское на востоке и Качканарское на западе. В этих телах и находятся соответственно Гусевогорское и Качканарское титаномагнетитовые месторождения.

Качканарское пироксенитовое тело вытянуто в северо-западном направлении и полого (под углом 25-30°) падает на северо-восток. Сложено оно диаллагитами, оливиновыми, роговообманковыми и плагиоклазовыми пироксенитами, горнблендитами, оливинитами, перидотитами и габбро. Диаллагиты развиты главным образом в северной, северо-восточной и восточной частях интрузивного тела. С ними и связано кондиционное титаномагнетитовое оруденение.

Все породы Качканарского тела имеют мелко- и среднезернистое строение. Пегматоидные пироксениты встречаются редко. В породах хорошо выражена полосчатость, которая проявляется за счет чередования тонких полосок титаномагнетита. Простираение полосчатости северо-западное и близмеридиональное, падение пологое на северо-восток или восток. Среди габбро, окружающих пироксениты, выделяются три разности: пироксеновые, роговообманковые и оливиновые.

Оруденение представлено вкрапленностью, шлирами и редко прожилками титано магнетита среди силикатных минералов. Чем крупнее зерна силикатов породы, тем крупнее зерна рудного минерала. Промышленные скопления рудной вкрапленности наблюдаются главным образом в оливинитах и диаллагитах. Рудоносные оливиниты прорывают диаллагиты и, следовательно, являются более поздними.

Контуры рудных тел устанавливаются на основе опробования. Рудная залежь имеет мощность в несколько сотен метров и характеризуется следующим содержанием компонентов (в %): Fe 16,6 (среднее); TiO₂ 0,8-2; V₂O₅ 0,05-0,3. Титан связан с ильменитом, пластинчатые зерна которого размером 0,2-0,3 мм находятся в титаномагнетите. Ванадий заключен в титаномагнетите. Главную ценность руд составляют железо и ванадий. Последний извлекается из конверторных шлаков.

Ковдорское месторождение расположено на Кольском полуострове в одноименном кольцевом массиве ультраосновных щелочных пород. Этот

массив возник в связи с каледонским этапом тектоно-магматической активизации Балтийского щита. Ядро массива сложено оливинитами, которые окружены прерывистой полосой пироксенитов. Щелочные породы уртит-ийолит-мельтейгитового ряда образовали вокруг гипербазитов почти сплошное, но не выдержанное по ширине кольцо. Вмещающие массив архейские гнейсы и гранитогнейсы фенитизированы. После внедрения щелочных пород сформировались широко развитые метасоматиты, пространственное положение которых определялось главным образом дуговидными разломами по периферии массива.

Наиболее ранними являются скарноподобные породы, содержащие гранат, амфибол, монтичеллит, слюды и эгирин-диопсид-кальцитовые карбонаты. Ко второму этапу относятся флогопит-диопсид-форстеритовые породы с залежами крупнокристаллического флогопита и апатит-магнетитовые руды с редкометалльной минерализацией.

Железорудное месторождение находится в юго-западной части интрузивного массива. Оно представляет собой дуговидную прерывистую зону, обращенную выпуклостью на юго-восток, с кулисным размещением основных рудных тел.

Главное рудное тело в центральной части месторождения имеет столбообразную форму. От него ответвляются более мелкие трубо-, линзо- и жилообразные тела. Оруденение вскрыто скважинами на глубину до 2 км.

В зависимости от количественного минерального состава в рудах и карбонатитах выделяют три минеральных комплекса. Первый включает форстерит-магнетитовые и апатит-форстерит-магнетитовые руды, а также апатит-форстеритовые породы с флогопитом. Ко второму комплексу принадлежат апатит-кальцит-магнетитовые и кальцит-форстерит-магнетитовые руды, а также форстерит-кальцитовые карбонаты. Третий комплекс является флогопит-кальцит-редкометалльным.

Текстуры руд массивные, вкрапленные, пегматоидные, полосчатые, пятнистые, брекчиевидные.

Выделяется три послеинтрузивных этапа становления Ковдорского месторождения. На первом этапе дуговидная зона разломов вскрыла глубинную рудогенерирующую камеру, возникли крупная взрывная трубка и апатит-силикатно-магнетитовые руды первого комплекса. Ко второму этапу относится появление дуговидных, кольцевых и радиальных разрывных нарушений и образование апатит-кальцит-магнетитовых руд второго минерального комплекса. Третий этап также связан с оживлением дуговидной зоны разломов; в этот период сформировался столбообразный штокверк с редкометалльной (бадделеитовой) минерализацией.

Таким образом возникли комплексные руды Ковдорского месторождения. Главными промышленными минералами являются магнетит, апатит и бадделеит. Магнетит обладает повышенным содержанием магния (4,7—7,9%), количество которого убывает с глубиной. Размеры зерен этого минерала

колеблются от 0,5—5 мм до нескольких сантиметров.

В апатит-магнетитовых рудах среднее содержание железа 24—37 %, P_2O_5 1,6-8,8 %, а в маложелезистых апатитовых - соответственно менее 15 и более 3%.

Бадделейт встречается в апатит-форстеритовых и апатит-форстерит-магнетитовых породах в виде мелких кристаллических зерен темно-бурого цвета размером до 1 мм (изредка до 2,5—3 мм).

Апатит-магнетитовые руды пригодны для получения магнетитового, апатитового и бадделейтового, а маложелезистые - магнетитового и апатитового концентратов.

Бакальское рудное поле сидеритовых и бурожелезняковых руд находится в Саткинском районе Челябинской обл. Здесь в рудном поле на площади 150 км² насчитывается 24 месторождения.

Рудное поле сложено протерозойскими сланцами, кварцитами, известняками и доломитами, смятыми в крупную синклинальную складку северо-восточного простирания, осложненную более мелкими складками и продольными разрывными нарушениями. Дайки диабазов имеют также северо-восточное простирание.

В средней части разреза протерозойских пород, представляющих бакальскую свиту, наблюдается частое переслаивание сланцев и карбонатных пород, к которым и приурочены сидеритовые руды. Оруденение многоярусное, пласто- и линзообразные рудные тела разделены пластами сланцев. Подчиненное значение имеют гнездообразные тела и жилы. Наиболее крупные рудные залежи занимают площадь 1,5—2 км² при мощности до 80 м. Контакты рудных тел с доломитами четкие. Известняки на контактах с сидеритовыми залежами доломитизированы. Внутреннее строение пластообразных рудных залежей сложное. В них содержатся прослойки сланцев, линзы кварцитов, дайки гидротермально измененных диабазов, вкрапленность сульфидов. Отмеченные фактические данные свидетельствуют о том, что Бакальское месторождение является гидротермальным.

Руды делятся на карбонатные, полуокисленные карбонатные и гидроксидные (бурожелезняковые).

Основными минералами карбонатных руд являются сидероплезит и пистомезит, в котором кроме Fe (25—40 %) и MgO (7,5—19 %) содержатся CaO (до 1,5-30 %) и MnO (до 2 %). Карбонаты составляют 80-95 % массы руды, остальная часть ее представлена доломитом, анкеритом и баритом. В небольшом количестве встречаются пирит, халькопирит, гематит, галенит и сфалерит. В карбонатных рудах содержится в среднем (в %): Fe 28,0-37,5; MgO 7,5-13,8; CaO 1-3,3; MnO 1-2; SiO₂ 1,45-6,83; Al₂O₃ 0,8-3,43; P 0,007-0,026; S 0,58-0,824.

Глубина зоны окисления изменчивая: от 3 до 110 м. Окисленные руды состоят из гидрогетита (бурых железняков), гидрогематита (турьита) и небольших количеств доломита, анкерита, кварца, сульфидов и др. Содержание

отдельных компонентов в этих рудах следующее (в %): Fe 37,8-57,7; P 0,015-0,144; S-0,006-0,86.

Запасы карбонатных руд Бакальских месторождений составляют 560 млн т, а бурожелезняковых — 39 млн т.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений железа, и описать одно месторождение из следующего перечня: Гусевогорское, КМА, Абаканское, Керченское, Оленегорское.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАРГАНЦА И ХРОМА

Гипогенными промышленными минералами марганца являются гаусманит $MnMn_2O_4$ и браунит Mn_2O_3 , а гипергенными - пиролюзит MnO_2 , псиломелан $mMnO \cdot nH_2O$, вернадит $MnO_2 \cdot nH_2O$, манганит $MnOOH$, родохрозит $MnCO_3$ и манганокальцит $(Ca, Mn)CO_3$. Главное значение имеют гипергенные оксиды и гидроксиды марганца. Гипогенные силикаты марганца (родонит, бустамит, спессартин) к промышленным не относятся. Однако при их выветривании возникают богатые гидроксидные руды.

Среди промышленных руд марганца выделяются оксидно-гидроксидные, карбонатные и смешанные (гидроксидно-карбонатные). Содержание марганца в них изменяется от 10 до 60 %. Вредной примесью является фосфор.

По соотношению марганца и железа выделяются руды марганцевые ($Mn : Fe > 6-7$), железомарганцевые ($Mn : Fe \sim 1$) и марганцевистые железные ($Mn : Fe < 1$; содержание Mn в них около 5-10 %).

Наиболее богатые марганцевые руды, употребляемые для выплавки ферромарганца, должны содержать (в %): $Mn > 50$; $SiO_2 < 9$; $P < 0,2$. Для выплавки ферромарганца могут применяться также не требующие обогащения марганцевые руды с содержанием (в %): $Mn > 35$; $P < 0,18$; $SiO_2 15$.

В железо-марганцевых рудах, используемых для выплавки зеркального чугуна и не требующих обогащения, концентрации основных компонентов должны быть следующими (в %): $Mn > 18-20$, $Fe 15-20$ (при общей сумме марганца и железа 40-60), $P < 0,15$. Марганцовистые железные руды, пригодные для выплавки марганцевистых чугунов и не требующие обогащения, должны иметь такие содержания отдельных составляющих (в %): $Mn 5-10$; $Fe > 35$; $P < 0,05$.

Обогащение марганцевых руд осуществляется путем промывки раздробленной руды водой, а также гравитационным способом, включающим

отсадку, обогащение в тяжелых жидкостях и суспензиях, реже концентрацию на столах. Иногда используются магнитный и обжиг-магнитный способы обогащения и флотация.

Руды с преобладающей карбонатной и силикатной марганцевой минерализацией, как правило, бедны марганцем и относятся к категории трудно-обогатимых по сложным и дорогостоящим схемам.

Главным промышленным типом месторождений марганца являются пластовые осадочные месторождения гидроксидных, карбонатных и смешанных руд в терригенных и карбонатных отложениях. Разрабатываются также железо-марганцевые вулканогенно-осадочные месторождения. Ограниченное промышленное значение из-за небольших размеров имеют марганценозные коры латеритного выветривания гондитов, джеспилитов. Железо-марганцевые конкреции дна океанов являются потенциальным источником металла.

Чиатурское месторождение находится в Грузии в 150 км от г. Поти. Чиатурское и другие марганцевые нижнеолигоценые месторождения Грузии тяготеют к Дзирульскому кристаллическому массиву. В разрезе рудоносных отложений выделяются маломощный невыдержанный горизонт подрудных конгломератов, гравелитов, песков и песчаников. Марганцеворудный горизонт общей мощностью до 14 м (средняя 4,2 м) хорошо выдержан по всей площади месторождения, перерывов внутри него не встречается. В его пределах чередуются рудные слои, опоковидные пески и глины. В продуктивной части рудного горизонта число рудных прослоев мощностью 1—50 см меняется от 3 до 18, достигая местами 25. Они прослеживаются по простиранию на несколько сотен метров. Мощность безрудных прослоев широко варьирует в различных участках, максимальная - 1 м.

В рудном горизонте выделяются нижняя и верхняя части, между которыми располагается железистый горизонт, состоящий из гидроксидов железа, хлорита, глауконита. Нижняя часть марганцеворудного горизонта является более продуктивной. А.И. Махарадзе и Р.Г. Чхеидзе отметили наличие в составе рудного горизонта глауконитовых туфов, туффитов, прослоев опок, спонголитов, кремнисто-цеолитовых туффитов.

Надрудные нижнеолигоценые отложения представлены спонголитовыми песчаниками мощностью до 30 м. Рудоносная пачка залегает стратиграфически несогласно на меловых известняках, а перекрыта песками и глинами миоцена.

В размещении марганцевых руд на площади месторождения выявлена и хорошо описана минералогическая зональность. Различают три зоны. На юго-западе месторождения развиты исключительно оксидные руды псиломелан-пирролюзит-манганитового состава; восточнее располагается полоса оксидно-карбонатных руд, в которых оолиты образованы манганитом, а цемент — кальциевым родохрозитом и манганкальцитом. В восточной зоне месторож-

дения руды только карбонатные, в них появляется примесь сульфидов. Замечено, что изменение минерального состава руд тесно связано с изменениями гранулометрического состава терригенного компонента; так, окисные руды отвечают наиболее грубозернистой фации, а чисто карбонатные — наиболее тонкозернистой.

Главные запасы руд Чиатурского месторождения представлены первичноокисными и карбонатными (осадочными) рудами. Значительная часть (18 %) в балансе запасов принадлежит окисленным рудам, продуктам гипергенного изменения манганитовых и карбонатных осадочных руд. Первичноокисные руды составляют около 50 % всех запасов. Среди них выделяют вкрапленные оолитовые, массивные твердые и массивно-вкрапленные. Во вкрапленных рудах оолиты, сложенные гидроксидами марганца, бывают крупными или мелкими, мягкими или твердыми. Цемент в основном кремнистый. Количественные соотношения между оолитами и цементом варьируют. В связи с этим содержание основных компонентов в них колеблется в следующих пределах (в %): Mn от 1 до 35; SiO_2 от 25 до 55; P - до 0,2. В мягких мелкооптовых рудах с сажистым и реже опал-песчаным цементом (руды называются "белта бурая" и "белта черная") содержится (в %): Mn 45-52; Fe 0,7-1,2; P 0,1-0,22; SiO_2 7-12; Al_2O_3 3-7; CaO 0,5-3,0; в массивной твердой руде концентрация этих компонентов такова (в %): Mn 45-58; Fe 0,5-1; P 0,10-0,18, SiO_2 3-18; Al_2O_3 1-3; CaO 0,5-1.

Среди карбонатных руд встречаются вкрапленные и сплошные. Химический состав их следующий (в %): Mn 10—30; Fe 2-4; P 0,1-0,3; SiO_2 5-40; Al_2O_3 2-9; CaO 10-35.

Окисленные руды сильно пористые, красно-коричневые; они содержат вернадит, гидроксиды железа, опал, реликты первичных минералов. Содержание в них (в %): Mn 30-35; SiO_2 8-35; оксидов железа 2—5. Количество фосфора повышенное.

Порожинское месторождение расположено в северной части Енисейского кряжа в пределах Вороговского прогиба, сложенного терригенно-карбонатными, карбонатно-кремнистыми, флишоидными породами. Представляется, что эти отложения формировались за счет размыва геосинклинальных зон с продуктами активного вулканизма.

Продуктивная кремнисто-карбонатная толща подъемской свиты венда является частью ритмично построенной системы рудоотложения, проявленной в пределах докембрия Енисейского кряжа, где ритмично чередуются терригенные с железом и карбонатные марганценозные отложения. Рудные пласты сложены силицилитами, доломитами, кремнистыми брекчиями с прожилково-пленочно-цементационной минерализацией марганца. Главные рудные минералы: псилломелан, пиролюзит, манганит; нерудные в основном представлены карбонатами и кремнистыми образованиями. Выделяется также пласт сплошной руды мощностью 2-5 м со средним содержанием 32%.

Промышленными минералами хрома являются лишь хромшпинелиды: магнохромит $(Mg, Fe)Cr_2O_4$, алюмохромит $(Mg, Fe)(Cr, Al)_3O_4$, хромпикотит $(Mg, Fe)(Al, Cr)_2O_4$, субферрихромит $(Mg, Fe)(Cr, Fe)_2O_4$ и в меньшей мере субферриалюмохромит $(Mg, Fe)(Cr, Fe, Al)_2O_4$. В ограниченных количествах в природе встречаются уваровит — $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$ и крокоит — $PbCrO_4$.

Для получения феррохрома используются руды с содержанием (в %): $Cr_2O_3 > 45$ (при отношении $Cr_2O_3 : FeO$ не ниже 2,5); SiO_2 до 10; P и $S < 0,015$. Для доменного производства хромсодержащих чугунов пригодны руды, содержащие 35—40 % Cr_2O_3 . Для изготовления огнеупоров применяются хромитовые руды с содержанием Cr_2O_3 не ниже 32 %. Нормированными компонентами в них являются SiO_2 и FeO , а вредными — CaO . Особенно вредно присутствие карбонатов. Для производства хромовых солей служат руды с содержанием Cr_2O_3 от 34 % и выше.

Природные хромитовые руды разделяются на сплошные (массивные) и вкрапленные. Руды, полностью сложенные хромшпинелидами, редки. Обычно в них присутствуют оливин или серпентин. Среди вкрапленных руд различают густо-, средне-, редко- и убоговкрапленные. Содержание Cr_2O_3 в природных рудах колеблется от 10 до 60 %. Бедные вкрапленные руды легко обогащаются гравитационным способом или по гравитационно-флотационной схеме.

Хромитовые месторождения являются магматическими и тесно связаны с процессами формирования базит-ультрабазитов. Выделяются раннемагматический промышленный тип, локализованный в крупных расслоенных интрузивных массивах (Бушвельдский массив) и позднемагматический, формирующийся в норит-пироксенит-гарцбургитовых интрузивных массивах меньших размеров (Кемпирсайское, Сарановское). Кроме того, в самостоятельный промышленный тип выделяются элювиально-делювиальные и прибрежно-морские хромитовые россыпи

Южно-Кемпирсайское рудное поле находится на северо-западе Казахстана, в 90 км к востоку от г. Актюбинска. Рудное поле приурочено к юго-восточной части Кемпирсайского массива ультраосновных пород, прорвавшего в позднем силуре протерозойские и нижнепалеозойские толщи. На описываемой площади он сложен дунитами и гарцбургитами; последние имеют преимущественное распространение. В северной части рудного поля протягивается широтный дайковый пояс габбродиабазов. Разрывные нарушения имеют также преимущественно близширотное направление.

В Южно-Кемпирсайском рудном поле на площади 24x7 км сосредоточен целый ряд хромитовых месторождений (мелких, средних, крупных и уникальных). Около 40 месторождений являются промышленными. К наиболее значительным относятся Алмаз-Жемчужина, Миллионное, Молодежное, им XI лет КазССР. Все они находятся в дунитовых обособлениях среди гарцбургитов. Размеры наиболее крупных месторождений достигают 3000x630x150 м. Рудные тела имеют типичную форму жил-столбов, линзообразную и др.

Вертикальный размах оруденения достигает 1200 м. Внутреннее строение рудных тел весьма разнообразно. Однако в периферийных частях преобладают мелко- и разномзернистые руды, часто с нодулярной текстурой. Во внутренних частях тел руды более крупнозернистые густо-вкрапленные, с обособлениями массивных и полосчатых разностей. Полосчатость соответствует элементам залегания рудных тел.

Крупно- и грубозернистые густовкрапленные руды встречаются чаще всего вместе с массивными и нодулярными в крупных рудных скоплениях. Массивные руды сложены средне- и крупнозернистыми хромшпинелидами. Нодулярные руды присутствуют в большинстве месторождений, но по количеству являются резко подчиненными. Размер нодулей обычно 1—2 см в поперечнике, форма их шаровидная, бобовая.

Рудные тела сопровождаются серпентинизацией вмещающих их пород, хотя в массиве проявлена и более слабая серпентинизация регионального распространения. Подавляющее большинство исследователей полагают, что хромитовые месторождения Кемпирсайского массива относятся к позднемагматическим. По ослабленным тектоническим зонам в гарцбургитах происходило внедрение более поздних магматических расплавов, обогащенных хромом, остывание и кристаллизация которых привели к формированию месторождений. К собственно магматическим принадлежат лишь два минерала - хромшпинелид и оливин.

Однако в хромитовых рудах выявлено еще около 30 минералов (хроммактинолит, уваровит, серпентин, хромовые хлориты, брусит, пирротин, пентландит, пирит, халькопирит, нонтронит, магнезит, халцедон, гидроксиды железа и др.). Часть из них образовалась на поздней стадии позднемагматического этапа, а другие - на еще более поздних гидротермальном и гипергенном этапах.

В рудах главных месторождений (Алмаз–Жемчужина, Миллионное, Первомайское) содержится (в %): Cr_2O_3 46-49; FeO 12,5-14,8; SiO_2 5,2-9,4; CaO 0,3-0,4; P 0,001-0,008. Руды считаются металлургическими высококачественными. Добываются они открытым и подземным способами.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений марганца и хрома, и описать одно месторождение из следующего перечня: Никопольское, Северо-Уральский марганценосный район, Сарановское, Бушвельд.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТИТАНА И ВАНАДИЯ

В природных условиях титан четырехвалентен, встречается только в кислородных соединениях. Повышенные его концентрации характерны для габбро, горнблендитов, пироксенитов, а также щелочных пород агпаитового ряда. Минералы титана устойчивы к выветриванию и образуют значительные концентрации в россыпях.

В настоящее время известно около 70 минералов титана. Во многие из них титан входит в качестве примеси. Промышленное извлечение титана в основном производится из ильменита - FeTiO_3 (31,6 %) и рутила - TiO_2 (60 %). В ильмените и рутиле присутствуют ванадий, скандий, тантал и ниобий. Извлечение ильменита из титаномагнетита возможно, если поперечный размер зерен ильменита больше 0,3 мм. Частично титан извлекают из лейкоксена - конечного продукта изменения ильменита и сфена (в лейкоксене по ильмениту - 96 %, по сфену - 67 % TiO_2) и лопарита (Na,Ce TiO_3 (26,6 % Ti).

Уникальные коренные месторождения обладают запасами более 50 млн т, крупные - от 30 до 50, средние - от 10 до 30, мелкие - менее 10 млн т двуокиси титана. Для россыпных месторождений порядок цифр вдвое меньше. Промышленными месторождениями считаются те, которые содержат в рудах более 10 % TiO_2 в коренных месторождениях и более 10 % ильменита или 1,5 % рутила - в россыпях. Вредные примеси в металлургическом сырье - сера и фосфор, для производства белил - хром.

Среди промышленных месторождений титана выделяются: магматические, выветривания, россыпные, вулканогенно-осадочные и метаморфические.

Магматическое **месторождение Лак-Тио** находится в провинции Квебек и обладает запасами в 125 млн. т. Оно дает около 80 % добычи ильменитовых концентратов Канады, содержащих 35 % TiO_2 и 40 % железа. Месторождение залегает в анортозитовом массиве, имеющем овальную форму размером 150x50 км, и состоит из трех рудных тел пластообразной формы, пого падающих согласно со структурой массива. Главное рудное тело площадью 1 км² имеет мощность до 90 м. В рудных телах наблюдаются многочисленные ксенолиты анортозита. Богатые руды сложены ильменитом (75 %) и гематитом (25 %). Сопутствующие минералы представлены сульфидами (пиритом, халькопиритом, пирротинном), полевыми шпатами, пироксенами и местами биотитом. Содержание в богатых рудах TiO_2 -32-36 %, Fe - 39-43 %. Месторождение относится к позднемагматическим образованиям, связанным с процессами накопления остаточного рудного расплава и его внедрением в тектонически ослабленные зоны анортозитовых пород (трещинные интрузии).

Примером прибрежно-морской погребенной россыпи может служить **Правобережное месторождение** Приднестровского района. Прибрежно-морские россыпи этого месторождения приурочены к полтавским и сарматским песчано-глинистым отложениям мощностью от 10 до 60 м, перекрытых

лессами, лессовидными суглинками и глинами неогенового и четвертичного возраста. Рудные залежи имеют пластообразную форму при резком преобладании длины над шириной и отличаются значительной мощностью продуктивных песков. Отчетливо горизонтальная или пологонаклонная (2-10°) слоистость рудных песков подчеркивается скоплением тяжелых минералов (до 70-90 %), преимущественно титановых и цирконовых (рис. 20).

Рудоносные пески имеют следующий минеральный состав: лейкоксенизированный ильменит (44 %), рутил (16 %), циркон, дистен, силлиманит, турмалин (около 10 % каждого). В небольших количествах встречаются хромит, анатаз, брукит, корунд, ксенотим и др. Минералы, как правило, мелкие (0,1-0,2 %), хорошо окатанные.

Ярегское месторождение лейкоксена (Южный Тиман) - необычный представитель этой группы; представляет собой погребенную метаморфизованную девонскую россыпь, приуроченную к песчаникам эйфельского и живетского ярусов. Продуктивные горизонты залегают на метаморфических сланцах рифея. Нижний рудный горизонт сложен грубо- и крупнозернистыми кварцевыми песчаниками с прослоями алевролитов и аргиллитов, верхний - полимиктовыми конгломератами и разнозернистыми кварцевыми песчаниками. Рудные минералы представлены полуокатанными зернами лейкоксена размером 0,2-1,5 мм и единичными зернами ильменита. В богатых пробах рудоносного песчаника содержится 8-10 % TiO_2 . Месторождение образовалось, очевидно, в результате размыва кор выветривания метаморфических сланцев рифея.

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 России сырьем для производства ванадия служат титаномагнетитовые руды. После доменной плавки этих руд почти весь ванадий переходит в чугуны. В процессе передела чугуна на сталь остаются шлаки, содержащие до 25 % V_2O_5 . Эти шлаки подвергают обжигу с силицитом или содой и последующему выщелачиванию с выделением пентоксида ванадия; сплавляя его с железом, получают феррованадий.

В зарубежных странах около 90 % ванадия получают из титаномагнетитовых и ильменит-магнетитовых руд, остальные - из уран-ванадиевых (карнотитовых), ванадиевых (роскоэлитовых) руд и фосфоритов, бокситов, глинистые зоны аргиллитизации, окисленных полиметаллических руд и нефти. В США две трети производства ванадия связано с его получением из нефти, поставляемой из Венесуэлы.

К уникальным относят месторождения с запасами V_2O_5 в миллионы тонн, к крупным - сотни, средним - десятки и мелким - единицы тысячи тонн. Минимальные содержания ванадия в титаномагнетитовом концентрате 0,3 %, вредные примеси - Ca и P.

Известно около 90 минералов ванадия. Промышленными являются

титаномагнетит (с содержанием 0,3-10 % V_2O_5), роскоэлит $KV_2AlSiO_3O_{10}[OH]_2$ (19-29), карнотит $K_2U_2[VO_4]_2O_4 \cdot 3H_2O$ (20), ванадинит $Pb_5[VO_4]Cl$ (19), деклуазит $(Zn, Cu)Pb[VO_4]OH$ (20-23), кулсонит $Fe(Fe, V)_3O_4$ (5) и патронит VS_4 (29).

К промышленным месторождениям ванадия принадлежат: магматические, метасоматические, коры выветривания сульфидных полиметаллических месторождений, россыпные, осадочные и метаморфогенные. Характерной чертой является присутствие ванадия в асфальтитах, нефтяных залежах, битуминозных породах. Значительное количество ванадия концентрируется также в ряде осадочных месторождений железных руд, бокситов, углей и углеродисто-кремнистых сланцев. В бурых железняках Лотарингского и Керченского бассейнов содержится 0,05-0,1% V_2O_5 . Повышенные содержания (0,1-0,2 % V_2O_5) установлены в бокситах Италии, Югославии, Индии, в углях Великобритании, России и США, в углеродисто-кремнистых сланцах хребта Каратау (Казахстан).

В **Онежском прогибе** (Южная Карелия), выполненном углеродсодержащими вулканогенно-осадочными породами раннепротерозойского возраста, обнаружены месторождения метасоматических уран-благороднометалльно-ванадиевых руд. В районе выявлено 11 рудоносных зон, представленных антиклинальными складками, ядра которых сложены доломитами и глинисто-карбонатными породами, а крылья - углеродистыми сланцами и алевритами. Рудные залежи, приуроченные к контакту этих пород, имеют сигарообразную, шнуровидную и ленточную форму и клиновидное сечение. Глубина их залегания 150-180 м, мощность до 40 м, протяженность до 2,5 км. Среднее содержание V_2O_5 в рудах 2,5-3,5 %, урана - 0,15-0,25 %, а также повышенное содержание золота, серебра, платины и других элементов.

Ванадий заключен в слюдах - роскоэлите, флогопите, а также в гематите и других минералах. Уран представлен настураном, коффинитом и частично уранинитом. Благородные металлы (Au, Ag, Pt и Pd) связаны с сульфидами и селенидами Pb, Bi и Cu.

Основной объем рудных тел приходится на карбонатно-роскоэлит-мусковитовые метасоматиты, являющиеся главными источниками V и U. Жильные и брекчиевые благороднометалльные руды тяготеют к осевым частям залежей, где они образуют системы кварц-карбонат-селенид-сульфидных жил и штокверков, содержащих платиноиды, золото, серебро, медь и молибден. Наиболее высокие концентрации этих элементов наблюдаются в зоне окисления-восстановления, развитой над жильно-штокверковым оруденением.

Прогнозные ресурсы V_2O_5 месторождений Онежского прогиба оцениваются в 300 тыс. т.

Месторождения зоны окисления (выветривания) полиметаллических месторождений широко распространены в Африке (Берг-Аунас, Тсумеб, Абенаб в Намибии; Брокен-Хилл в Замбии), встречены в Австралии, Арген-

тине, Мексике, России, США. Как правило, это небольшие по запасам месторождения ванадия, который концентрируется только в окисленных рудах (до 5-6 %). Коренные сульфидные руды содержат ванадий в небольших количествах (0,00n-0,0n %). Рудные тела имеют трубообразную форму, верхняя часть их сложена окисленными рудами, содержащими церуссит, смитсонит, малахит, азурит, англезит и минералы ванадия - деклуазит, купродеклуазит и ванадинит. Глубина зон окисления обычно не превышает нескольких сот метров. Иногда они встречаются и на больших глубинах, что связано с циркуляцией подземных вод по глубинным структурам повышенной пористости.

Месторождение **Минас Рагра (Перу)** представлено жилообразной залежью асфальтита протяженностью до 1 км и мощностью 8-12 м, находящейся в глинистых сланцах, песчаниках и известняках мелового возраста. Содержание ванадия в рудной массе около 6 %, в золе - до 36, кроме того, руда содержит никель и молибден.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений титана и ванадия, и описать одно месторождение из следующего перечня: Мало-Тогульское, Нижний Мамон, Качканарское, Отонмяки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 МЕСТОРОЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА

Основными гипогенными минералами никеля являются пентландит $(Fe, Ni)_9S_8$, никеленосный пирротин FeS , миллерит NiS , раммельсберgit $NiAs_2$, хлоантит $NiAs_{3-2}$, никелин $NiAs$, а гипергенными – аннаберgit $Ni_3[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$ (образуется при окислении арсенидов), гарниерит $Ni_4[Si_4O_{10}] [OH]_4 \cdot 4H_2O$ и ревинскит (формируются в коре выветривания ультраосновных пород). Промышленные минералы представлены сульфидами, арсенидами и силикатами никеля.

К основным гипогенным минералам кобальта относятся кобальтосодержащий пентландит, линнеит Co_3S_4 , кобальтпирит $(Fe, Co)S_2$, карролит $CuCo_2S_4$, скуттерудит $CoAs_3$, саффлорит $CoAs_2$, шмальтин $CoAs_{3-2}$ и кобальтин $CoAsS$, а гипергенными - эритрин $Co_3[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$ (образуется при окислении арсенидов и сульфоарсенидов), асболан $t(Co, Ni)O - MnO_2 - nH_2O$, сферокобальтит $CoCO_3$, гетерогенит $CoO \cdot 2Co_2O_3 \cdot 6H_2O$. К промышленным принадлежат все перечисленные гипогенные минералы и асболан.

В настоящее время промышленными типами руд являются следующие: сульфидные медно-никелевые, силикатные никелевые и кобальтовые, арсенидные и сульфоарсенидные. Сульфидные медно-никелевые руды подразде-

ляются на богатые (содержат более 3 % Ni) и бедные (не более 1,8 % Ni). Богатые руды, характеризующиеся отношением Ni: Cu не менее 1:1 и пониженным содержанием железа (менее 25 %), направляются непосредственно в плавку. Бедные руды подвергаются обогащению. Из руд печенгского типа получают коллективный медно-никелевый концентрат, а из руд норильского типа — отдельные никелевый, медный и пирротинный концентраты.

Содержащиеся в рудах кобальт, металлы платиновой группы, золото и серебро в процессе обогащения накапливаются в медно-никелевом, медном и никелевом концентратах. Сульфидные концентраты и богатая кусковая руда подвергаются металлургическому переделу. Кобальт извлекается при электролизе никеля. Благородные металлы, селен и теллур концентрируются в шламах электролиза никеля и меди, а затем извлекаются при переработке этих шламов.

Вредными примесями сульфидных медно-никелевых руд являются цинк, свинец и мышьяк.

Силикатные руды содержат 1-3 % Ni и 0,01-0,04 % Co. В зависимости от содержания железа они подразделяются на силикатно-никелевые (10—12 % Fe) и никельсодержащие железные (45—50 % Fe). Оба типа руд не обогащаются, а непосредственно поступают в металлургическую переработку для производства никеля или ферроникеля. В последнем случае никель и кобальт используются в качестве легирующих компонентов. Вредные примеси в силикатных рудах — медь, хром, фосфор.

Арсенидные и сульфоарсенидные руды также относятся к комплексным. Главным компонентом является кобальт, присутствуют никель, серебро, висмут. Перерабатываются они по технологии аммиачно-карбонатного выщелачивания в автоклавах с осаждением металлов в виде карбонатного концентрата.

При обогащении скарново-магнетитовых и медно-колчеданных руд получают концентраты кобальтсодержащего пирита, из которых извлекают кобальт и производят серную кислоту.

Главными промышленными типами месторождений как для никеля, так и для кобальта являются следующие: 1) сульфидные медно-никелевые; 2) силикатно-никелевые коры латеритного выветривания ультраосновных пород. Кобальт также добывается попутно из следующих типов месторождений: 1) плутоногенно-гидротермальных арсенидных и сульфоарсенидных; 2) скарново-магнетитовых с кобальтсодержащим пиритом; 3) медно-колчеданных с кобальтсодержащим пиритом; 4) стратиформных (медистых песчаников) с линнеитом). Не менее половины всей его добычи приходится на стратиформные месторождения Заира и Замбии. В качестве потенциального источника никеля и кобальта рассматриваются современные железо-марганцевые конкреции дна океанов.

Месторождение Каула находится в Печенгском рудном поле на Кольском полуострове. Протерозойская вулканогенная толща района образует

крупную дуговидную синклиналичную структуру. В средней части этой дуги располагается полоса филлитовых сланцев шириной около 1 км и длиной более 60 км со средними и крутыми углами падения на юго-восток.

К данной полосе приурочен пояс многочисленных габбро-пироксенит-перидотитовых интрузивных преимущественно плитообразных массивов мощностью от 2 до 700 м и протяженностью — от 200 до 7000 м. Крупные массивы дифференцированы, мелкие недифференцированы и состоят из серпентинитов или габбро. Рудоносными являются дифференцированные массивы.

В Печенгском рудном поле насчитывается более 20 медно-никелевых месторождений и рудопроявлений, тесно связанных с продольными и поперечными разрывными нарушениями.

Месторождение Каула представлено жилообразными телами в лежачем боку ветвящегося плитообразного дифференцированного интрузива мощностью до 160 м, падающего на юг под углом 35-40°. Длина рудной залежи около 500 м, мощность ее изменчива — на верхних горизонтах она составляет несколько десятков метров, увеличивается в местах разветвления главного рудовмещающего разрывного нарушения и в связи с мелкими боковыми трещинами. На флангах при выходе в филлиты рудная залежь выклинивается. В филлитах заключено около трети руд месторождения, остальные две трети локализованы в серпентинитах. Текстуры руд массивные, вкрапленные, брекчиевые и брекчиевидные, полосчатые. Главными рудными минералами являются пирротин, пентландит и халькопирит. В оруденелых серпентинитах много магнетита. На глубоких горизонтах руды в основном пирротиновые. К второстепенным и в то же время более поздним минералам относятся пирит, марказит, виоларит, сфалерит, валлериит, борнит, галенит, сидерит и др. Медно-никелевые месторождения Печенгского района эксплуатируются более 50 лет и в значительной степени выработаны.

Кемпирсайское месторождение является представителем месторождений площадного типа. Находится оно к югу от г. Орска и локализуется в северной половине Кемпирсайского массива ультрабазитов.

В нижней зоне выщелоченных серпентинитов мощностью 10-20 м породы карбонатизированы и опализованы. Выше размещается зона нонtronитизированных серпентинитов, которая и является главной рудоносной. Сложена она темно-зелеными глиноподобными образованиями, сохранившими структуру материнской породы. Мощность ее от 3 до 7 м, а в рудных карманах на контактах с диабазовыми дайками — до 20 м. Еще выше наблюдаются охристо-кремнистые образования (кварц, гидроксиды железа и марганца, реликтовые минералы вмещающей породы) мощностью 0,5-3 м. Минералы никеля представлены гарниеритом и никелевым хлоритом. Средняя мощность пород, перекрывающих рудные залежи, 7 м.

Хову-Аксинское месторождение находится юго-западнее г. Кызыла. Оно приурочено к узлу сопряжения крупных разломов северо-западного и близме-

ридионального простирания. Площадь месторождения сложена кембрийскими, силурийскими и девонскими вулканогенно–осадочными и осадочными породами. Центральный блок, представленный силурийскими осадочными породами и ограниченный разрывными нарушениями, вытянут в меридиональном направлении. В этом блоке и заключены несколько рудных участков с жильным оруденением. На площади месторождения обнажены каменноугольные габброидные массивы, а в южной части - штоки кислых пород (поздний палеозой?). Пояс даек различного состава имеет северо-западное - близмеридиональное простирание и относится, возможно, к самостоятельному магматическому комплексу.

В центральном меридиональном рудоносном блоке и западнее его широко развиты гидротермальные кварц-полевошпатовые метасоматиты, скарнированные породы и скарны. Скарны пересекаются дайками плагиоклазовых порфириров, диабазов и сиенит-порфириров. Рудные жилы являются последайковыми. Возраст дайкового комплекса не установлен. Возможно, его следует считать мезозойским, а кобальтовое оруденение имеет с дайками геологическую структурную связь.

Многочисленные, преимущественно мелкие (редко средние) рудные жилы характеризуются невыдержанными элементами залегания, непостоянной мощностью, ветвятся, сопровождаются апофизами. Сложная трещинная структура месторождения обусловлена разномасштабностью, соподчиненностью и сложной взаимосвязью вмещающих жилы тектонических трещин.

Жилы карбонатно-арсенидные, их формирование сопровождалось карбонатизацией боковых пород. Наиболее богатые жилы наблюдаются на участках пересечения более ранних скарнов и скарнированных пород.

Образование жил происходило в несколько стадий. Первая стадия — никелин-раммельсбергит-доломитовая с кварцем и кальцитом, вторая — главная арсенидная (различные арсениды, кварц, доломит, кальцит, самородные висмут и серебро), третья - поздняя арсенидная (арсениды, аргентит, прустит, галенит, сфалерит, барит, кальцит), четвертая - послеарсенидная (кварц, кальцит, сидерит, анкерит, халькопирит, борнит, тен-нантит, галенит).

В зависимости от количественных соотношений главных рудных минералов выделяют два типа руд: сафлорит-шмальтиновый и шмальтин-раммельсбергит-никелиновый. Первый преобладает на Южном участке, а второй на Северном. Отношения кобальта к никелю в составе руд различные. Но в среднем по всему месторождению оно составляет около 1:1.

Зона окисления руд хорошо проявлена и весьма сложна по минеральному составу. Среди гипергенных минералов установлены эритрин, аннабергит, гетерогенит, розелит, арсенаты меди, цинка и другие минералы.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений никеля и кобальта, и описать одно месторождение из следующего переч-

ня: Норильск-1, о. Новая Каледония, Дашкесанское, Бу-Аззер.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДИ

Основными гипогенными минералами меди являются халькопирит CuFeS_2 , борнит Cu_5FeS_4 , кубанит CuFe_2S_3 , халькозин Cu_2S , блеклые руды $3\text{Cu}_2\text{S}(\text{Pb, As})_2\text{S}_3$, энаргит Cu_3AsS_4 . В зоне гипергенеза сульфиды легко окисляются, образуются вторичные минералы: малахит $\text{CuCO}_3 \times \text{Cu}(\text{OH})_2$, азурит $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, хризоколла $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, брошантит $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$, атакамит $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$, куприт Cu_2O , тенорит CuO , самородная медь Cu . Значительная часть меди растворяется в поверхностных водах, выносится из верхней части рудных тел на более глубокие уровни, где происходит отложение вторичных сульфидов (халькозина, ковеллина CuS , борнита) и таким образом возникает зона вторичного сульфидного обогащения медноколчеданных и медно-порфиновых месторождений.

Основное промышленное значение имеют сульфиды - халькопирит, борнит, халькозин и кубанит. На них приходится около 90 % мировых запасов и добычи меди.

Медные руды разделяются на весьма богатые (содержание меди более 3-5 %), богатые (более 2 % меди, а для руд медно-порфиновых месторождений — более 1 %); среднего качества, или рядовые (более 1 %, для медно-порфиновых — более 0,4 %) и бедные (0,7—1 %, для медно-порфиновых - менее 0,2 %). По степени окисления руды подразделяются на сульфидные, смешанные и окисленные.

Медные руды, как правило, являются комплексными. В них обычно присутствуют минералы железа, цинка, свинца, молибдена, мышьяка, сурьмы, содержатся золото, серебро, селен, теллур, рений, кадмий, германий, индий, галлий, таллий. При геолого-промышленной оценке месторождений и расчете кондиций учитывается ценность извлекаемых попутно компонентов.

Обогащение сульфидных медных руд легко осуществляется путем флотации. Окисленные и смешанные руды обогащаются значительно хуже, чем сульфидные, особенно содержащие медь в силикатной форме. Они перерабатываются по сложным комбинированным схемам, включающим сульфидизацию окисленных минералов и последующую их флотацию, либо гидрометаллургическим способом путем химического выщелачивания меди с последующим ее осаждением губчатым железом или железным скрапом. Роль гидрометаллургических способов получения меди неуклонно возрастает.

Весьма богатые медные руды и медные концентраты подвергаются пирометаллургической переработке с получением черновой меди. Из отходящих

газов производят серную кислоту или серу, а из пыли — свинец, цинк, висмут, кадмий, германий и др. При электролитическом рафинировании черновой меди получают медь высокой чистоты, а из шламов извлекаются селен, теллур и благородные металлы.

Основными промышленными типами медных месторождений являются следующие: 1) стратиформный (медистых песчаников); 2) вулканогенно-гидротермальный (медно-колчеданный); 3) плутоногенно-гидротермальный (штокверковый медно-порфировый); 4) магматический (сульфидный медно-никелевый и медно-титановый в габброидах). Кроме них, медь добывается из скарновых медно-молибден-вольфрамовых и карбонатитовых месторождений. Иногда промышленный интерес представляют зоны вторичного сульфидного обогащения, образующиеся под зоной окисления сульфидных руд выветривающихся рудных объектов.

Удоканское месторождение находится в северо-восточной части Олекмо-Витимской горной страны, в хр. Удокан. Оно приурочено к Намингинской брахисинклинали, имеющей в плане форму эллипса размером 10x15 км, вытянутого в западно-северо-западном направлении. Ядро складки сложено нижнепротерозойскими терригенными породами намингинской свиты (алевролиты, песчаники, аргиллиты), а крылья — породами рудоносной сакуканской свиты (известковистые и кварцитовидные песчаники, алевролиты, гравелиты, филлитовидные сланцы, конгломерато-брекчии). Падение пород на крыльях синклинали изменяется от 10 до 45°. Юго-западное крыло в средней части складки обладает опрокинутым залеганием.

Северо-восточнее Намингинской брахисинклинали расположен крупный гранитный массив. Пояс даек габбродиабазов и граносиенит-порфиров простирается в северо-восточном направлении. Часто встречаются послонные разрывные нарушения, прослеживаемые на интервалах от нескольких сотен метров до 2—3 км.

Медное оруденение приурочено к средней подсвите сакуканской свиты. Эта подсвита делится на подрудную (песчаники), рудную (песчаники, преимущественно известковистые, алевролиты) и надрудную (песчаники, алевролиты) пачки. В сливных светло-серых рудоносных песчаниках кластические зерна сцементированы сульфидами меди. Для них характерна косая слоистость. В песчаниках отмечаются маломощные (0,2-1 м) прослои алевролитов серого, темно-серого и черного цвета с горизонтальной и волнистой слоистостью, знаками ряби и трещинками усыхания.

На основании литолого-фациального анализа отложения подрудной и надрудной пачек относятся к мелководным прибрежно-морским, а рудной пачки — к разнообразным дельтовым и мелководно-морским. Подводно-дельтовые отложения располагаются в основном на севере и северо-западе брахисинклинали. К югу они сменяются отложениями приустьевых барров, а еще южнее - мелководно-морскими образованиями с редкими линзами песча-

ных осадков речных выносов.

Меденосная пачка прослеживается в пределах всей брахисинклинальной структуры. Промышленное оруденение внутри нее распределяется неравномерно и контролируется литолого-фациальными особенностями пород.

Рудные тела имеют пласто- и линзообразную форму. Длина отдельных тел по простиранию достигает 2—3 км. Внутри рудных тел выделяются слои с различной степенью оруденения как по литорали, так и по мощности. Коэффициент рудоносности составляет 0,6—0,8. Мощность слабооруденелых и безрудных слоев внутри рудных тел колеблется от долей метра до 5 м. Наиболее богатые линзы и прослои приурочены к поверхностям размыва в локальных депрессиях и руслообразных впадинах. Контурсы промышленного оруденения устанавливаются только по данным опробования.

Руды Удоканского месторождения практически монометалльные медные, содержащие небольшую примесь серебра. К главным первичным минералам относятся халькозин, борнит и халькопирит, широко распространены пирит и магнетит, часто встречается гематит. В виде минералов-примесей отмечены валлериит, молибденит, пирротин, сфалерит, марказит, теннантит, полидимит, кобальтин, штрмейерит, самородное серебро. В первичных рудах 60—65 % меди приходится на халькозин, 20 % — на борнит и 10—15 % — на халькопирит.

Основными минеральными типами руд являются борнит-халькозиновые, пирит-халькопиритовые и борнит-халькопиритовые. Для руд первого типа характерна примесь серебра, висмута, молибдена, рения, свинца и сурьмы, а второго — цинка, кобальта, никеля, селена и теллура.

В северном крыле брахисинклинали преобладают борнит-халькозиновые руды. К югу, в сторону донной части синклинали, роль этих руд уменьшается и возрастает — пирит-халькопиритовых. На южном крыле складки борнит-халькозиновые руды вновь приобретают важное значение.

В разрезе рудной пачки на северном крыле складки пирит-халькопиритовые руды вверх по разрезу сменяются борнит-халькозиновыми. В центральных частях структуры середина залежи представлена пиритовыми рудами, которые последовательно сменяются к ее почве и кровле пирит-халькопиритовыми и борнит-халькозиновыми. На южном крыле, по сравнению с северным, наблюдается обратная зональность — пирит-халькопиритовые руды проявляются у кровли рудной залежи, ниже размещаются борнит-халькозиновые.

На месторождении часто встречаются кварцевые и кварц-карбонатные прожилки и жилы мощностью до 30 см и длиной до 20 м с вкрапленностью сульфидов, наиболее богатой на участках пересечения рудоносной пачки. Жилы и прожилки пространственно тяготеют к дайкам интрузивных пород. По данным Ф.П. Кренделева, на Центральном участке месторождения на контакте с дайкой габбро-диабазы отдельные пласты в пределах рудного горизонта насыщены тончайшими и тонкими сульфидными прожилками (до 120-150 прожил-

ков на 1 м пласта). Однако уже в нескольких метрах от дайки прожилки исчезают.

Предполагается, что Удоканское месторождение является первично осадочным, впоследствии регионально метаморфизованным. Медистые песчаники и алевролиты подверглись перекристаллизации. Сульфиды были слабо регенерированы. На позднем этапе после появления тектонических трещин и внедрения даек образовались кварцевые и кварц-карбонатные прожилки с сульфидами, происходила миграция меди и переотложение сульфидов.

В зоне гипергенеза, руды затронуты процессами окисления. Среди вторичных минералов установлены малахит, азурит, хризоколла, брошантит, ковеллин, медь самородная, куприт, гипс, гидроксиды железа, ярозит и др. В зависимости от степени окисления различаются сульфидные (менее 30 % окисленной меди), смешанные (30-70 %) и окисленные (свыше 70 % окисленной меди) руды. Примерно 50 % запасов месторождения составляют сульфидные руды, 45 % - смешанные и 5 % — окисленные. Участки окисленных, смешанных и сульфидных руд в верхней части месторождения оконтурить более или менее достоверно при разведке не удастся. Вторичные минералы меди в зонах разрывных нарушений отмечаются на глубине до 600 м.

Урупское месторождение находится на Северном Кавказе, к югу от г. Армавира. Приурочено оно к полосе вулканических пород нижнего-среднего девона, представленных диабазами, кварцевыми альбитофирами, туфами среднего и кислого состава с прослоями кремнистых сланцев.

В Урупском рудном поле разведаны три месторождения и известен ряд рудопроявлений. Среди них выделяются крупные пластообразные залежи колчеданных цинково-медных массивных руд, согласные тела прожилково-вкрапленных руд и секущие зоны дробления с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией.

Урупское месторождение локализуется на южном крыле антиклинали, осложненной разрывными нарушениями. Пластообразная рудная залежь прослежена по простиранию на 1,6 км. Мощность ее колеблется от десятков сантиметров до 20-30 м, частые раздувы чередуются с пережимами. В почве рудной залежи развиты кварцевые альбитофиры, а кровлей служат кремнистые гематитовые и хлоритовые сланцы. Под ней вмещающие породы подверглись сильному гидротермальному изменению, превращены в серицит-кварцевые метасоматиты.

Главная залежь сложена сплошными колчеданными рудами. В кровле наблюдаются слоистые колчеданные и микрокварцитовые руды, а в почве — прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация. Серноколчеданные массивные руды на 80—95 % состоят из зернистого пирита и примеси халькопирита, сфалерита (менее 1 %). Медноколчеданные массивные руды являются основными. Содержание пирита в них до 80 %, присутствуют халькопирит, борнит, немного сфалерита, блеклых руд, отмечаются кварц, серицит, карбонат. Медно-цинковые сплошные руды играют подчиненную роль. Среди слоистых

руд преобладают медноколчеданные, эпизодически встречаются медно-свинцово-цинковые кремнисто-колчеданные.

Основные полезные компоненты руд Урупского месторождения — медь, цинк, сера. Примесями являются серебро, кадмий, селен, золото, теллур, германий, галлий.

В туфах над рудной залежью наблюдаются аналогичные ей по составу сульфидные обломки.

Все приведенные данные служат надежным доказательством вулканогенно-осадочного происхождения Главной рудной залежи Урупского месторождения.

Коунрадское месторождение размещается в Центральном Казахстане, вблизи г. Балхаш.

Приурочено это месторождение к вулкано-тектонической депрессии, сложенной вулканогенно-осадочными породами нижнего карбона. В центральной части депрессии находится овальный экструзивный купол кварцевых порфиров, фельзитов и сферолит-порфиров. На более позднем этапе, в среднем карбоне, произошло внедрение штокообразных интрузивных массивов гранодиоритов и гранодиорит-порфиров.

Затем, возможно в пермское время, сформировались дайки диоритовых порфиров и гранодиорит-порфиров, пояс которых, как и крупные разрывные нарушения, обладает северо-восточным простиранием. После внедрения даек возник рудный штокверк, который занимает весь гранодиоритовый массив. В целом штокверк имеет форму трубообразной залежи с безрудной сердцевиной.

В результате многоэтапной гидротермальной деятельности образовались различные метасоматиты (вторичные кварциты, кварц-серицитовые и альбит-биотитовые породы, пропилиты, грейзены, аргиллизиты), а также медные, молибденовые и барит-полиметаллические руды.

Основными компонентами руд являются медь и молибден, находящиеся вместе на всей обширной площади штокверка. Молибденовая минерализация представлена также небольшими телами сложной формы, а полиметаллическая приурочена к тектоническим трещинам, в основном северо-восточного простирания.

На месторождении имеются трубообразные тела взрывных брекчий. В ранних брекчиях обломки различных пород и вторичных кварцитов сцементированы кварцем и серицитом. По ним развиваются кварц-молибденит-халькопиритовые прожилки. Трубки прорывают гранодиорит-порфиры, но сами пересекаются дайками кварцевых диоритов, диоритовых порфиров, а также поздними брекчиями. В поздних брекчиях и валунчатых "дайках" обломки представлены различными породами, а также кварцем с рудной минерализацией. Цемент состоит из мелких обломков различных пород и минералов. На эти брекчии наложены кварцевые прожилки с мелкочешуйчатым молибденитом, галенитом и сфалеритом.

Выделяются два этапа гипогенного минералообразования. К раннему этапу относится формирование вторичных кварцитов, брекчиевых трубок с кварц-серицитовым цементом, кварц-молибденит-халькопиритовых прожилков. На этом этапе осуществлялась и аргиллизация вмещающих пород. Затем внедрялись дайки кварцевых диоритов, возникли поздние трубки брекчированных пород и происходила грейзенизация пород. Лишь после этого отлагались сульфидные полиметаллические руды. Завершают поздний этап кварц-карбонатные прожилки с халькопиритом.

Гипергенные процессы изменения сульфидных руд привели к развитию вертикальной зональности.

Верхняя зона — выщелачивания — имеет непостоянную мощность и является почти безрудной. Располагающаяся ниже зона окисления характеризуется также невыдержанной мощностью и пестрым минеральным составом руд (оксиды, карбонаты, силикаты меди, ярозит, гидроксиды железа и др.). В еще более глубокой зоне смешанных руд содержание меди в окисленной форме составляет 25—50 %.

Зона вторичного сульфидного обогащения с халькозином, ковеллином и борнитом содержит большую часть запасов меди Коунрадского месторождения. Глубина ее распространения до 150—300 м от поверхности. Первичные руды прослежены скважинами до 600—650 м. Нижняя граница их неизвестна.

Коунрадское месторождение длительное время отрабатывается карьером.

На Северном Урале в скарново-медно-железородном Турьинско-Ауэрбаховском рудном поле наряду с железородными месторождениями находятся и скарново-медные. В Центральном Казахстане в Саякском рудном поле известны скарново-медные и скарново-молибден-медные месторождения. В рудах ряда скарново-шеелитовых месторождений Средней Азии и Приморья медь содержится в существенных количествах.

Фроловское месторождение расположено в Турьинском рудном поле Северного Урала вблизи г. Серова. Упомянутое рудное поле сложено вулканогенно-осадочными породами верхнего силура - среднего девона, смятыми в крупную синклинальную складку. В средней части стратиграфического разреза залегает пачка карбонатных пород. Северо-восточное крыло синклинали осложнено продольными и поперечными разрывными нарушениями и прорвано штокообразными телами гранитоидов (диориты, кварцевые диориты, гранодиориты) каменноугольного возраста. В рудном поле широко распространены дайки различного состава и возраста: диоритовых, кварц-диоритовых и диабазовых порфиритов, лампрофиров.

Месторождение приурочено к крутопадающему контакту массива кварцевых диоритов с известняками. Гранат-пироксеновые скарны развиты по известнякам, кварцевым диоритам и порфиритам, характеризуются поперечным зональным строением. Образовались они путем биметасоматоза.

Мощность скарновой зоны от 2 до 150 м, протяженность до 1 км. Скар-

ны были эпидотизированы и на них наложено сначала магнетитовое, а затем сульфидное оруденение; последнее преобладает. Наиболее богатые массивные сульфидные руды приурочены к контакту скарнов с известняками. В скарнах встречаются вкрапленные руды. Минерализован и крупный Фроловский разлом.

Руды сложены в основном халькопиритом, пиритом, сфалеритом, гематитом, магнетитом, линнеитом. В небольших количествах присутствуют тетрадимит, самородный висмут, пирротин, марказит, арсенопирит, галенит.

Сульфидные руды пересекаются кварц-карбонатными прожилками.

Сложным для Турьинского рудного поля является вопрос о возрастных соотношениях между дайками, скарнами и оруденением. Установлено, что некоторые дайки относятся к доскарновым. Магнетитовые скарны пересекаются дайками диоритовых порфириров и лампрофиров, а сульфидное гидротермальное оруденение следует рассматривать как последайковое.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений меди, и описать одно месторождение из следующего перечня: Джезказганское, Саякское, Сибайское, Песчанка.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВИНЦА И ЦИНКА

Гипогенными минералами свинца являются галенит PbS , алтаит $PbTe$, буланжерит $Pb_5Sb_4S_{11}$, джемсонит $Pb_4FeSb_6S_{14}$, галеновисмутит $PbBi_2S_4$, а гипергенными - англезит $PbSO_4$, церуссит $PbCO_3$, вульфенит $PbMoO_4$, крокоит $PbCrO_4$ и др. Главное промышленное значение принадлежит галениту.

Гипогенные минералы цинка представлены сфалеритом ZnS , вюртцитом ZnS , франклинитом $(Zn, Mn)Fe_2O_4$, а гипергенные - смитсонитом $ZnCO_3$, монгеймитом $(Zn, Fe)CO_3$, виллемитом Zn_2SiO_4 , каламином $Zn_4Si_2O_7[OH]_2 \cdot H_2O$. Главное промышленное значение имеет сфалерит.

Основным источником получения свинца и цинка служат сульфидные руды. Окисленные руды играют подчиненную роль.

Свинцово-цинковые руды содержат, как правило, два основных полезных компонента — цинк и свинец. Широко распространены колчеданные медно-цинковые руды, почти не содержащие свинца. Руды с преобладанием свинца встречаются реже.

По содержанию основных компонентов руды подразделяются на богатые (содержание свинца $> 4\%$ или суммарное содержание свинца и цинка $> 7\%$), среднего качества, или рядовые (2-4 % свинца или суммарно свинца и цинка 4-7 %) и бедные (1,2-2 % свинца или 2-4 % суммарно свинца и цинка).

По степени окисленности различают три типа руд: сульфидный, смешанный и окисленный. В окисленных рудах более половины свинца и цинка находится в оксидной форме.

Свинцово-цинковые руды являются, как правило, комплексными и содержат примеси таких ценных компонентов, как золото, серебро, кадмий, висмут, сурьма, ртуть, индий, галлий, селен, теллур, германий; поэтому их и называют полиметаллическими.

Технология переработки руд зависит от их минерального состава, степени окисления, комплексности, текстуры и структуры, крупности зерен, степени взаимного прорастания одних минералов другими и прочих факторов. Руды полиметаллических месторождений подвергаются обогащению преимущественно методом флотации: коллективной с последующей селективной, коллективно-селективной и последовательной селективной. Нередко флотации предшествует гравитационное обогащение в тяжелых суспензиях, в результате чего отделяется значительная часть пустой породы. При обогащении получают свинцовый, цинковый, пиритный, баритовый концентраты, иногда медный, флюоритовый, реже оловянный и др.

Свинец производят восстановительной плавкой агломерированных концентратов в шахтных печах. При рафинировании чернового свинца извлекают драгоценные металлы и другие заключенные в нем полезные примеси.

Цинковые концентраты перерабатываются двумя способами: пиро- и гидрометаллургическим, а коллективные полиметаллические концентраты – в электропечах. До 50 % золота, находящегося в рудах в самородном виде, выделяется в голове процесса гравитацией. Остальное его количество накапливается в концентратах. Суммарное извлечение золота иногда достигает 70-80 %. Серебро сосредотачивается преимущественно в свинцовом и цинковом концентратах. Кадмий и индий улавливаются из пыли заводов, перерабатывающих цинковый концентрат, таллий – из пыли сернокислотных заводов, а селен и теллур – из пыли обжиговых печей свинцового и цинкового производства. Висмут извлекается при рафинировании свинца. Ртуть может быть получена в свинцовом и цинковом производстве, а сурьма – при рафинировании свинца.

Среди многочисленных и генетически разнообразных полиметаллических месторождений выделяются следующие промышленные типы: 1) экзогенно-эндогенная серия, включающая колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканических или терригенных формациях и стратиформные в карбонатных формациях; 2) плутоногенно-гидротермальный; 3) скарновый. Кроме того, свинец и цинк могут добываться попутно из медистых песчаников и ряда других месторождений. Основное значение для России имеют месторождения экзогенно-эндогенной серии.

Холоднинское месторождение находится в Северном Прибайкалье. Отложения верхнего протерозоя (кварциты, мраморизованные известняки, графитистые филлитовидные и гранатовые кварц-двуслюдяные сланцы) смяты в

синклинальную складку северо-восточного простирания. Протяженность ее составляет 10 км, а ширина 2,5 км. Она осложнена продольными и косоориентированными разрывными нарушениями и мелкими складками.

Пластовые рудные тела локализируются в средней части разреза в трех рудных зонах и залегают среди филлитовидных сланцев и алевролитов. Мощность рудных зон измеряется десятками метров, протяженность по простиранию — несколькими километрами. Падение их крутое — 50–60°. Внутри зон оруденение многоярусное. Пластовые тела строго повторяют элементы залегания сланцев. Рудовмещающие терригенно-карбонатно-кремнистые породы насыщены углеродистым материалом, тонкодисперсными сульфидами - пиритом, сфалеритом, галенитом, пирротином. Текстура руд слоистая, чередуются слои различного минерального состава. Такие руды являются осадочными или гидротермально-осадочными.

Руды второго типа приурочены к межпластовым зонам дробления. Прожилково-вкрапленные, брекчиевые и массивные руды состоят из халькопирита. Такие руды являются гидротермально-метасоматическими.

Прожилки и гнезда, сложенные крупнозернистыми кварцем, сфалеритом, пиритом, пирротином, считаются продуктом регенерации. Количество таких образований невелико.

Второстепенными минералами руд Холоднинского месторождения являются блеклые руды, арсенопирит, леллингит, буланжерит, бурнонит, самородное золото.

Новоленинское месторождение расположено в восточной части Лениногорского рудного поля на Рудном Алтае. Участок месторождения является вулcano-тектонической куполовидной структурой. На риолитовых порфирах нижнего девона залегают среднедевонские известковистые алевролиты, туффиты, туфогравелиты, которые вверх по разрезу сменяются углистоглинистыми алевролитами. Среднедевонские субвулканические породы представлены базальтовыми порфиритами и альбитофирами, а более поздние интрузивные породы - дайками плагио-гранитов и андезитовых порфиритов. Крупный Босяковский взброс имеет северо-западное простирание и падает на северо-восток.

Пластообразное барит-полиметаллическое рудное тело прослеживается в основании среднедевонских отложений, а колчеданно-полиметаллические жильно-штокверковые тела — под пластообразной залежью в риолитовых порфирах нижнего девона. Верхняя граница рудной зоны отчетливая, а нижняя неясная - с глубиной оруденение затухает постепенно.

Гидротермальные метасоматиты (карбонат-хлорит-серицитовые и кварц-серицитовые) развиты лишь в риолитовых порфирах, а над пластообразной рудной залежью отсутствуют.

Барит-полиметаллические руды (барит, галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, блеклые руды, гематит, кварц, кальцит) ритмично-полосчатые; рудные полосы в разрезе чередуются между собой и с алевролитом. Преобла-

дающим минералом является барит. Редко в описываемых, рудах отмечаются кремнисто-пиритовые прослойки.

Полиметаллические руды штокверка прожилково-вкрапленные. Наблюдаются жилы сплошных сульфидов. К главным минералам таких руд относятся галенит, сфалерит, кварц, к второстепенным — пирит, халькопирит, барит, кальцит, доломит, флюорит, серицит.

Г.С. Январев и другие исследователи пришли к выводу о том, что руды сформировались в несколько этапов. В первый возникла барит-полиметаллическая пластообразная залежь — гидротермально-осадочным путем. Второй этап был гидротермальным; в это время получили развитие полиметаллические руды штокверка. С третьим этапом связано становление эксплозивных брекчий, переотложение рудного вещества с образованием сульфидно-серицитовых руд, которые на месторождении также встречаются. Однако при этом остались не рассмотрены возрастные соотношения оруденения с дайками порфириров, которые могли бы более надежно обосновать выделение трех этапов минерализации.

Жайремское месторождение — представитель колчеданно-полиметаллических месторождений, приуроченных к терригенно-карбонатным толщам. Оно находится в Атасуйском рудном районе Центрального Казахстана, к юго-западу от г. Караганды. Систематизируя данные о стратиформных свинцово-цинковых месторождениях на литолого-фациальной основе, Н.С. Скрипченко разделил рудоносные среды на пять разновидностей: 1) глинистую; 2) глинисто-карбонатную; 3) карбонатную слоистую; 4) карбонатную структур растворения; 5) карбонатную рифовую. Жаймерское месторождение относится к глинисто-карбонатному типу. Описание и геологическая схема его приведены в учебниках [11, 21].

Месторождение Ушкатын III находится в Атасуйском рудном районе Центрального Казахстана. Приурочено оно к северному борту Жаильминской грабен-синклинали, представляющей собой глубокую структуру, крылья которой сложены верхнефаменскими вулканогенно-кремнисто-карбонатными породами, а ядро — турнейскими известняками. Углы падения пород на крыльях составляют 70-90 °. Участки изменения простирания крыльев основной структуры осложнены мелкими складками высоких порядков. Синклиналь пересекается крупными разрывными нарушениями северо-западного и восточно-северо-восточного простирания, а также мелкими разломами. По данным А.В. Воропаева, складка сформировалась как глыбовая при устойчивых вертикальных движениях по разломам глубокого заложения.

Редкие дайки магматических пород позднего девона — раннего карбона представлены диабазовыми порфиритами и фельзит-порфирами.

Рудовмещающими являются отложения красноцветной пачки верхнего фамена. В западном крыле складки в разрезе этой пачки чередуются пласты марганцевых (браунит-гаусманитовых), железо-марганцевых (гематитовых и якобситовых) руд и темно-серых органогенно-детритовых известняков, обра-

зовавшихся в глубоководной обстановке. К востоку рудные пласты замещаются красноцветными узловато-слоистыми кремнистыми известняками, а безрудные серые известняки - седиментационными брекчиями и рифовыми известняками.

К крутопадающим разрывным нарушениям в известняках, в общем совпадающим с напластованием пород, приурочены линзовидные барит-полиметаллические рудные тела значительной протяженности (до 3–6 км). На участках развития мелких складок форма рудных тел сильно усложняется, появляются многочисленные апофизы, выполняющие полости отслоения в складках.

В барит-полиметаллических рудах кроме основных минералов — барита, галенита, сфалерита, халькопирита — присутствуют блеклые руды, сульфосоли свинца, меди, серебра, редкие кобальт-никелевые минералы. Текстуры руд плосчатые, брекчиевые, вкрапленные.

Сульфидная минерализация и барит наложены на пластовые железомарганцевые руды. Сульфиды встречаются также в дайках основных пород и фельзит-порфирах.

Таким образом, месторождение Ушкатын III является типичным представителем объектов атасуйского типа с двухэтапной минерализацией: железомарганцевой и барит-полиметаллической. Вулканогенно-осадочный генезис железомарганцевых руд сомнений не вызывает. Что же касается более позднего барит-полиметаллического оруденения, то оно считается гидротермально-метасоматическим и подчиняется структурному контролю. А.В. Воропаев полагает, что разломы глубокого заложения не только контролировали распределение мощностей и фаций пород красноцветной пачки верхнего фамена и гидротермально-осадочных марганцевых и железомарганцевых руд на стадии осадконакопления, но и обеспечивали после внедрения даек основных пород и фельзит-порфиров поступление гидротермальных растворов и образование гидротермально-метасоматических барит-полиметаллических рудных залежей.

Однако в проблеме генезиса месторождений атасуйского типа остается нерешенным вопрос о том, связаны ли оба рудных этапа в единый и неразрывный процесс или же источники оруденения каждого из этапов следует рассматривать как независимые?

Месторождение Верхнее находится в Приморье на восточном склоне хр. Сихотэ-Алинь. Оно залегает в зоне тектонического контакта смятых в складки известняков триаса с вулканическими кварцевыми порфирами позднемелового возраста. Предполагается, что кварцевые порфиры надвинуты на известняки.

Уплощенное столбообразное рудное тело, приуроченное к контактовому разлому, имеет ряд апофиз, отходящих в известняки по оперяющим трещинам. Руды описываемого месторождения крупнокристаллические, обладают своеобразными и весьма интересными текстурами — наряду с массивной пятнистой и вкрапленной широко развиты друзовая, фестончатая, ритмически-

полосчатая. Среди скарных минералов основным является радиально-лучистый манган-геденбергит, который сопровождается ильваитом, датолитом, аксинитом, данбурином и гранатом. Рудные минералы представлены галенитом, содержащим висмут и серебро, железистым сфалеритом, халькопиритом, пирротином, арсенопиритом. Для руд характерны разнообразные морфологические разновидности кристаллов позднего кальцита, а также кварца и цеолитов. Особенность руд заключается и в том, что в результате замещения сульфидами скарных минералов возникли прекрасные псевдоморфозы сфалерита и галенита по радиально-лучистому манган-геденбергиту.

Рудное тело состоит из манган-геденбергитовых шаров различной величины радиально-лучистого строения. Пустоты между шарами выполнены великолепными друзами всех встречающихся в рудах минералов.

Установлено, что руды месторождения формировались в четыре стадии: скарную (волластонит, гранат), скарно-сульфидную (гранат, геденбергит, ильваит, датолит, сульфиды); сульфидную (основная масса галенита и сфалерита) и кварц-карбонатную (кварц, кальцит, флюорит, цеолиты).

В результате длительной эксплуатации месторождение Верхнее почти выработано.

Садонское месторождение находится на Северном Кавказе. Геологоразведочные и эксплуатационные работы ведутся здесь с 1853 г. Месторождение представлено сложной жилой, приуроченной к вертикальному разлому и прослеженной по простиранию на несколько километров. Мощность жилы в среднем составляет 1—1,5 м, но в раздувах достигает 20 м. Рудовмещающий разлом представляет собой сбросо-сдвиг с амплитудой горизонтального перемещения 1450 м, а вертикального — 300 м.

В зоне разлома находится не только рудная жила сложного строения, но и дорудные дайкообразные тела альбитофиринов и диоритовых порфиритов. С неоднократными подвижками по разлому связана стадийность рудного процесса. В течение первой стадии образовались пирит-кварцевые жилы и произошла березитизация боковых пород; вторая стадия – кварц-галенит-сфалеритовая, третья – кварц-кальцит-пирит-пирротиновая (с галенитом и сфалеритом), четвертая – кальцит-сульфидная (полиметаллическая) и пятая – кальцитовая (с арсенопиритом и сфалеритом).

Образование рудных столбов в плоскости разлома определялось структурным фактором — элементами залегания нарушения и приоткрыванием его лишь на отдельных участках в процессе минерализации.

Вертикальная зональность выражается в том, что на верхних горах зонтах преобладает галенит, а на нижних — сфалерит и пирротин.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений свинца и цинка, и описать одно месторождение из следующего перечня: Алтын-Топкан, Николаевское, Риддер-Сокольное, Миргалимсай.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОЛИБДЕНА

Гипогенными минералами молибдена являются молибденит MoS_2 и молибдошеелит $\text{Ca}(\text{W}, \text{Mo})\text{O}_4$, а гипергенными - повеллит - CaMoO_4 и ферримолибдит - $\text{Fe}_2[\text{MoO}_4]_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, образующиеся при окислении молибденита. Более 98 % всей добычи молибдена производится из молибденитовых руд. В молибдените обычно содержится примесь рения.

К промышленным относятся молибденовые (молибденитовые), медно-молибденовые (халькопирит-молибденитовые) и молибден-вольфрамовые (кварц-вольфрамит-молибденитовые и молибденит-шеелитовые) руды. Содержание Mo в них от 0,03 до 0,9 %, а WO_3 - от 0,06 до 2 %. В рудах часто присутствуют свинец, цинк, висмут, золото, серебро, селен, теллур.

При переработке руд во всех случаях путем флотации получают молибденитовый концентрат, содержащий 45–58 % Mo.

Из сульфидных медно-молибденовых руд флотацией получают коллективный медно-молибденитовый концентрат, который затем разделяют на медный и молибденитовый путем дополнительной флотации молибденита. При обогащении кварц-вольфрамит-молибденитовых руд сочетают методы гравитации (производство вольфрамитовых концентратов) и флотации (получение молибденитовых концентратов). Из скарновых шеелит-молибденитовых руд флотацией вначале извлекают молибденит, а из хвостов молибденовой флотации — шеелит.

Обогащение руд, содержащих гипергенные минералы молибдена (повеллит и молибдит), представляет большие трудности. В настоящее время разработаны способы получения повеллитовых концентратов, а проблема обогащения руд, содержащих молибдит, до сих пор не решена.

Промышленными типами молибденовых месторождений являются следующие: 1) плутоногенно-гидротермальный медно-молибденитовый (штокверковые молибденитовые, медно-молибденитовые и медно-порфировые молибденитовые месторождения); 2) скарновый медно-молибден-вольфрамовый; 5) грейзеновый.

Жирикенское месторождение находится в золото-молибденовом поясе Восточного Забайкалья севернее г. Сретенска. Площадь его сложена юрскими биотитовыми и биотит-роговообманковыми гранитами, которые прорваны дайками гранит-порфиров и диоритовых порфиритов. Дайки имеют меридиональное, широтное и редко северо-западное простирание. Возрастные отноше-

ния между дайками изучены недостаточно. Крупные разрывные нарушения трех систем (широтного, северо-восточного и северо-западного простирания) рассекают всю площадь месторождения. Эти нарушения сопровождаются мелкими трещинами различной ориентировки и зонами дробления пород. К узлу пересечения и сопряжения разрывных нарушений и приурочено Жирекенское штокверковое месторождение.

Граниты и дайки на значительной площади подверглись калишпатизации, серицитизации, аргиллизации. Широко развиты мелкие жилы и прожилки, vyplненные кварцем, молибденитом и другими сульфидами. Прожилково-вкрапленная минерализация развита на площади месторождения неравномерно. На глубину она прослежена до 400–600 м.

Наиболее ранними являются прожилки крупнозернистого светлого кварца. Затем образовались кварц-молибденитовые прожилки с небольшим количеством халькопирита, позже – кварц-пиритовые с халькопиритом и, наконец, тонкие сульфидные прожилки (пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, блеклая руда, висмутин, сульфосоли, кварц). На площади месторождения встречаются также кварц-турмалиновые прожилки и карбонат-шеелитовые агрегатные обособления. Однако возрастное положение их не установлено. Основной полезный компонент руд - молибден. В качестве попутного компонента может извлекаться медь.

Коктенкольское месторождение находится в Джезказганской обл. Центрального Казахстана и тяготеет к Успенской зоне разлома. Площадь его сложена смятыми в складки вулканогенно-осадочными породами девона, прорванными пермскими лейкократовыми гранитами акчатауского комплекса. Граниты вскрыты современным эрозионным срезом на площади лишь 0,15 км². На глубине от 0 до 500 м они образуют тело удлиненной формы протяженностью около 5 км, ориентированное близмеридионально. Этот массив имеет два куполовидных выступа, находящихся на глубине 300 м ниже дневной поверхности. С глубиной массив постепенно расширяется. Его контакты падают в сторону вмещающих пород под углами 30-45°. В породах кровли находятся многочисленные гранитные апофизы. В целом граниты представляют собой апикальную часть крупного гранитного плутона овальной формы. Около массива вмещающие алюмосиликатные породы ороговикованы, интенсивно биотитизированы и фельдшпатизированы, а карбонатные – скарнированы.

На площади месторождения широко развиты разрывные нарушения северо-восточного, северо-западного, близширотного и близмеридионального простирания. Рудоносный штокверк находится в тектонической зоне северо-северо-западного простирания, пересекающей в южной части месторождения с тектонической зоной близширотного простирания. На Южном участке крутопадающие рудные прожилки совпадают по элементам залегания с крупными разрывными нарушениями перечисленных выше систем. Но наиболее многочисленные прожилки приурочены к почти горизонтальным трещинам отрыва. На Северном участке преобладают крутопадающие прожилки северо-

восточного, северо-западного и близширотного простирания.

Молибденовое оруденение с попутной вольфрамовой, медной и висмутовой минерализацией связано со штокверком кварцевых, кварц-полевошпатовых и полевошпатовых прожилков мощностью от 1–2 мм до 10–15 см (преобладающая 0,5–2 см). Встречаются редкие кварц-гюбнеритовые жилы мощностью до 1 м. Наиболее густая сеть рудных прожилков сосредоточена над верхней центрально-осевой частью гранитного массива, а максимальной концентрации они достигают над его южным куполовидным выступом. По мере движения в сторону от этих частей гранитного массива вместе с погружением его контактов сеть рудных прожилков редет и оруденение постепенно затухает. Штокверк локализуется главным образом в метаморфизованных вулканогенно-осадочных породах и лишь частично в апикальной части гранитного массива. Общий вертикальный размах оруденения на флангах месторождения 800—900 м. При этом на экзоконтактовую зону приходится 700—800 м, а на эндоконтактовую — 100—200 м.

С наиболее ранним постмагматическим процессом связаны калишпатизация и альбитизация гранитов. Затем образовались кварц-молибденитовые прожилки с небольшим количеством мусковита. К следующей стадии относятся кварцевые прожилки с вольфрамитом, пиритом, висмутином, молибденитом и небольшим количеством мусковита, флюорита, самородного висмута, ильменорутила и др. Мощность прожилков 1–5 см. Сложены они шестоватым кварцем с молибденитом в зальбандах и мусковитом в оторочках. Вольфрамит и сульфиды находятся внутри прожилков. Формирование прожилков описываемой стадии сопровождалось грейзенизацией гранитов. Позже возникли минералы кварц-гюбнеритовой стадии с пиритом, с которой также связана грейзенизация пород. Следующими по времени были маломощные кварцевые прожилки с пиритом, халькопиритом, магнетитом, флюоритом, серицитом и хлоритом. Свинцово-цинковая минерализация была более поздней; она представлена карбонатными и кварц-карбонатными прожилками с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, пиритом, борнитом, блеклой рудой. Среди карбонатов встречаются кальцит, родохрозит, анкерит и сидерит. Закончился гидротермальный процесс отложением цеолитов. На месторождении широко проявлено пространственное совмещение минерализации различных стадий в одних и тех же прожилках.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений молибдена, и описать одно месторождение из следующего перечня: Сорское, Тырныауз, Юрайд-Гендерсон

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОЛЬФРАМА И ОЛОВА

Гипогенными минералами вольфрама являются вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, гюбнерит MnWO_4 , ферберит FeWO_4 и шеелит CaWO_4 , а гипергенными - тунгстит $\text{WO}_2(\text{OH})_2$ и др. Промышленное значение имеют гипогенные минералы, причем наиболее важное — вольфрамит и шеелит.

Руды вольфрама, как правило, комплексные. В них часто присутствуют молибденит, касситерит, минералы висмута, реже встречаются золото, серебро, цинк и др. В вольфрамитовых рудах иногда в значительных количествах содержатся примеси тантала, ниобия, скандия, реже индия. Содержание WO_3 в рудах колеблется от 0,1 до 1-3 %.

Обогащение вольфрамитовых (гюбнеритовых, ферберитовых) руд производится обычно гравитационными методами, а шеелитовых - путем флотации и флотогравитационным способом. Методы извлечения из руд тунгстита не разработаны. Металлический вольфрам получают при переработке концентратов, содержащих 55-67 % WO_3 .

Промышленными типами вольфрамитовых месторождений являются следующие: 1) скарновый медно-вольфрамо-молибденовый (шеелитовые и молибденит-шеелитовые руды); 2) грейзеновый; 3) плутоногенно-гидротермальный; 4) вулканогенно-гидротермальный; 5) стратиформный; 6) россыпной.

Месторождение Тырнауз находится в Кабардино-Балкарии. Расположено оно на северном склоне Большого Кавказского хребта в зоне крупного разлома кавказского направления. Площадь месторождения сложена смятыми в антиклинальную складку осадочными и вулканическими породами верхнего девона — нижнего карбона и осадочными породами юры. Складка осложнена продольными разрывными нарушениями, прорвана посленижнеюрскими лейкократовыми (сложное тело "Паук" в ядре складки) и порфировидными биотитовыми (эльджуртинские в северной части месторождения) гранитами. Самыми поздними являются небольшие тела и дайки риолитов. Скарноворудные тела представлены крупной седловидной залежью в шарнире складки на контакте мраморов с роговиками, а также пластообразными телами в мраморах. Все они являются крутопадающими и прослежены на глубину более 1 км. Скарнированию подверглись мраморы, роговики, граниты.

Процесс образования скарнов был детально изучен А.В. Пэком и многими другими исследователями.

Первыми сформировались гранат-везувиан-пироксеновые скарны. На них наложено прожилково-вкрапленное сначала вольфрамовое, а затем молибденовое оруденение (шеелит, молибдошеелит, молибденит). Отношение вольфрама к молибдену в различных телах колеблется от 4:1 до 8:1. В Главном теле с увеличением глубины содержание вольфрама увеличивается, а молибдена остается постоянным. В рудах, развившихся по гранитам, молибдена

больше, чем вольфрама.

После молибденового оруденения происходило отложение флюорита, кварца, пирита и пирротина, а затем сульфидной минеральной ассоциации (пирит, арсенопирит, пирротин, сфалерит, халькопирит, марказит, тетраэдрит, теннантит, буланжерит, минералы серебра, золота и др.) с кварцем и карбонатом. Далее следовала карбонатно-антимонитовая стадия. Завершился гидротермальный процесс образованием прожилков опала и халцедона.

Большинство исследователей месторождения Тырнауз полагают, что оруденение генетически связано с эльджуртинскими гранитами и лейкократовыми гранитоидами, а возраст интрузивных пород и оруденения определяется как послераннеюрский.

Месторождение Ингичке находится в Самаркандской обл. в отрогах Зеравшанского хребта. Оно приурочено к контакту каменноугольного массива гранитоидов с осадочной толщей силура — девона. Площадь месторождения сложена гранитоидами (адамеллитами и лейкократовыми гранитами) и карбонатными породами верхнего силура — среднего девона, смятыми в складки широтного простирания. Крупные разрывные нарушения, осложняющие контактовую зону, имеют северо-восточное простирание.

Скарноворудные залежи тяготеют к контактам гранитоидов с карбонатными породами и к разрывным нарушениям. Форма их пласто-, реже линзо-, корыто- и карманообразная. В строении таких тел наблюдается поперечная зональность. Секущие рудные тела обладают значительной протяженностью, но невыдержанной мощностью. Глубина распространения скарнов достигает 800 м. Среди них выделяют пироксеновые, гранат-пироксеновые, гранат-везувиан-пироксеновые, гранатовые, волластонитовые и др. Наиболее широко развиты геденбергитовые скарны.

На скарны наложена шеелит-сульфидная минерализация, кварц-полевошпатовые, кварцевые и кварц-карбонатные жилы. Встречаются также кварц-турмалиновые прожилки с касситеритом. Однако последовательность образования упомянутых жил и прожилков изучена недостаточно.

Шеелит представлен крупными зёрнами, замещающими карбонат; он ассоциирует с сульфидами, в рудных телах распределен неравномерно.

Месторождение Богуты расположено на востоке Заилийского Алатау, в горах Улькен-Богуты. Приурочено оно к Заилийскому антиклинорию каледонид.

На площади месторождения осадочные породы ордовика прорваны крутопадающим дайкообразным телом гранитов длиной около 1 км и шириной до 200 м. Штокверк вытянут вдоль гранитного массива и косо ориентирован по отношению к толще осадочных пород. Крутые разрывные нарушения имеют северо-западное и северо-восточное простирание. Все отмеченное определило весьма сложное внутреннее строение штокверка.

Рудоносны жилы и прожилки, развитые среди осадочных пород. Ориентировка прожилков вполне закономерная. Они имеют субмеридиональное и се-

веро-восточное простирание. Мощность жил небольшая — 5-10 см, редко достигает 50 см, прожилков в среднем 2 см. По простиранию они прослеживаются на десятки метров. Наиболее ранними считаются кварцевые жилы и прожилки с пиритом и хлоритом. Затем образовались кварц-полевошпатовые прожилки с шеелитом и пиритом, кварцевые с шеелитом, молибденитом и пиритом, кварц-мусковитовые с шеелитом, вольфрамитом и молибденитом, кварцевые с пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом и арсенопиритом, а также кальцитовые и цеолитовые. Основная масса шеелита концентрируется в кварцевых и кварц-мусковитовых прожилках. Размеры выделений шеелита от 0,5— 1 мм до нескольких сантиметров. Вольфрамит встречается редко; доля его в общем балансе вольфрама штокверка не превышает 5 %.

В рудах присутствуют в повышенных количествах молибден, висмут, медь, свинец, цинк, но промышленное значение имеет лишь вольфрам, т.е. месторождение является монометалльным.

Верхнекайрактинское месторождение находится в Джезказганской обл. Центрального Казахстана. Оно приурочено к Успенской зоне разлома, имеющей северо-восточное простирание. Площадь месторождения сложена смятыми в складки песчаниками и сланцами силура. Интрузивные породы представлены небольшими штокообразными телами габбродиабазов и в основном согласными дайками порфириров, гранит-порфириров и кварцевых порфириров. Апикальная часть скрытого гранитного массива, вытянутого в северо-восточном направлении, находится на глубине более 1 км. По песчано-сланцевым отложениям образовались биотитовые роговики, которые подверглись более позднему гидротермальному изменению и превращены в кварц-серицитовые, серицитовые и кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты.

В контурах гидротермально измененных пород сформировался вольфрамовый штокверк. Субмеридиональные прожилки с крутым, но переменным падением выполняют трещины скалывания и отрыва. Субширотные прожилки полого падают на юг и являются почти горизонтальными. Они приурочены к трещинам отрыва. Мощность прожилков редко достигает 1 — 1,5 см. На Восточном участке число прожилков на 1 м достигает 30—50, а на Северном и Западном — 10—20. С глубиной число прожилков уменьшается, но они становятся более мощными.

Штокверковая залежь вытянута в северо-восточном направлении и падает к юго-востоку. Участки с кондиционными рудами представляют собой столбообразные тела с южным склонением. Рудный столб Восточного участка прослежен до глубины более 1 км. С увеличением глубины вытянутость штокверка уменьшается и он приобретает все более овальные очертания. Если на поверхности отношение его ширины к длине составляет 1:5, то на глубине — 1:2,5, при этом общая площадь горизонтального сечения сокращается незначительно, а площадь богатых участков возрастает не менее чем в 3 раза.

Штокверк сформировался в несколько стадий. Самыми ранними являются безрудные кварцевые прожилки. После них возникли кварцевые и

кварц-полевошпатовые прожилки с молибденитом, шеелитом, вольфрамитом, флюоритом, пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, топазом, мусковитом. К послерудным относятся кварцевые, цеолитовые, карбонатные и ангидритовые прожилки нескольких стадий минерализации.

На верхних горизонтах преобладают кварцевые и кварц-пиритовые прожилки, а на глубоких — кварц-полевошпатовые и кварц-молибденитовые. В связи с этим отмечается некоторое увеличение с глубиной содержания в рудах молибдена. По периферии вольфрамоносного блока наблюдается ореол свинцово-цинковой и медной минерализации. Наряду с выполнением трещин рудные минералы образуют рассеянную вкрапленность, имеющую явно подчиненное значение.

Основную ценность месторождения составляет вольфрам. Руды вольфрамит-шеелитовые. Соотношение между вольфрамитом и шеелитом колеблется от 1:5 до 1:7. Наиболее богатые руды выделяются в виде тел неправильной формы, вытянутых в меридиональном направлении. Размеры их на поверхности невелики, с глубиной они заметно увеличиваются. Периферийная часть штокверка сложена убогими рудами с равномерным содержанием вольфрама. Среди бедных руд встречаются редкие безрудные участки.

На Верхнекайрактинском месторождении отчетливо выражена вторичная вертикальная зональность. В верхней части зоны окисления породы превращены в так называемые беляки, вольфрамит, и шеелит подверглись разложению, возник ферритунгстит. Кроме того, вольфрам рассеян и адсорбирован гидроксидами железа. Ниже располагаются лимонит-ярозитовая и галлуазитовая подзоны. Вольфрамовые руды зоны окисления обогащению не поддаются.

Гипогенными минералами олова являются касситерит SnO_2 , торолит SnTa_2O_7 , тиллит PbSnS_2 , станнин $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$, канфильдит Ag_8SnS_6 , франкеит $\text{Pb}_5\text{Sn}_3\text{Sb}_2\text{S}_{14}$, цилиндрит $\text{Pb}_3\text{Sn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{14}$, норденшельдит $\text{CaSn}[\text{BO}_3]_2$, гулсит $(\text{Fe}, \text{Mg})_2(\text{Fe}, \text{Sn})[\text{O}_2][\text{BO}_3]$ и др. В значительных количествах олово содержится в гранатах и пироксенах.

В зоне гипергенеза касситерит устойчив, перемещается механическим путем и накапливается в россыпях; станнин в зоне окисления разлагается, переходит в варламовит, затем в тонкозернистый касситерит и лимонит. Варламовит образует порошковатые землистые агрегаты, легко растворимые в слабнокислой среде, и при обогащении руд безвозвратно теряется.

Главные промышленные минералы представлены лишь касситеритом и станнином. Основное значение имеет касситерит, который добывается из коренных месторождений и россыпей.

Среди руд коренных месторождений известны касситерит-кварцевые, касситерит-силикатные и касситерит-сульфидные. По содержанию металла (в %) они делятся на богатые (более 1), среднего качества (0,4-1), бедные (0,2-0,4) и весьма бедные (0,1-0,2). По крупности зерен касситерита (в мм) среди руд различают три группы: тонковкрапленные (до 0,1), мелковкрапленные (от

0,1 до 1), средне- и крупновкрапленные (1—2 и более).

Для получения оловянных концентратов все руды подвергаются обогащению. Ведущими являются гравитационные методы с применением отсадки, концентрации на столах и шлюзах. Флотация служит для удаления из руды сульфидов, разделения касситерита и шеелита, получения оловянных концентратов из шлама гравитационного процесса. Для отделения пустых пород используется предварительное обогащение в тяжелых суспензиях после крупного дробления в начале процесса. Касситерит и вольфрамит разделяются с помощью электромагнитной сепарации.

Средне- и крупновкрапленные руды обычно имеют простой минеральный состав и их обогащение не вызывает затруднений. Мелко- и тонковкрапленные руды измельчаются до 0,5–0,1 мм, а при большом количестве сульфидов и в условиях применения флотации — до 0,07 мм. Размеры кристаллов касситерита и их сростков, при которых еще возможно обогащение гравитационными методами, находятся в пределах 0,04–0,06 мм.

Оловянные концентраты разделяются на марки и сорта, содержание олова в которых колеблется от 5 до 60 %. Концентраты подвергаются плавлению в электропечах, в результате получают черновое олово. В касситерите некоторых месторождений отмечаются значительные количества тантала, ниобия, скандия, индия; эти элементы попутно извлекаются при переработке оловянных концентратов.

Руды сложного минерального состава, содержащие олово в нескольких минеральных формах, могут перерабатываться прямым металлургическим способом (фьюмингованием).

Промышленными типами коренных оловорудных месторождений являются следующие: 1) плутоногенно-гидротермальный (касситерит-кварцевая и касситерит-силикатная рудные формации); 2) вулканогенно-гидротермальный олово-серебряный (касситерит-силикатная, касситерит-сульфидная рудные формации); 3) скарновый; 4) грейзеновый; 5) пегматитовый (все три – касситерит-кварцевая рудная формация); 6) россыпной.

Иультинское месторождение находится на Чукотском полуострове. В Иультинском районе пермь-триасовые отложения смяты в складки и прорваны массивами гранитоидов. Самым поздним является раннемеловой гранитный массив сложных очертаний. К нему и тяготеет оруденение.

На площади месторождения развиты осадочные породы, которые полого падают на северо-восток. На глубине 400 м от поверхности находится слепой гранитный шток, вытянутый в северо-восточном направлении. Над этим штоком образовалось несколько систем тектонических трещин, к которым приурочены рудные жилы.

Расстояние между жилами изменяется от нескольких метров до 25 м, длина их не превышает 200 м, а мощность достигает 5 м. Жилы залегают в осадочных породах. Часть их пересекает гранитный шток и продолжается на глубину 100—150 м от его кровли. Кроме жил в гранитах находятся минерализо-

ванные зоны и рудный штокверк.

Жилы всех направлений содержат одинаковую минерализацию. С первой стадией связано отложение кварца, топаза, флюорита, мусковита, альбита. Гранит был грейзенизирован, а в осадочных породах контакты жил четкие, грейзенизация пород очень слабая. Вторая стадия является кварц-касситерит-вольфрамитовой. Кристаллизация касситерита и вольфрамита происходила одновременно, но количественные соотношения между ними в различных участках месторождения разные. Внутри жил касситерит тяготеет к зальбандам, а вольфрамит встречается как в зальбандах, так и в средней части жил. Разобщение двух главных рудных минералов наблюдается и по вертикали. На верхних и средних горизонтах преобладает вольфрамит, а на нижних, в гранитах — касситерит.

В следующую стадию отлагались сульфиды - арсенопирит, пирит, пирротин, халькопирит, лёллингит, галенит, сфалерит, станнин, молибденит, висмутин. Завершающая стадия минералообразования представлена кварцем с карбонатами и флюоритом.

Руды Иультинского месторождения преимущественно кварц-касситерит-вольфрамитовые. Более сложный состав они имеют в грейзенизированных породах. Но количество таких руд невелико.

Солнечное месторождение (плутоногенно-гидротермальное касситерит-силикатной формации) приурочено к меридиональной зоне разрывных нарушений в мезозойской (J - K) вулканогенно-осадочной толще, которая прорвана небольшими телами кварцевых диоритов и диоритовых порфиритов силинского комплекса (K₂).

Главная зона минерализации имеет протяженность около 8 км при мощности от нескольких метров до 115 м (включая блоки слабо измененных пород). По простиранию зоны рудные тела разделены безрудными интервалами. По падению зоны на глубине 600 м встречен гранит-гранодиоритовый массив, в котором минерализация также прослеживается.

Поперечные и косые по отношению к меридиональной зоне разрывные нарушения также, возможно, оказывали влияние на локализацию оруденения. Однако этот вопрос изучен недостаточно.

В песчаниках и алевролитах юры минерализованная зона представлена мощным метасоматическим телом, главную часть которого слагают сливные черные или темно-серые кварц-турмалиновые породы. Эти турмалиновые метасоматиты окаймляются периферическими зонами окварцованных и серицитизированных пород, которые постепенно переходят в слабо серицитизированные песчаники и алевролиты. Кварц-турмалиновая внутренняя зона рассечена многочисленными жилами и прожилками кварца с касситеритом, подчиненными вольфрамитом, шеелитом и арсенопиритом и еще более поздними жилами и прожилками кварц-карбонатно-сульфидного состава (пирротин, пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, халькопирит, станнин и др.).

Касситерит кварцевых жил и прожилков имеет коричневатый цвет, раз-

мер зерен от 0,01 до 3 мм, образует кучные скопления. Он и определяет ценность руд. Среди сульфидов преобладает пирротин. В заметных количествах присутствуют халькопирит, галенит, сфалерит. Карбонаты представлены сидеритом, родохрозитом, анкеритом, кальцитом.

В гранитоидных массивах (кварцевых диоритах, гранодиоритах, диоритовых порфиритах) рудная зона обычно расщепляется на маломощные ветви, морфология ее усложняется.

Смирновское месторождение касситерит-сульфидной формации находится недалеко от г. Дальнегорска. Площадь его сложена песчано-сланцевыми толщами мезозойского возраста. Интрузивные породы представлены немногочисленными мелкими телами кварцевых диоритов и гранодиорит-порфиров, а также дайками диабазовых и диоритовых порфиров северо-восточного простирания.

Рудные жилы и крупные крутопадающие разрывные нарушения имеют северо-восточное и субмеридиональное простирание. Многочисленные разрывные нарушения северо-западного и близмеридионального направления являются безрудными. Известно свыше 70 рудных жил. Наиболее крупные из них, прослеженные в длину на 1,1—2,8 км, группируются в узкой полосе северо-восточного простирания длиной 3,5 км. Жилы имеют четкие контакты с вмещающими породами, содержат их обломки. Наблюдаются лишь слабое окварцевание и хлоритизация пород. Текстуры руд преимущественно полосчатые. Все это свидетельствует о том, что жилы образовались в основном путем выполнения открытых трещин.

Четыре стадии минерализации были разделены тектоническими подвижками. Первая стадия — кварц-пирит-арсенопирит-касситеритовая, вторая — кварц-карбонат-сфалерит-пирротиновая (с галенитом, халькопиритом, арсенопиритом, станнином), третья — кварц-карбонат-буланжерит-галенитовая (с магнетитом, пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, арсенопиритом, станнином), четвертая — пирит-марказит-карбонатная.

По падению жильной свиты галенит-сфалеритовые руды сменяются арсенопирит-касситеритовыми, а затем пирротиновыми; имеются данные о присутствии на глубине (ниже пирротиновой зоны) силикатно (хлорит, турмалин) – касситеритового оруденения.

Месторождение Хапчеранга находится в Восточном Забайкалье к югу от г. Читы. В районе месторождения метаморфические сланцы ($D_3 - C_1$) и песчано-сланцевые отложения (Р - Т) смяты в складки широтного простирания. Интрузивные породы представлены варисскими малыми интрузиями гранитоидов и киммерийскими гранитами, гранодиоритами и дайками кварцевых порфиров. Кроме того, встречаются лампрофиры, относящиеся к более позднему, возможно, самостоятельному) магматическому комплексу.

Сложная трещинная структура месторождения, с которой связано оруденение, наложена на складчатость. Оруденение концентрируется в пяти субпараллельных рудных зонах, состоящих из серии кулисных или сближенных

жил, местами сопряженных друг с другом и обладающих сложной морфологией. Параллельно основным трещинам северо-западного простирания формируются системы мелких трещин скалывания.

Эти трещины минерализованы и совместно с оперяющими рудными трещинами образуют промышленные штокверки. Все системы трещин отчетливо проявлены в песчано-сланцевом и значительно слабее — в сланцевом горизонте. В последнем отмечаются только крупные, четко выраженные трещины, а мелкая трещиноватость не развивается из-за пластичных свойств породы. Поэтому здесь не образовались штокверки и апофизы. В песчаниках, несмотря на казалось бы их хрупкость, выдержанные рудовмещающие трещины также не возникают. Рудные столбы в жилах северо-западного простирания приурочены к меридиональным участкам жил. Формирование столбов связано со сдвиговыми смещениями в плоскости жил.

Наиболее ранняя грейзеново-вольфрамит-касситеритовая минерализация, связанная с кварц-полевошпатовыми жилами, проявлена слабо и имеет лишь минералогический интерес. Основное количество мелкозернистого касситерита находится в более поздних сульфидных рудах. Процесс становления промышленной минерализации включает четыре стадии. Первая является пирит-арсенопирит-кварц-касситеритовой, вторая — касситерит-хлорит-сульфидной (с пиритом, марматитом, карбонатом), третья — галенитовой (с пиритом, марказитом, аргентитом, блеклой рудой, станинном, самородным золотом и др.), четвертая — кальцитовой. Среди текстур наиболее широко распространены массивные и брекчиевые, реже встречаются полосчатые и кокардовые.

Изменение вмещающих пород представлено их хлоритизацией (главным образом по лампрофирам), окварцеванием и карбонатизацией.

В распределении минерализации по отношению к штоку гранит-порфиров установлена горизонтальная зональность. Вблизи и внутри штока развиты кварц-полевошпатовые жилы с вольфрамитом и касситеритом, отмечается слабая грейзенизация вмещающих пород. В метасоматитах присутствуют флюорит, топаз, циннвальдит и др. На удалении от контакта размещается зона кварц-касситерит-пирит-арсенопиритовых жил с флюоритом. Затем следует зона пирит-касситерит-пирротиновых, а далее широкая зона кварц-касситерит-хлоритовых и галенит-сфалеритовых руд.

Зональность возникла, по-видимому в связи со стадийностью гидротермального процесса, а также с последовательным отложением минералов при понижении температуры по мере удаления от штока гранит-порфиров.

Вертикальная зональность на месторождении проявлена менее четко. Только в крупных жилах, прослеженных на глубину до 750 м, наблюдается следующая смена минеральных ассоциаций (снизу вверх): безрудная зона окварцованных пород; рудная зона — кварц-касситерит-хлорит-сульфидная; марматитовая.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений вольфрама и олова, и описать одно месторождение из следующего перечня: Восток-II, Циновец, Холтосон, Пыркакайское, Депутатское, Китильское.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9 МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУРЬМЫ И РТУТИ

Гипогенными минералами сурьмы являются антимонит Sb_2S_3 , ливингстонит $HgSb_4S_7$, бертьерит $FeSb_2S_4$, гудмундит $FeSbS$, блеклые руды $Cu_2(As, Sb)_4S_{13}$, цинкениит $PbSb_2S_4$, буланжерит $Pb_5Sb_4S_{11}$, джемсонит $Pb_4FeSb_6S_{14}$, а гипергенными — сенармонтит Sb_2O_3 , валентинит Sb_2O_3 , сервантит Sb_2O_4 , надорит $PbSbO_2Cl$, гидромейт $CaSb_2O_6(OH)$ и др. В большинстве месторождений преобладает антимонит. В зоне гипергенеза при окислении галогенных минералов образуются оксиды и гидроксиды сурьмы.

Гипогенными минералами ртути являются киноварь HgS , метациннабарит HgS , ливингстонит $HgSb_4S_7$, блеклые руды (шватцит) $(Cu, Hg)_{12}(As, Sb)_4S_{13}$, тиманит $HgSe$, колорадоит $HgTe$, а гипергенными - ртуть самородная Hg , каломель $HgCl$, монтроидит HgO . Самый распространенный промышленный минерал — киноварь.

Выделяются три типа руд сурьмы и ртути: 1) собственно ртутные, в которых киноварь сопровождается небольшими количествами метациннабарита, самородной ртути и других ртутных минералов; 2) собственно сурьмяные антимонитовые, бертьеритовые и др.; 3) комплексные (сурьяно-ртутные, ртутно-сурьяные, иногда с флюоритом и мышьяком, золото-сурьяные). Кроме того, ртуть и сурьяма извлекаются попутно из некоторых руд и видов минерального сырья. Попутное извлечение ртути преследует цели не только комплексного использования сырья, но и охраны окружающей среды.

Монометалльные руды ртути по содержанию (в %) разделяются на штуфные (> 1), богатые (0,3-1) и рядовые (0,04 – 0,3). Переработка их осуществляется пирометаллургическим способом. Образующиеся при обжиге печные газы и пары ртути охлаждаются в системе труб, в результате чего получают металлическую ртуть и заводской полупродукт - ступпу, содержащую до 80 % этого элемента. Вредными примесями ртутных руд считаются сурьяма, мышьяк, органические (углеродистые) соединения.

Содержание сурьмы в монометалльных рудах 2-3 %. По степени окисленности руды подразделяются на сульфидные (< 30 % окисленных минералов), смешанные (30—50%) и окисленные (> 50 %).

Сульфидные руды обогащаются методом флотации, смешанные и окисленные — по гравитационно-флотационной схеме или путем обжига с возгонкой и улавливанием летучего оксида (Sb_2O_3), направляемого на металлургическую переработку. Иногда первым этапом обогащения является рудоразборка, в результате которой получают штуфные концентраты с содержанием сурьмы не менее 20 %.

Сурьмяные концентраты с содержанием сурьмы от 30 до 60 % перерабатываются пирометаллургическим или гидроэлектрометаллургическим способом. В первом случае производят черновую сурьму, которую затем рафинируют. Во втором сначала растворяют антимонит, осуществляют электролиз раствора, а затем катодную сурьму подвергают огневому рафинированию. В результате получают сурьму высших марок.

При переработке ртутно-сурьмяных руд и концентратов ртуть выделяют в отдельный продукт пирометаллургическим способом, а затем из огарков извлекают сурьму пиро- или гидрометаллургическим способом.

Золото-сурьмяные (иногда с серебром) руды перерабатывают по разным схемам, включающим плавку, рафинирование сурьмы с концентрацией благородных металлов в купеляционном остатке, анодном шламе или кеке. Ртутно-сурьмяные руды перерабатываются комбинированным способом. Сначала руды обогащаются гравитационно-флотационным или флотационным методом, а затем производится пирометаллургическая переработка коллективного ртутно-сурьмяного концентрата. Вредными примесями в этих рудах являются реальгар и аурипигмент, сульфиды железа, меди, свинца, цинка.

Комплексные ртутно-сурьмяно-флюоритовые руды (содержащие более 10 % флюорита) также перерабатываются комбинированным способом. Сначала осуществляется флотация сульфидов, а затем из хвостов флотируется флюорит. Технология переработки ртутно-мышьяковых руд очень сложна.

Промышленными являются следующие типы месторождений: 1) стратиформный (карбонатный ртутный, кварц-диккитовый ртутный, джаспероидный сурьмяно-ртутный); 2) вулканогенно-гидротермальный (опалит-алунитовый ртутный, листовенитовый ртутный, карбонатно-полиаргиллитовый ртутный, кварц-антимонитовый сурьмяный); 3) плутоногенно-гидротермальный (кварц-золото-антимонитовый сурьмяный). Из руд полиметаллических месторождений сурьма извлекается попутно.

Кадамджайское месторождение расположено южнее г. Ферганы, на северном склоне Алайского хр. Приурочено оно к палеозойской антиклинальной складке северо-восточного простирания, осложненной разрывными нарушениями. Ядро складки сложено девонскими сланцами и доломитами, выше которых залегают каменноугольные известняки и глинистые сланцы. Значительные перемещения по крупным разломам привели к тому, что силур-девонские сланцы оказались надвинутыми на каменноугольные отложения. Мелкие дополнительные складки и разрывные нарушения определяют достаточно сложную геологическую структуру месторождения.

В зоне Южно-Акташского разлома осадочные породы прорваны мало-мощными и непротяженными дайками диабазовых порфиринов. Крупные разломы северо-восточного и близширотного простираний относятся к рудоконтролирующим.

Пластообразное тело джаспероидов мощностью до 30 м залегает в верх-

ней части разреза каменноугольных известняков под сланцами. Сурьмяное оруденение распределено неравномерно. Наиболее богатые руды приурочены к антиклинальным складкам, осложненным разрывными нарушениями. Главными являются сложные субсогласные залежи. Жило- и линзообразные рудные тела играют подчиненную роль. В северо-восточной части рудного поля находятся пластообразные тела флюоритовых руд и мелкие ртутные рудопроявления, связанные с тектоническими трещинами.

Джаспероиды залегают под экраном сланцев. Однако и в сланцах над рудными телами отмечается вкрапленность пирита с повышенным содержанием ртути, сурьмы, мышьяка. Вертикальный размах этих ореолов достигает 300-500 м.

Главный рудный минерал — антимонит, второстепенные и редкие — пирит, марказит, реальгар, аурипигмент, халькопирит, галенит, сфалерит. Из нерудных минералов широко распространен кварц, в малых количествах присутствуют флюорит, кальцит, барит, диксит и серицит. Текстуры руд массивные, брекчиевые, вкрапленные, полосчатые, колломорфные, друзовые, кокардовые. Антимонит представлен крупными кристаллами в окварцованных породах, мелкокристаллическими агрегатами и игольчатыми кристаллами в пустотах.

На месторождении выделяются три стадии минерализации: 1) окварцевания пород — образования джаспероидов с редкой вкрапленностью пирита, халькопирита, галенита и сфалерита; 2) кварц-антимонитовая с кальцитом и флюоритом; 3) кальцит-реальгар-аурипигментовая.

В рудах присутствуют золото и серебро. В зоне окисления широко развиты кермесит, валентинит, сенармонтит, стибиконит.

В Кадамджайском рудном поле проявлена горизонтальная зональность в распределении руд. Сурьмяное оруденение (участок Сурьмяный гребень) в северо-восточном направлении сменяется мышьяково-сурьмяным, а далее сурьмяно-ртутным и ртутным.

Формирование сурьмяных и ртутных месторождений Зеравшано-Ферганского рудного пояса происходило в поздней перми — раннем триасе.

Джизикрутское месторождение находится в Таджикистане на северном склоне Гиссарского хр. Палеозойские породы смяты в синклинальную складку. В основании разреза наблюдаются нижнесилурийские сланцы, которые согласно перекрываются черными доломитами и светлыми известняками $S_2 - D_1$. Выше по разрезу расположены терригенно-карбонатные отложения, в нижней части представленные кварц-серицитовыми сланцами, а в верхней — переслаиванием кремнистых сланцев, известняков и доломитов. На отложениях девона трансгрессивно залегает толща массивных известняков карбона. Складка пересекается системой крутопадающих разрывных нарушений, подвижки вдоль которых были неоднократными.

Основное оруденение локализуется в брекчиях сложного состава, развитых на контакте филлитовидных сланцев среднего девона и подстилающих пород. В этих брекчиях обломки окварцованных вмещающих пород сцемен-

тированы кварцем, карбонатом, антимонитом, местами киноварью. Залегание брекчий почти горизонтальное. Мощность их колеблется от нескольких метров до 80 м (иногда до 200 м). Максимальные мощности отвечают участкам проявления палеокарста. В перекрывающих интенсивно дислоцированных сланцах отмечается окварцевание, серицитизация и пиритизация. В основании отложений карбона оруденение развито значительно слабее.

Распределение сурьмяно-ртутного оруденения в окварцованных брекчиях неравномерное. Промышленные рудные тела имеют пласто-, линзо- и гнездообразную форму. Текстуры руд брекчиевые, кокардовые, колломорфные, массивные и вкрапленные.

Главным минералом является антимонит, постоянно присутствует киноварь, ассоциирующая с кальцитом и баритом. В незначительных количествах наблюдаются пирит, марказит, бертьерит, галенит, сфалерит, халькопирит, борнит, метациннабарит, арсенопирит, реальгар, аури-пигмент. Кроме кварца и карбонатов встречаются барит, флюорит, каолин, диккит.

В первую стадию гидротермального этапа образовались джаспероиды, во вторую — кварц-флюоритовые брекчии (в основном по крутопадающим разрывным нарушениям), с третьей стадией связано отложение антимонита и киновари с жильными минералами, а с четвертой — реальгара и аурипигмента с кварцем и кальцитом.

В поверхностных частях рудных тел распространены гипергенные минералы сурьмы (валентинит, сенармонтит).

Сарылахское месторождение находится на Оймяконском нагорье в Восточной Якутии. Приурочено оно к зоне Адыча Тарынского глубинного разлома, имеющей северо-западное простирание и контролирующей размещение золотых и золото-сурьмяных месторождений.

На площади Сарылахского месторождения развиты три системы разрывных нарушений — северо-западного, северо-восточного и широтного Простирания. Кварц-антимонитовая жила локализуется в зоне рассланцо-ванных пород северо-западного простирания. В 2,5 км к северу от месторождения выходят штокообразный массив кварцевых диоритовых порфиритов и дайки альбитофиров.

В рудоносной зоне рассланцованных пород центральное положение занимает кварц-антимонитовая жила (30 % антимонита), сопровождаемая прожилково-вкрапленной минерализацией, представленной кварцем, анкеритом, пиритом, арсенопиритом. Мощность жилы колеблется в широких пределах. Вмещающие боковые породы березитизированы.

В качестве примесей в руде присутствуют бертьерит, самородная сурьма, сфалерит, тетраэдрит, галенит, халькопирит, марказит, пирротин, джемсонит, теллурид золота, золото самородное и др. В зоне окисленных руд встречаются сера самородная, валентинит, гипс, гидроксиды железа, стибиконит, сенармонтит, кермесит, скородит и др.

Удерейское месторождение находится в Енисейском кряже. Приурочено

оно к тектонической зоне смятия в протерозойских метаморфических сланцах. Кварцевые жилы сложной формы, сопровождаемые трещинами с тектонической глиной и зонами перемятых дробленных пород, прослеживаются в пределах зоны северо-восточного простирания. Падение этой зоны крутое переменное. Сурьмяное оруденение концентрируется в кварцевых жилах и прожилках на трех разобщенных участках — Юго-Западном, Центральном и Северо-Восточном.

На Юго-Западном участке одна из протяженных антимонитовых жил местами расщепляется и сопровождается кварцевыми апофизами. Сланцы вблизи контакта также содержат промышленное оруденение. На глубине жила и сурьмяное оруденение выклиниваются.

На Центральном участке кварц-антимонитовые рудные тела обладают сложной линзовидной формой с апофизами. Мощные на верхних горизонтах жилы с глубиной довольно резко выклиниваются, расщепляясь на ряд субпараллельных прожилков. Центральная часть жил, местами висячий бок сложены массивными рудами, а в зальбандах и на выклинивании преобладают вкрапленные. Обогащенные участки имеют столбообразную форму. При этом длинная ось располагается горизонтально и наклонно.

На Северном участке развиты короткие и маломощные антимонит-кварцевые и кварцевые жилы.

Основными минералами руд Удере́йского месторождения являются кварц и антимонит, в них повсеместно присутствует пирит. На отдельных участках встречаются скопления бертьерита, сидерита и редкая вкрапленность арсенопирита. Очень редкими являются сфалерит, халькопирит, блеклая руда, халькостибнит, бурнонит, джемсонит. Отмечается постоянная примесь тонкодисперсного золота. Текстуры руд массивные, брекчиевые, вкрапленные. Обломки кварца сцементированы антимонитом.

Антимонит образует крупнокристаллические скопления с линейным, радиально-лучистым и беспорядочным распределением кристаллов, а также плотные мелкокристаллические агрегаты. Бертьерит замещает антимонит.

На ранней стадии гидротермального процесса вмещающие породы были окварцованы, пиритизированы и хлоритизированы. После этого сформировались сначала кварцевые жилы, а затем сульфидные руды.

Акташское месторождение находится в Горном Алтае, к югу от Тилецкого озера. Приурочено оно к участку изгиба одноименного регионального надвига. По Акташскому надви́гу сильно метаморфизованные вулканогенно-осадочные кембрийские породы надвинуты на карбонатно-песчаниковую тощу ордовика-кембрия. В лежащем боку разлома в карбонатных породах возникла система мелких оперяющих трещин.

На площади месторождения встречаются небольшие тела и дайки диоритов каледонского возраста. К ртутному оруденению они отношения не имеют. В зоне разлома за пределами месторождения выявлены мезозойские дайки лампрофиров чуйского комплекса.

Ртутные месторождения Горного Алтая образовались после внедрения этих даек.

Ртутное оруденение локализуется в известняках непосредственно под сланцами. Наиболее благоприятными явились участки перегиба поверхности надвига, осложненные крутопадающими трещинами типа сбросо-сдвигов. Форма рудных тел сложная столбо- и жилооб-разная.

Рудовмещающие известняки доломитизированы и окварцованы, а надрудные сланцы интенсивно аргиллизированы. За счет редких линз серпентинитов в зоне надвига возникли листвениты.

Текстуры руд вкрапленные, массивные, брекчиевые, брекчиевидные, полосчатые. К главным рудным минералам относятся киноварь и пирит, к второстепенным - антимонит, реальгар, аурипигмент, блеклые руды, шватцит, к редким - гвадалкацарит, халькопирит, сфалерит, теннантит, энаргит, люционит, самородный мышьяк, марказит. Киноварь представлена двумя генерациями: 1) мелкозернистой и колломорфной, ассоциирующей с сульфидами и сульфосолями; 2) крупнозернистой, ассоциирующей с антимонитом, гвадалкацаритом, кварцем, кальцитом и диккитом.

Образование руд происходило не менее чем в три стадии: 1) кварц-кальцит-пирит-киноварную (с антимонитом, энаргитом, халькопиритом и др.); 2) кварц-карбонатно-киноварную (с реальгаром, аурипигментом, антимонитом и др.); 3) кальцитовую (с кварцем и пиритом). В зоне окисления рудных тел встречаются ртуть самородная, сера самородная, азурит, малахит, гидроксиды железа, оксиды сурьмы, халькозин, ковеллин.

Руды Акташского месторождения являются монометалльными (ртутными). Количество антимонита в них незначительно, а флюорит и барит отсутствуют.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений сурьмы и ртути, и описать одно месторождение из следующего перечня: Хайдаркан, Чаган-Узун, Сигуаньшань, Альмаден, Никитовское, Тамватнейское.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10 МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛЮМИНИЯ

Источником промышленного получения алюминия могут служить следующие его минералы: гиббсит $\text{Al}(\text{OH})_3$, бёмит AlOOH , диаспор HAlO_2 , каолинит $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$, корунд Al_2O_3 , нефелин $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$, лейцит $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$, алунит $\text{KAl}_3[\text{SO}_4]_2[\text{OH}]_6$, кианит Al_2SiO_5 , андалузит Al_2SiO_5 , силлиманит Al_2SiO_5 . В настоящее время в России промышленными являются гиббсит, бём-

мит, диаспор, нефелин и алунит.

Нефелин и алунит – минералы гипогенные, а гидроксиды алюминия образуются в экзогенных условиях и представляют собой основные компоненты бокситов.

Получение алюминия — сложный и энергоемкий процесс, включающий два основных производства: химическое (получение глинозема) и электролизное (получение металлического алюминия). Лучшим сырьем для производства глинозема являются бокситы.

Боксит - руда, состоящая в основном из гидроксидов алюминия (гиббсит, бемит, диаспор), а также оксидов и гидроксидов железа и глинистых минералов, в которой отношение содержаний $Al_2O_3 : SiO_2$ (кремневый модуль) не менее 2. Сопутствующие бокситам породы с кремневым модулем менее 0,85 называют сиаллитами, а с модулем 0,85-2 — аллитами. Выделяют два основных типа бокситов — моногидратный (бемитовый и диаспоровый) и тригидратный (гиббситовый), обладающих различными технологическими свойствами. При документации на месторождениях следует различать каменистые, рыхлые, глинистые и другие типы бокситовых руд.

Требования промышленности к бокситовым рудам определяются в зависимости от видов их потребления. Выделяют семь марок бокситов, которые отличаются по содержанию Al_2O_3 и по комплексному показателю качества. Этот показатель выявляется для каждого месторождения конкретными технико-экономическими расчетами. Бокситы для производства глинозема должны иметь комплексный показатель качества не менее 6 и содержание Al_2O_3 не менее 28 %.

Бокситы с небольшим содержанием кремнезема перерабатываются на глинозем гидрохимическим методом Байера (бокситы тонко размалываются и обрабатываются концентрированным раствором NaOH). Бокситы с повышенным содержанием кремнезема сначала подвергаются спеканию (шихта из боксита, известняка и соды) при температуре 1150-1250° С, а затем на них воздействуют обратными щелочными растворами слабых концентраций.

При переработке бокситов по методу Байера ванадий и галлий в значительной мере переходят в алюминатные растворы, из которых они могут быть извлечены в промышленном масштабе. Ведутся лабораторные исследования по утилизации красных шламов, остающихся при переработке бокситов.

Нефелиновые руды являются важным источником получения глинозема в России. Оценка нефелиновых пород как комплексного сырья производится на основе двух показателей - щелочного модуля, представляющего собой молекулярное отношение $(K_2O + Na_2O) : Al_2O_3$, и молекулярного отношения $SiO_2 : Al_2O_3$. Наиболее рентабельна переработка пород со щелочным модулем, близким к 1, и молекулярным отношением $SiO_2 : Al_2O_3$ не более 3,3-3,4. В РФ успешно перерабатываются нефелиновые концентраты и уртиты, которые смешиваются с известняком, спекаются во вращающихся печах, а затем выщелачиваются. При производстве 1 т глинозема попутно получают 1 т содопродук-

тов (сода и поташа) и 10 т цемента.

Алунитовые руды служат комплексным сырьем для получения глинозема, калийных удобрений и серной кислоты.

Промышленными типами алюминиевых месторождений являются: 1) бокситовые, включающие остаточные, в корях выветривания (латеритные и переотложенные) и осадочные (платформенные и геосинклинальные); 2) месторождения небокситового сырья. Последняя группа включает в себя следующие типы: магматический (нефелиновые сиениты, уртиты, сынныриты), гидротермальный (алунитовые руды), экзогенный (анальцимовые пески и другие осадочные породы, обогащенные глиноземом), метаморфический (высокоглиноземистые кристаллические сланцы с андалузитом, кианитом, силлиманитом), геотехногенный (хвосты переработки различного рудного сырья).

Висловское месторождение находится в Белгородском районе КМА и приурочено к южной части Яковлевского железорудного месторождения.

Повсеместно в Белгородском районе на породах кристаллического фундамента — филлитовидных сланцах курской серии и метабазах Михайловской серии — развита древняя кора выветривания линейного типа мощностью от 5 до 170 м, а в тектонически ослабленных зонах - до 700 м. Наиболее качественные бокситы находятся в верхней части коры выветривания.

Бокситы Висловского месторождения бемитовые и бёмит-гиббситовые. В рудах присутствуют шамозит, каолинит, гематит. Бокситы высокого качества; кремневый модуль колеблется в них от 2,6 до 7.

Вежаю-Ворыквинское месторождение расположено на Среднем Тимане. На карбонатных породах и сланцах рифея широко распространены продукты коры выветривания, представленные алевритистыми и песчанистыми глинами гидрослюдистого и каолинит-гидрослюдистого состава мощностью до 20 м. Часть этих отложений, возможно, относится к осадочным. Выше залегает бокситовмещающая пачка пород, в состав которой входят свежие или интенсивно выветрелые туфы и туффиты, аллиты, бокситы, алевролиты и песчаники с прослоями глин. Мощность пачки 30 м. Возраст ее раннефранский.

Бокситами являются легкие пористые коричневато-красные выветрелые туфы и туффиты. Сложены они в основном бёмитом (45-50 %), диаспором (до 10 %), а также шамозитом, гётитом, гидрогематитом. Содержание глинозема колеблется в пределах 36,6-55,2 %, кремневый модуль 1,5–11,5. Бокситы и терригенные осадки перекрываются базальтами также раннефранского возраста. Мощность базальтов над бокситами составляет до 20 м. Глубина залегания кровли бокситов описываемого месторождения 0,5—25,8 м.

Генезис бокситов Вежаю-Ворыквинского месторождения является дискуссионным. Они рассматриваются как латеритные, латеритно-осадочные и как осадочные.

Амангельдинское рудное поле находится в Тургайском прогибе к запа-

ду от г. Аркалыка. В пределах этого поля известно несколько крупных месторождений, приуроченных к контактовым зонам палеозойских известняков и песчано-сланцевых отложений. Бокситы, образовавшиеся в палеоценовое время, связаны с песчано-глинистыми отложениями аркалыкской свиты, залегающей на древней коре выветривания палеозойских пород.

Большинство бокситовых залежей относится к контактово-карстово-котловинному типу. Они обычно состоят из нескольких рудных тел с неровными почвой и кровлей и локализуются среди глин на глубине до 100 м от поверхности. Среди бокситов выделяют рыхлые, каменистые и глинистые разновидности. Главными минералами их являются гиббсит, гематит и каолинит, к второстепенным относятся галлуазит, кварц, гетит, рутил, гипс, кальцит и др. В бокситах содержатся (в%): Al_2O_3 46,4-57,1; SiO_2 9,57-14,54; Fe_2O_3 11,2-14,56. Добыча бокситов производится открытым способом.

Загликское месторождение алунитовых руд находится вблизи г. Дашкесана в Азербайджане. Алунитовая залежь имеет пластообразную форму, пологое, согласное с вулканическими покровами залегание. Протяженность ее по простиранию от 1,5 до 2,6 км. Внутри залежи находятся прослои слабо алунитизированных пород. В состав руд входят алунит, кварц и небольшое количество глинистых минералов. Среднее содержание алунита — 53 %.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений бокситового и небокситового сырья, и описать одно месторождение из следующего перечня: Боке, Тихвинская группа, бокситовые месторождения Австралии, Кия-Шалтырское месторождение нефелиновых сиенитов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА, СЕРЕБРА И ПЛАТИНОИДОВ

Гипогенными минералами золота являются золото самородное Au, электрум AuAg, петцит Ag_3AuTe_2 , калаверит $AuTe_2$, креннерит $(Au, Ag)Te_2$, сильванит $AuAgTe_4$, нагиагит $Pb_7Au(Te, Sb)_5S_6$, петровскаит $AuAg(S, Se)$, итенбогардит Ag_3AuS_2 , а гипергенным - самородное золото. В рудах золото присутствует главным образом в самородном виде в форме крючковатых, проволочковидных, прожилковых, зубчатых, дендритовых выделений. Редко встречаются кубические или октаэдрические кристаллы. Величина отдельных частиц золота сильно колеблется. По крупности частиц (в мм) оно классифицируется на крупное ($> 0,07$), мелкое (0,001-0,07) и тонкодисперсное ($< 0,001$). Золото часто содержится в кварце, а также в сульфидах (арсенопирите, пирите, халькопирите, блеклых рудах, галените и др.) в рассеянном тонкодисперсном состоянии.

Самородное золото не бывает химически чистым и представляет собой твердый раствор преимущественно с серебром (электрум), медью (купроаурит), палладием (порпечит), висмутом (висмутаурит) и др.

В зоне гипергенеза при окислении золотосодержащих руд крупное золото почти не растворимо, перемещается механическим путем и накапливается в россыпях. При окислении сульфидных руд (колчеданных, медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических), содержащих тонкодисперсное золото, возникают "железные шляпы", хорошо изученные на Урале и в Казахстане. В их разрезе (сверху вниз) выделяются следующие зоны: бурого железняка; ярозита; сыпучки мощностью несколько метров; вторичных сульфидов меди; ниже наблюдаются первичные колчеданные руды. Во всех зонах и особенно в сыпучке отмечается высокое содержание золота и серебра. Золото при этом хорошо видимое, самородное. Следовательно, в процессе окисления колчеданных руд тонкодисперсное золото освобождалось из сульфидов, растворялось, в форме сульфата переносилось на более глубокие уровни зоны окисления, где и отлагалось в самородном виде.

В зависимости от количества сульфидов (в %) руды делятся на убого-сульфидные (до 2), малосульфидные (до 5), умеренно-сульфидные (5—20) и существенно сульфидные (> 20). Часто руды золота являются комплексными. Среди них различают золото-пиритовые, золото-мышьяковые, золото-серебряные, золото-медные, золото-сурьмяные, золото-урановые, золото-полиметаллические. Содержание золота в рудах коренных месторождений изменяется от 2—3 до 10—15 г/т (иногда и более), а в промышленных россыпях чаще всего не превышает 1 г/м³, но встречаются россыпи с содержанием золота в несколько десятков граммов на 1 м³ песков.

Технология переработки руд зависит от особенностей самородного золота (крупность, формы, характер сростаний с другими минералами), комплексности и степени окисленности руд, наличия компонентов, осложняющих технологию переработки.

Крупное золото легко высвобождается при дроблении руды и извлекается гравитационными методами, мелкое (свободное и в сростках с сульфидами) — хорошо флотируется, а также быстро растворяется при цианировании, но лишь частично извлекается гравитационными способами. Тонкодисперсное золото плохо вскрывается при измельчении руд и поступает в гравитационные и флотационные концентраты совместно с сульфидами. Из сульфидов его извлекают пирометаллургическим методом или цианированием после окислительного обжига. Если золото ассоциирует с гидроксидами железа и другими гипергенными минералами, его можно отделить цианированием. Из кварца тонкодисперсное золото может извлекаться только при плавке.

Основным процессом извлечения золота из руд является цианирование. На ход этого процесса оказывает отрицательное влияние присутствие некоторых минералов меди (оксиды, карбонаты, сульфиды), сурьмы (антимонит), железа (пирротин), мышьяка (реальгар, аурипигмент); при наличии этих ком-

понентов снижается скорость растворения золота и увеличивается расход цианида. К вредным примесям относятся также углеродистое вещество, имеющее высокую сорбционную активность, слюдисто-глинистые минералы, осложняющие процесс обезвоживания цианистой пульпы и отмывку растворенного золота, минералы мышьяка (арсенопирит, сульфосоли и др.), затрудняющие пирометаллургическую переработку золотосодержащих концентратов.

Технология переработки золотосодержащих руд достаточно сложна и заключается в комбинации процессов обогащения, пиро- и гидрометаллургических методов. Сначала руды сортируют, дробят и обесшламливают. Затем проводят гравитационное и флотационное (коллективное или селективное) обогащение и получают концентрат с содержанием золота 20—50 г/т. После этого осуществляются амальгамация и цианирование или пирометаллургическая переработка (обжиг, плавка) руд и концентратов. Заключительным этапом является аффинаж (окончательная очистка) золота.

К числу промышленных типов золоторудных месторождений относятся: 1) плутоногенно-гидротермальный (золото-кварцевая, золото-сульфидно-кварцевая рудные формации); 2) вулканогенно-гидротермальный (золото-серебро-кварцадуляровая, золото-кварц-халцедон-сульфидная рудные формации); 3) метаморфогенный (флюидно-метаморфогенный в зеленосланцевых и черносланцевых толщах, осадочно-метаморфогенный в конгломератах); 4) скарновый; 5) россыпной. Ведущее значение для России имеют флюидно-метаморфогенные, плутоногенно- и вулканогенно-гидротермальные месторождения. Кроме того, золото добывается попутно из руд сульфидных медно-никелевых, медно-порфириновых, медно-колчеданных и колчеданно-полиметаллических, кварц-антимонитовых и ртутных месторождений.

Березовское месторождение находится в Свердловской обл. Приурочено оно к позднепалеозойскому поясу гранитоидных даек меридионального простирания, которые прорывают вулканогенно-осадочную толщу палеозойских пород. В составе этой толщи значительная роль принадлежит диабазам, диабазовым порфирирам, их туфам. Дайковый комплекс многофазный. В поясе насчитываются сотни даек, представленных плагиосиенит-порфирами, лампрофирами, гранодиорит-, гранит- и плагиогранит-порфирами, диоритовыми порфирирами. Длина отдельных даек, сред которых известны как крутопадающие, так и пологие, изменяется от нескольких километров до 10—15 км. Дайки группируются в пучки, расстояние между которыми составляет 80-100 м, а между дайками в пучках – 5-10 м.

Золоторудные жилы по условиям залегания делятся на "лестничные", локализующиеся в дайках, и "красичные", размещающиеся вне даек. Лестничные жилы густо пересекают крутопадающие дайки гранит-порфириров. Длина жил соответствует мощности даек; они ориентированы по отношению к контактам даек по нормали и косо. Мощность лестничных жил невелика - десятки сантиметров. Выполнены они кварцем, карбонатами и небольшим количест-

вом сульфидов. Вмещающие их дайки превращены в березиты.

"Красичные" жилы на месторождении распространены в двух зонах широтного простирания. Длина жил до 150-200 м при мощности до 2–3 м. Состав их такой же, как и лестничных, но вмещающие боковые породы основного состава преобразованы в листвениты.

Ранние кварц-шеелит-турмалиновые жилы слабо золотоносные. Основное значение принадлежит более поздним золото-сульфидно-кварцевым жилам. Сульфиды представлены пиритом, халькопиритом, галенитом, блеклой рудой, айкинитом и др. Самородное золото вместе с сульфидами рассеяно в березитах, кварцевых и сульфидных прожилках.

Рудный этап был многостадийным. Выделяются не менее пяти стадий: 1) березитизации; 2) анкерит-кварцевая; 3) сульфидная (с золотом); 4) кварц-пиритовая (с золотом); 5) кальцитовая.

Наиболее богатые золотом руды находились на верхних горизонтах, где рудоносные дайки пересекали сланцы и туффиты. На средних горизонтах в разрезе вмещающей толщи преобладают диабазы. Оруденение на этом уровне бедное. На нижних горизонтах, где в разрезе появились сланцы, дайки вновь стали золотоносными.

Исследователи полагают, что золотое оруденение имеет геолого-структурную (или парагенетическую) связь с комплексом даек, в которых оно находится.

Березовское месторождение длительное время эксплуатируется шахтами. Золото в основном самородное, легко извлекается и лишь часть его заключена в сульфидах.

Степнякское месторождение находится в Северном Казахстане. Приурочено оно к небольшому лакколитообразному массиву гранитоидов позднего силура, залегающему среди песчано-сланцевых отложений ордовика. На поверхности массив имеет овальную форму, а на глубине — тонкую "ножку". Массив многофазный. На верхних горизонтах он сложен кварцевыми и роговообманково-плагиоклазовыми габбро, кварцевыми лабрадоритами, габбро-лабрадоритами, диоритами, а также тона-литами, кварцевыми диоритами и гранодиоритами, а с глубиной становится однородным — "ножка" его состоит из пород габбрового ряда. Наиболее поздними в Степнякском массиве являются дайки диоритовых порфиритов, спессартитов, гранодиорит-порфиров, плагиоаплитов.

Рудные жилы тесно связаны с интрузивным массивом. Наиболее крупные из них (Троицкая и Георгиевская) располагаясь вблизи поверхности в основном среди осадочных пород, по падению уходят в глубь интрузива, сокращаются по длине и выклиниваются на уровне "ножки" массива. Мелкие рудные жилы локализуются висячем боку главных жил и в большинстве случаев не выходят за пределы интрузива. Имея различную ориентировку в пространстве, они сопрягаются с главными жилами, образуя сложные жильные системы, которые вписываются в коническую фигуру, вершина которой раз-

мещается в корневой части интрузивного массива.

Жилы сложены в основном кварцем. Количество рудных минералов не превышает 3-5 %. Среди них установлены пирит, арсенопирит, марказит, галенит, халькопирит (основные минералы), сфалерит, пирротин, шеелит, антимонит, молибденит, гессит, алтаит, петцит, риккардит, тетраэдрит, теннантит, бурнонит, буланжерит, джемсонит, гематит, магнетит, самородные золото, серебро, сурьма, теллур. Среди жильных минералов кроме кварца встречаются кальцит, анкерит, арагонит. Промышленное значение имеет лишь золото.

Вдоль жил вмещающие породы подверглись березитизации и окварцеванию, встречаются участки серицитизации, хлоритизации и карбонатизации.

Образование рудных жил описываемого месторождения было многостадийным. С первой стадией связано формирование околожильных метасоматитов — березитов. Вторая стадия является кварц-пиритовой (с арсенопиритом), третья — золото-полиметаллической, четвертая — кварц-антимонитовой (с золотом) и пятая — карбонатной.

Кварц второй стадии минерализации, представляющий собой главный минерал жил, молочно-белый, массивный, полосчатый, имеет нечетко выраженную кристаллически-зернистую, местами метаколлоидную текстуру. В ассоциации с ним наблюдаются пирит и арсенопирит. Для жил, прожилков, гнездообразных скоплений минералов третьей стадии, локализующихся в раннем кварце и во вмещающих породах, характерен весьма сложный состав (кварц, пирит, арсенопирит, сульфиды свинца, цинка, меди, серебра, сурьмы, сульфосоли, теллуриды, шеелит, самородное золото и др.). Основная масса золота отложилась в эту стадию. Прожилки четвертой стадии сложены горным хрусталем с антимонитом, серицитом, хлоритом, карбонатом и небольшим количеством золота.

Золото в рудных жилах Степнякского месторождения распределено очень неравномерно и представлено мелкодисперсной формой в сульфидах, самородными выделениями и теллуридами. Наиболее распространенным является самородное золото, встречающееся в виде отдельных зерен и тонких прожилков в кварце, в сростаниях с теллуридами, в ассоциации с галенитом, блеклыми рудами, карбонатами. Проба золота от 830 до 908.

Золотое оруденение Степнякского месторождения парагенетически связано с комплексом малых интрузий (Степнякский комплекс Северного Казахстана) силурийского возраста. Массив гранитоидов, к которому приурочено оруденение, дайки и рудные жилы имеют единый "корень" на глубине и, возможно, общий глубинный магматический очаг.

Дарасунское месторождение находится в Читинской обл., в золото-молибденовом поясе Восточного Забайкалья. Площадь месторождения характеризуется сложным геологическим строением. Здесь развиты габброиды и амфиболиты и прорывающие их гранодиориты палеозоя, лейкократовые граниты и сиениты позднего палеозоя — раннего мезозоя, комплекс даек меланократовых пород (габбро, порфириды, диабазы, спессартиты) и средне-

позднеюрский комплекс плагиогранит-, гранит-, гранодиорит-, сиенит-порфиоров и кварцевых диоритовых порфириров.

Разрывные нарушения имеют преимущественно северо-западное и северо-восточное простирание. В центральной части месторождения размещается несколько трубообразных тел эруптивных брекчий, возникших в результате прорыва газов. Кварц-сульфидные рудные жилы выполняют трещины скалывания северо-восточного направления, хорошо выдержаны как по простиранию, так и по падению.

Установлены следующие стадии минерализации: 1) кварц-турмалиновая с пиритом и молибденитом; 2) кварц-пиритовая; 3) пирит-арсенопиритовая с субмикроскопическим золотом; 4) галенит-сфалеритовая с кварцем, тетраэдритом; 5) халькопирит-бурнонитовая с блеклой рудой, халькопиритом, борнитом, арсенопиритом, самородным золотом, серебром, висмутом, висмутином, тетрадимином, теллуридами; 6) сульфоантимонитовая (буланжерит, джемсонит, менегенит, антимонит, бертьерит, прустит, самородное золото, карбонат); 7) карбонатная (анкерит, кальцит).

Основными продуктивными на золото являются пятая и шестая стадии. Проба золота около 900. В связи с неоднократным приоткрыванием рудовмещающих трещин наибольшее распространение получили брекчиевые, полосчатые, крустификационные текстуры.

Околорудные изменения боковых пород выражены березитизацией, которой предшествовали более широко развитые, но очень слабо проявленные турмалинизация и биотитизация интрузивных пород.

В размещении минеральных ассоциаций различных стадий на площади месторождения выявлена горизонтальная зональность. Почти на всей площади наблюдаются образования кварц-турмалиновой и кварц-пиритовой стадии. Продукты третьей и четвертой стадий занимают значительно меньшую площадь, а пятой, шестой и седьмой приурочены лишь к небольшим участкам наиболее крупных жил. Изучение мощности жил, формировавшихся в разные стадии, привели к заключению о том, что внутриминерализационные движения имели затухающую амплитуду. Вследствие этого на каждой последующей стадии минерализации формировались жилы меньшей мощности, чем на предыдущей. Но поскольку тектонические импульсы разряжались в большинстве случаев по старым швам, выполненным более ранними минеральными агрегатами, общая мощность жил росла. Следовательно, более перспективными жилами являются те, которые содержат минерализацию большего числа стадий.

Балейское и Тасеевское месторождения находятся в центральной части Читинской обл. в золото-молибденовом поясе Восточного Забайкалья. Эти два месторождения представляют единое Балейское рудное поле, которое приурочено к раннемеловому грабену, выполненному меловыми конгломератами и песчаниками. Фундаментом депрессии являются палеозойские границы.

Жилы имеют северо-восточное и близширотное простирание, падение их

крутое. Они почти полностью (98 %) состоят из халцедоновидного кварца и небольшого количества пирита, антимонита, адуляра и каолинита. Золото низкопробное (650—750) губчатое. Текстуры руд полосчатые, колломорфные, брекчиевые. Жилы выполняли открытые полости.

В жилах Тасеевского месторождения выделяются пять стадий минерализации: 1) кварцевая (кварц халцедоновидный); 2) адуляр-каолинит-кварцевая; 3) кварц-карбонатная (полумолочный кварц, карбонат пластинчатый); 4) золото-пираргиритовая (с блеклой рудой, теллуридами и полосчатым розовато-серым халцедоновидным кварцем); 5) халцедон-антимонитовая.

В балеиских рудах наряду с золото-пираргиритовой развита золото-кварцевая ассоциация. Колломорфные выделения халцедона и кварца содержат скопления частиц золота. Шнуровидные образования золота располагаются по полоскам раннего кварца и облекают поверхность кристаллов адуляра. В других образцах интересные папортниковидные дендриты золота сформировались в сочетании с гребенчатым кварцем. На верхних горизонтах Тасеевского месторождения, по данным М.Г. Андреевой, отношение Au : Ag варьирует от 2:1 до 1,5:1; а на нижних — от 1:2 до 1:4.

Хаканджинское месторождение расположено на площади меловой вулканической постройки и приурочено к риолит-дацитовому субвулканическому массиву, осложненному крупным широтным разломом. Жильные рудные тела сформировались на нескольких участках вдоль разлома. Жилы крутопадающие, небольшой протяженности по простиранию, но со значительным вертикальным размахом оруденения. Они разведаны до глубины шестого горизонта.

В рудах установлено более 60 минералов. Основную массу (более 98 %) жильного выполнения составляют кварц, кальцит, адуляр, в подчиненном количестве присутствуют гидрослюда, хлориты, железистые и магниезальные карбонаты, монтмориллонит и каолинит. На долю рудных минералов, размер выделений которых не превышает сотых-десятых долей миллиметра, приходится не более 0,5—1,5 %. Это простые и сложные сульфиды, блеклые руды различного состава, сульфостаннаты, селениды, сульфосоли серебра и меди, самородные элементы и интерметаллические соединения. Из них в заметных количествах в рудах присутствуют пирит, сфалерит, халькопирит, фрейбергит, теннантит, канфильдит, полибазит, электрум, серебро, иногда галенит и пираргирит.

Выделяется пять стадий минерализации: 1) до продуктивная (гидрослюда, кварц, кальцит); 2) ранняя продуктивная (гидрослюда, адуляр, кварц, кальцит, каолинит, пирит, сфалерит, халькопирит, фрейбергит, теннантит, канфильдит, электрум, арсенопирит, галенит и др.); 3) межпродуктивная (кальцит, кварц); 4) поздняя продуктивная (адуляр, кварц, кальцит, пирит, сфалерит, халькопирит, наумангогг, полибазит, самородное серебро, пираргирит, галенит, электрум и др.); 5) послепродуктивная (кальцит, кварц, гидрослюда).

На ранней продуктивной стадии образовались три минеральные ассоциа-

ции — серебряная галенит-канфилдитовая, золото-пирит-сфалеритовая и золото-канфилдит-фрейбергит-халькопиритовая, а на поздней продуктивной — золото-сфалерит-халькопиритовая и самородного серебра с сульфосолями и селенидами серебра.

На месторождении выявлена горизонтальная и вертикальная минеральная зональность, связанная со стадийностью процесса минералогенеза и пространственным разделением минеральных ассоциаций продуктивных стадий (фациальная зональность).

На восточном участке месторождения вертикальная зональность выразилась в следующей смене рудных ассоциаций (сверху вниз): 1) золото-канфилдит-фрейбергит-халькопиритовая; 2) золото-пирит-сфалеритовая; 3) галенит-канфилдитовая. Первой рудной зоне соответствуют в основном гидрослюдистые метасоматиты, второй — серицит-адуляровые, а третьей — адуляровые, которые на уровне шестого горизонта сменяются эпидотовыми пропилитами. Серицитизация пород вдоль жил прослеживается на значительную глубину. Содержание в рудах золота и серебра максимально в верхней зоне, затем до уровня пятого горизонта оно падает, а ниже содержание золота продолжает падать, а серебра возрастает.

В природе известно 60 серебряных и серебросодержащих минералов. Главным из них является самородное серебро. Оно может содержать до 20 % примесей различных металлов - золота, меди, железа, висмута, сурьмы и ртути. Серебро образует пленки, дендриты, округлые, волосовидные выделения. Встречаются самородки массой до 20 т. Важное значение имеют (в %): аргентит Ag_2S (87,1% серебра), электрум Au, Ag (15-50), прустит Ag_3AsS_3 (65,5), пираргирит Ag_3SbS_3 (60), полибазит $(\text{Ag, Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_u$ (62,1-84,9).

Ведущими источниками серебра являются две группы месторождений: собственно серебряные и серебросодержащие.

Требования промышленности к серебряным рудам зависят от типа месторождений. В собственно серебряных месторождениях содержание металла должно составлять не менее 100 г/т. Из комплексных месторождений цветных металлов серебро может извлекаться и при более низких содержаниях (10-100 г/т).

Главные промышленные месторождения серебра относятся к эндогенным постмагматическим образованиям. По генезису среди них выделяются плутоногенно- и вулканогенно-гидротермальный промышленные типы. Плутоногенно-гидротермальные, в свою очередь, включают месторождения никель-серебряно-арсенидной формации в связи с габброидами и месторождения серебряно-арсенидной, пятиэлементной и серебряно-свинцовой формаций в связи с гранитоидами. Вулканогенно-гидротермальный промышленный тип объединяет месторождения серебро-оловянной и золото-серебряной

формаций. Все они связаны с кислым вулканизмом.

Кроме этого, серебро содержится в промышленных количествах (до 130 г/т) в собственно магматических сульфидных медно-никелевых рудах норильского типа, в скарновых сульфидных месторождениях, где его содержание достигает 600-850 г/т, медно-порфировых, стратиформных медных, медно-колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождениях.

Мангазейское месторождение (Якутия, Верхоянье). Вмещающими породами являются песчаники, сланцы и алевролиты верхнего карбона и перми, собранные в складки и прорванные штоками и дайками кварцевых порфиров и гранитов мелового возраста.

Межпластовые рудные жилы месторождения залегают среди сланцев в антиклинальной складке, осложненной узкой синклиналью (рис. 114). Жилы сложены кварц-сульфидными рудами, которые формировались в два этапа. Ранний этап - маломощные прожилки кварца с галенитом, сфалеритом и тетраэдритом. Поздний этап (главный) разделяется на ряд стадий: 1 - кварц, пирит, арсенопирит; 2 - кварц, сфалерит, мангано-сидерит; 3 - кварц, галенит, манганосидерит, штернбергит (AgFe_2S_3); 4 - кварц, анкерит, фрей-бергит ($(\text{Cu,Ag})_2\text{Sb}_4\text{S}$, овихин ($\text{Ag}_2\text{Pb}_5\text{Sb}_6\text{Si}_5$), диафорит (Ag_3PbS_2), миаргирит (AgSbS_2), пираргирит, самородные золото и серебро; 5 - манганосидерит, сфалерит; 6 - кварц, манганосидерит, кальцит. Отношение $\text{Ag} : \text{Au} = (500-100) : 1$.

Пачука (Мексика, шт. Идальго). Этот известнейший серебрянорудный район Мексиканской провинции приурочен к секториальному блоку крупного сводового поднятия. За 450 лет из месторождений Пачука и Реаль-дель-Монте было добыто 35 тыс. т серебра и 150 т золота.

По данным Е.М.Некрасова (1988), рудное поле формировалось (скорее всего) в северном и северо-западном секторах вулканопольной постройки. В южной части находится жерловое тело этой постройки, сложенное дацитами, риодацитами и их лавовыми брекчиями. Остальная территория занята андезитами и риолитами неогенового возраста, залегающими с пологим ($5-10^\circ$) падением на север и северо-запад. К северу от жерла находится поле даек кварцевых порфиров и дацитовых порфиритов.

Рудная минерализация концентрируется в двух системах близповерхностных эпитермальных жил. Первая из них имеет запад-северо-западное простирание и контролируется, как и дайки, кольцевыми разрывными нарушениями, расположенными к северу от вулканического центра. В жилах этой системы наблюдаются перегибы, пережимы и раздувы (до 10 м), обусловленные влиянием широтных разрывов. Вторая система рудных жил является субмеридиональной, контролируется радиальным разломом. Жилы более прямолинейные, имеют плитообразную форму и брекчиевое внутреннее строение. Наиболее крупные жилы прослеживаются по простиранию на 1,5-2,0 км, по падению - до 1 км. Характерны апофизы и параллельные прожил-

ки, сопровождающие протяженные жилы.

Основное количество серебра и золота заключено в рудных столбах. Они вытягиваются вдоль жил почти горизонтально на 200-1000 м. Рудные столбы контролируются изгибами рудовмещающих нарушений и сочленениями их с боковыми оперяющими сколами.

Рудные жилы сложены кварцем нескольких генераций. А.Е. Антонов (1992) относит их к кварцево-серебряной формации. В жильной массе установлены также кальцит, родонит, родохрозит, доломит и барит. Ранние сульфиды представлены пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом. С поздним аметистовидным кварцем связана серебряная минерализация, являющаяся уникальной по разнообразию минеральных форм. Главный минерал - аргентит. Широко распространены полибазит, акантит, миаргирит, пираргирит, прустит, стефанит, штернбергит. Самородное серебро характерно для зон окисления. Золото проявлено в виде электрума в мелкозернистом кварце, пирите и галените. Отношение золота к серебру 1:200.

В группу платины входят платина, палладий, осмий, иридий, рутений, родий. Платиноиды содержатся в составе более 90 минералов. Среди них выделяются: 1) самородные платиноиды и природные сплавы - в самородном виде встречаются все платиноиды, но наиболее часто платина; сплавы (твердые растворы платиноидов) - изоферроплатина Pt_3Fe (Pt - 90 %), осмирид Jr, Os (Jr - 65-80); иридосмин Os, Ir (Os - 50-80); рутениридосмин Ru, Os, Ir ; 2) интерметаллические соединения с оловом, свинцом, висмутом, сурьмой и теллуrom - станниды типа рустенбургита (Pt_3Sn), паоловита (Pd_2Sn); плюмбоиды типа плюмбопалладинита (Pt_3Pb_2); висмутиды типа соболевскита ($PdBi$); теллуриды типа мончеита (Pлер); 3) сульфиды, арсениды, сульфоарсениды - куперит PtS (85), брэггит (Pt, Pd, Ni)S (Pt - 32-58, Pd - 17-38), высоцкит (Pd, Ni)S (Pd - 39,5), лаурит RuS_2 (61), сперрилит $PtAs_2$ (56), холингвортит $RhAsS$ (49). Промышленными считаются коренные руды с содержанием платиноидов от 3-5 до 10-15 г/т и с запасами 1 т и выше, к средним относятся месторождения с запасами 10-50 т, а к крупным - 100-500 т.

Среди промышленных месторождений металлов платиновой группы выделяются платиноносные магматические (раннемагматические, позднемагматические, карбонатитовые) и россыпные, а также платиносодержащие (магматические медно-никелевые норильского типа, хромитовые с платиноидами кордильерского типа, медно-порфиоровые). Практически все коренные месторождения платиноидов, за исключением медно-порфиоровых, связаны с ритмически и циклически расслоенными плутонами основного-ультраосновного состава или с массивами центрального типа (карбонатиты).

Риф Меренского (ЮАР, Трансваальский бассейн) находится в юго-западной части площади, сложенной силлами Бушвельдского комплекса (рис. 118). В состав комплекса входят серии пород от гарцбургитов, норитов,

бронзититов (нижняя зона) до габбро и диоритов (верхняя зона). Заключительные фазы магматизма привели к образованию фельзитов и гранитов. Платиноносной является, так называемая, Критическая зона расслоенной серии Бушвельда, расположенная по разрезу между Главной и Базальной зонами. В нижней части Критической зоны залегают пироксениты, гарцбургиты, хромититы, в верхней части - нориты, анортозиты, хромититы. В верхней части Критической зоны расположен Риф Меренского, сложенный перемежающимися пироксенитами и анортозитами.

Основные запасы платиноидов Бушвельда сосредоточены в трех горизонтах - рифах Меренского, Плэтриф и UG-2. Риф Меренского сложен порфировыми и пегматоидными пироксенитами с гнездами и прожилками хромитов. Вверху залегают анортозиты и нориты. По простиранию Риф Меренского прослежен на 230 км при средней мощности 0,8 м. Он полого (10-25°) падает к центру массива. На участке Рустенбург залегание Рифа осложняется отдельными депрессиями, имеющими до 300 м в поперечном сечении и прослеживающимися до глубины 60 м. Здесь он залегает на анортозитовом норите, перекрывается пироксенитом и имеет мощность 20-45 см. На некоторых участках наблюдается усложнение формы рудных пластов: встречаются столбообразные залежи диаметром 15-50 м, прослеживающиеся на глубину до 30 м.

Минеральный состав Рифа: ромбический пироксен, битовнит, биотит, хромит, магнетит, ильменит. Участки вкрапленных руд содержат пирротин, пентландит, халькопирит, кубанит, миллерит, валле-риит, никелистый пирит. Минералы платиновой группы представлены ферроплатиной, браггитом, куперитом, сперрилитом, лауритом, теллуридами платины и палладия.

Содержание платиноидов составляет 5-15 г/т (при фоновом содержании до 50 мг/т). Доля платины в рудах составляет 60 %, палладия - 25, рутения - 3,8, родия - 6-9, иридия - 0,6-1,8, осмия - 0,4-0,8 %. Содержание сульфидов в Рифе около 1,2 %. Ресурсы платиноидов оцениваются в 18 тыс. т.

Риф UG-2 располагается на 20-300 м ниже по разрезу Рифа Меренского. Его мощность 0,5-2,5 м, протяженность 250 км, содержание платиноидов 5,5-7,5 г/т. Доля платины составляет 45-50 %. Ресурсы платиноидов составляют около 12,2 тыс. т.

Образование платиноидов в промышленных масштабах могло происходить при поступлении дополнительных порций глубинного расплава в камеру с остаточным расплавом. Смешение магм приводило к конвекции и гравитационному осаждению капель сульфидного расплава. При этом наиболее богатые руды накапливались в депрессиях (впадинах) рифов.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений золота, серебра и платиноидов, и описать по одному месторождению из

следующего перечня: золото - Сухой Лог, Витватерсранд, Карамкен, Колар, Зун-Холба; серебро - Канджольское, Дукатское, Потоси, платиноиды - Норильская группа, Нижне-Тагильское.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12 МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕДКИХ, РАССЕЯННЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ МЕТАЛЛОВ (УРАН, ЛИТИЙ, БЕРИЛЛИЙ, ТАНТАЛ, НИОБИЙ)

Гипогенными промышленными минералами урана являются уранинит и настуран $UO_{2.17-2.7}$, коффинит $U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$, давидит $(Fe, U)TiO_3$, браннерит $(U, Ca, Th, Y)[(Tl, Fe)_2O_6]$. В зоне выветривания уранинит, настуран и коффинит легко разрушаются и образуются гипергенные урановые минералы: урановая чернь $UO_{2.7-2.93}$, янтинит $[UO_2(OH)_2]$, фосфаты урана — отенит $Ca[UO_2]_2[PO_4]_2 \cdot 8H_2O$ и торбернит $Cu[UO_2]_2[PO_4]_2 \cdot 12H_2O$, арсенаты — цейнерит $Cu[UO_2]_2x[AsO_4]_2 \cdot 12H_2O$, ванадаты — тюямунит $Ca[UO_2]_2[VO_4]_2 \cdot 8H_2O$ и карнотит $K_2[UO_2]_2[VO_4]_2 \cdot 3H_2O$, силикаты — казолит $Pb[UO_2]_x[SiO_4] \cdot H_2O$, молибдаты — умохоит $[UO_2]MoO_4 \cdot 4H_2O$ и др. Главное промышленное значение среди них имеет урановая чернь, но и остальные гипергенные минералы часто оказываются промышленными.

Наиболее важные урансодержащие минералы — ураноторит, фергюсонит, монацит, лопарит, гатчеттолит, циркон, циртолит. Ураном бывают также обогащены асфальтоподобное вещество (тухолит), различные углеродистые и органические вещества, фосфорит, а также гиалит, лимонит и другие (с сорбированным ураном).

Типы урановых руд весьма разнообразны. Они могут быть как монометалльными урановыми, так и комплексными: торий-, золото-, медь-, ванадий-, молибден-, апатит-, апатит-молибден-урановыми и др. В зависимости от содержания U_3O_8 руды делятся на бедные (сотые доли процента), средние (десятые доли процента) и богатые (десятые доли - несколько процентов). Из руд получают урановый концентрат или извлекают уран путем химического выщелачивания. Эффективность последнего процесса определяется минеральным составом не только руд, но и вмещающих пород.

Крупные месторождения бедных вкрапленных руд, залегающих в песчаниках, с легко извлекаемым ураном обрабатываются методом подземного выщелачивания.

Среди промышленных урановых месторождений известны эндогенные, экзогенные и метаморфогенные.

К эндогенным относятся позднемагматические, карбонатитовые и гидротермальные месторождения. Гидротермальные, в свою очередь, разделяются на: следующих типов: 1) месторождения урановой формации в альбититах в крупных разломах активизированных древних щитов; 2) золото-

браннеритовые месторождения в калиевых метасоматитах в крупных разломах активизированных щитов; 3) жильные месторождения урановой, пятиэлементной и уран-полиметаллической формации в терригенных породах; 5) комплексные фосфорно-молибден-урановые, объединяющие два подтипа — фосфорно-молибден-урановые в альбитизированных породах (эйситах) и молибден-урановые в березитах; 6) флюорит-урановые в вулcano-тектонических депрессиях; 7) месторождения урановой, никель-урановой, золото-урановой формации в зонах несогласия («тип несогласия»).

Экзогенный тип включает месторождения селен-уран-ванадиевой формации в песчаниках и битумах, и месторождения урановой формации в калькретах.

Метаморфогенные месторождения представлены пластовыми телами докембрийских конгломератов с урановым (браннеритовым) и ураново-золотым оруденением.

Ниже приведена характеристика некоторых промышленных типов на примере типичных месторождений

Месторождения урановой формации в альбититах в крупных разломах активизированных древних щитов.

Наиболее ранние структурные элементы разломов представлены зонами смятия и будинажа, поясами пегматитовых жил и мелких гранитных тел, швами бластомилонитов. Затем образовались милониты, зоны катаклаза и трещин с эпидот-хлоритовым изменением пород.

Натриевые метасоматиты чаще всего совмещены с зонами катаклазитов в гранитах и гнейсах. Во внутренней зоне метасоматитов преобладают эгириин и альбит, в промежуточной — рибекит, микроклин и альбит, а во внешней — плагиоклаз, рибекит, кварц и микроклин. В случае слабой активности натрия во внешней и промежуточной зонах вместо эгирина развиваются эпидот и хлорит.

Рудные тела имеют форму линзовидных залежей, приуроченных к мелким послойным телам альбитизированных гранитов и пегматитов, а также сложных столбообразных тел в гранитах, связанных с поперечными разрывными нарушениями. Руды мелкокрапленные, границы рудных тел определяются путем опробования.

Для руд характерен сложный минеральный состав. В них присутствуют уранотитанаты, настуран, уранинит, давидит, коффинит, гидронастуран, уранофан и др. Жильные минералы представлены альбитом, эгирином, рибекитом, хлоритом, эпидотом, карбонатами, кварцем. В рудах отмечаются малакон, апатит, магнетит, гематит, пирит, галенит, борнит, пирротин и др.

Ураноносные натриевые метасоматиты формировались в две стадии. С первой связано образование эгириин-рибекит-альбитовых метасоматитов. Наиболее распространенными минералами второй стадии являются карбонат, кварц, хлорит, флогопит, эпидот, гематит. На этой стадии происходила карбонатизация пород и ранних метасоматитов, а также отложение основной массы

урановых минералов. Вертикальный размах оруденения значительный.

Генезис описываемых месторождений дискусионен. Одни исследователи относят их к постмагматическим гидротермальным, другие — к ультраметаморфическим. Более обоснованной следует, вероятно, считать первую точку зрения.

Золото-браннеритовые месторождения в калиевых метасоматитах в крупных разломах активизированных щитов представляют собой крупные минерализованные зоны с урановым оруденением, приуроченные к древним разломам фундамента. По разломам внедрялись дайки древних гранитов, пегматитов, кварцевых диоритов, а на этапе мезозойской активизации и тела щелочных пород.

Отложению урановых руд предшествовали интенсивное дробление и низкотемпературное гидротермальное изменение вмещающих пород. В результате гидротермальной деятельности образовались дорудные кварц-адуляр-пирит-карбонатные метасоматиты (первая стадия), барит-кварцевые жилы (вторая стадия), ураноносные пирит-карбонат-браннеритовые и карбонатные прожилки (третья и четвертая стадии). Тектонические швы с браннеритовой брекчией находятся в центральных частях метасоматических зон, локализуясь у контактов более ранних жил.

Рудные тела имеют значительную протяженность.

Широко распространенным минералом является пирит, представленный несколькими генерациями: 1) вкрапленный в метасоматитах; 2) в барит-кварцевых жилах в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом, блеклой рудой; 3) в ассоциации с браннеритом. Пирит золотоносный.

Комплексные фосфорно-молибден-урановые месторождения в эйситах и березитах находятся в областях палеозойской складчатости, залегают в породах докаледонского фундамента, вулканогенно-осадочных толщах нижнего палеозоя, вулканотектонических депрессиях и вулканических сооружениях орогенного этапа развития.

Рудные поля и месторождения тяготеют к зонам глубинных разломов с локализованными в них полями даек лампрофиров (минетт, керсантитов и спессартитов), являющихся самостоятельным комплексом регионального распространения. Лампрофиры и оруденение имеют не только пространственную связь, но и близки по времени образования, т.е. связь между ними структурно-геологическая (парагенетическая). Для рудных тел характерна жильная и жилообразная форма, представлены они минерализованными зонами и штокверками. Сложной морфологией рудных тел обладают месторождения, приуроченные к жерлам вулканов. Вулканогенные образования прорваны гранитоидами, после которых внедрялись лампрофиры. За лампрофирами следовало урановое оруденение. Вулканические постройки оказались структурными ловушками для оруденения.

Руды описываемых месторождений комплексные — фосфорно-урановые, молибден-урановые и фосфорно-молибден-урановые, содержат

также цирконий, торий и другие элементы. Околорудные изменения вмещающих пород на месторождениях с проявлениями фосфорной минерализации представлены эйситами. Лишь на некоторых молибден-урановых месторождениях предрудными метасоматитами являются березиты. Поэтому в рассматриваемой фосфорно-молибден-урановой рудной формации следует выделить две субформации: фосфорно-молибден-уран-эйситовую и молибден-уран-березитовую. Количественные соотношения фосфорной, молибденовой и урановой минерализации определяют промышленный тип руды.

Фосфорно-урановое месторождение, локализованное в известняках нижнего палеозоя, обладает весьма сложной трещинной структурой. Главная жила, приуроченная к межпластовому срыву, сопровождается опережающими более мелкими жилами в пологих поперечных трещинах.

Состоят жилы в основном из урансодержащего апатита и карбоната, небольших количеств альбита, хлорита, кварца, флюорита и бедной мелкозернистой вкрапленности сульфидов (пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, молибденит), а также коффинита, гидроторита, гидроциркона.

В местах пересечения дайки плагиогранит-порфира пологими апатитовыми жилами возникли кварц-альбитовые метасоматиты (эйситы), количество апатита в них уменьшилось. Рудные минералы образуют в апатите очень мелкую рассеянную вкрапленность и тонкие короткие прожилки. Отложение их связано с более поздней стадией. Карбонатные прожилки с незначительным количеством пирита и халькопирита, пересекающие рудные апатитовые жилы, завершали гидротермальный процесс формирования фосфорно-урановых руд.

Фосфорно-урановое месторождение в карбонатно-песчано-сланцевых отложениях имеет сложную столбообразную, вытянутую в северо-западном направлении форму. Оно находится в узле пересечения разрывных нарушений вблизи крутопадающего контакта гранитного массива. Осадочные породы, главным образом песчаники, подверглись интенсивной альбитизации (эйситизации). Граниты также альбитизированы. Контуры рудных тел в общем соответствуют контурам пород, подвергшихся альбитизации сильной и средней интенсивности.

Образовались руды в несколько стадий. С первой связана альбитизация пород и отложение апатита (10-20 % общей массы метасоматитов), коффинита, карбоната, хлорита. Апатит представлен фтористой разновидностью, содержащей уран. Затем возникли циртолит-торит-карбонатные прожилки и вкрапленность (вторая стадия), пиритовые прожилки с арсенопиритом, кварцем, хлоритом (третья стадия), коффинит-настура-новые прожилки с браннеритом, уранинитом, гематитом (четвертая стадия), анкерит-кварц-хлоритовые прожилки (пятая стадия). Ни одна из минеральных ассоциаций этого многостадийного процесса не развита за пределами метасоматитов, все они сконцентрированы вместе. Это подтверждает тесную связь всего рудного процесса с эйситами.

Молибден-урановое месторождение, приуроченное к жерлу вулкана, раз-

мещается в крупной вулканической кальдере кольцевого строения. Экструзив, сложенный фельзитовыми порфирами и эруптивными брекчиями, прорван дайками гранит-порфиров и диоритовых порфиритов и осложнен тектоническими трещинами двух систем.

Рудные тела образовались после внедрения даек, связаны с тектоническими трещинами и залегают в фельзитах и эруптивных брекчиях некка. Гидротермальный процесс был многостадийным. На первой стадии сформировались кварц-альбитовые метасоматиты и происходила карбонатизация пород. Затем последовали пиритизация пород (вторая стадия), отложение молибденита и других сульфидов (третья стадия), настурана с сульфидами и хлоритом (четвертая стадия) и возникновение карбонатных прожилков (пятая стадия).

В рудном поле кроме гранит-порфиров и диоритовых порфиритов встречаются также лампрофиры. Пояс даек имеет меридиональное простирание. Вблизи него обнажается гранитный массив, прорывающий вулканогенную толщу. Установлено, что дайки являются послегранитными, а оруденение последайковым. Таким образом, молибден-урановое оруденение значительно оторвано во времени от вулканической деятельности. Самые поздние среди даек — лампрофировые — следует рассматривать на основе целого ряда признаков как самостоятельный дайковый комплекс. Молибден-урановое оруденение отлагалось после внедрения лампрофиров и имеет, следовательно, с ними наиболее близкую временную и пространственную связь. Однако для решения этого вопроса в данном регионе необходимы дополнительные исследования.

Флюорит-урановые месторождения в вулкано-тектонических депрессиях находятся в активизированных складчатых областях. Одно из них приурочено к кальдере, сложенной базальтами, андезитобазальтами, дацитами, их игнимбритами, а также осадочными породами, в нижней части разреза. Завершилось формирование кальдеры внедрением субвулканических тел и даек риолитов, сиенит-порфиров, граносиенитов вдоль бортовых кольцевых разломов.

Фундамент кальдеры сложен гранитогнейсами и лейкократовыми гранитами.

Морфология рудных тел весьма сложна и разнообразна, так как определяется секущими крутопадающими нарушениями, межпластовыми срывами и горизонтами благоприятных для локализации оруденения пород. Известны крутопадающие жилы и жильные системы, линейные лентовидные штокверки, пластообразные залежи. Среди гидротермальных образований выделяются дорудные кварц-альбитовые и карбонат-гидрослюдистые метасоматиты. Жилы, прожилки и гнезда, сложенные кварцем, гематитом, пиритом, сидеритом, содержащие берtrandит, флюорит, арсенопирит, леллингит, сфалерит, относятся к ранним рудным проявлениям.

Брекчии, прожилки, гнезда, вкрапленность настурана и сопровождающих его кварца, иордизита, молибденита, галенита, сфалерита, хлорита, пирита, гематита представляют самостоятельную главную стадию рудного процесса.

Более поздними являются кварц-флюоритовые, анкеритовые и кальцитовые жилы и прожилки. В них присутствуют альбит, хлорит, барит, пирит, галенит, марказит, бравоит, халькопирит, борнит, халькозин, переотложенный настуран. На описываемом месторождении выделяют пять стадий минерализации: 1) кварц-альбитовую; 2) карбонат-гидрослюдистую; 3) сульфидно-карбонатную; 4) иордизит-настурановую; 5) флюорит-карбонатную. Околорудные метасоматиты относятся к типу предрудной аргиллизации.

Промышленными минералами лития являются сподумен $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$, петалит $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$, эвкрипит LiAlSiO_4 , амблигонит LiAlPO_4F , монтебразит $\text{LiAlPO}_4(\text{OH})$, лепидолит $\text{K}_2\text{Li}_3\text{Al}_5\text{Si}_6\text{O}_{20}(\text{F}, \text{OH})_4$, циннвальдит $\text{KLiFeAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{F}_2$, полилитионит $\text{KLi}_2\text{AlSi}_4\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$. Циннвальдит образуется в грейзенах, полилитионит — в ходе гидротермального процесса, а остальные минералы являются пегматитовыми.

Главное промышленное значение имеет сподумен. Существенная роль принадлежит петалиту и лепидолиту. Из прочих названных минералов литий извлекается в малых количествах.

В зоне гипергенеза литиевые минералы легко разрушаются и литий выносятся. В некоторых типах природных вод, особенно в рапе озер, концентрации лития достигают значительных величин; эти воды также служат источником получения данного элемента.

Среди природных пегматитовых руд выделяются альбит-сподуменовые с колумбитом и бериллом, иногда также с фергюсонитом и касситеритом, а также сподумен-микроклин-альбитовые с лепидолитом, петалитом, поллуцитом, танталатами и бериллом. Содержание Li_2O в них составляет 0,4-1 %.

Обогащение пегматитовых руд осуществляется путем флотации. Из руд грейзеновых месторождений циннвальдит извлекается путем магнитной сепарации. Содержание Li_2O в концентратах варьирует от 3 до 8 %. Переработка их и получение солей лития производятся гидрометаллургическим способом. В последние годы ведутся поиски методов непосредственного химико-металлургического передела литиевых руд без предварительного обогащения.

Из рапы соляных озер извлекают буру, соли натрия, калия и попутно получают литий.

Основными источниками добычи лития являются комплексные редкометалльные гранитные пегматитовые месторождения и поверхностная и межзерновая рапа соляных отложений и озер. К второстепенным относятся месторождения следующих типов: комплексные циннвальдитсодержащие грейзеновые; пластообразные поли-литионит-флюоритовые гидротермальные в вулканотектонических депрессиях (промышленная ценность их не ясна); альбитит-грейзеновые колумбит-танталитовые штокверковые месторождения и минерализованные зоны; термальные и высокоминерализованные подземные воды.

К промышленным минералам бериллия относятся берилл $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$,

фенакит Be_2SiO_4 , эвклаз $\text{Al}_2\text{Be}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{OH})_2$, барилит $\text{Ba Be}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, берtrandит $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$, гельберtrandит $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \times \text{H}_2\text{O}$, лейкофан $\text{CaNaBeSi}_2\text{O}_6\text{F}$, мелинофан $\text{NaCa}_3\text{Be}_2\text{Si}_4\text{O}_{13}\text{F}$, берил-лиймаргарит $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Li})\text{Al}_2(\text{Be}, \text{Al})_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, чкаловит $\text{Na}_2\text{BeSi}_2\text{O}_6$, гельвин $\text{Mn}_4(\text{BeSiO}_4)_3\text{S}$, гентгельвин $\text{Zn}_4(\text{BeSiO}_4)_3\text{S}$, бавенит $\text{Ca}_4\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_9\text{O}_{26}(\text{OH})_2$, сянуалинит $\text{Li}_2\text{Ca}_3(\text{BeSiO}_4)_3\text{F}_2$, хризоберилл Al_2BeO_4 , тафеит $\text{MgBeAl}_4\text{O}_8$, бехоит $\text{Be}(\text{OH})_2$.

Бериллий добывается только из собственных минералов. Главное значение принадлежит бериллу.

Различают следующие минеральные типы руд: берилловые, бериллиймаргарит-берилловые, фенакитовые, берtrandитовые, берtrandит-фенакитовые, берtrandит-гельберtrandит-бехоитовые, барилитовые, гентгельвиновые, хризоберилловые, чкаловитовые, сянуалинит-тафеитовые, эвклазовые, лейкофановые и смешанные. По содержанию BeO (в %) руды делятся на бедные (0,06-0,15), рядовые (0,16-0,35), богатые (0,36—0,75) и исключительно богатые (0,76—1,2).

Руды являются комплексными. Бериллий ассоциирует со многими элементами, которые извлекаются, с ниобием, танталом, литием, оловом (пегматитовые руды), редкоземельными элементами (полевошпатовые метасоматиты), оловом, вольфрамом, молибденом, висмутом (грейзеновые руды), цирконием, флюоритом и др.

Крупнозернистые руды подвергаются рудоразборке, среднезернистые дробятся и обогащаются главным образом путем селективной и коллективной флотации. Концентраты содержат от 3 до 10 % BeO . Из них получают металлический бериллий и его соединения.

Мелкозернистые руды не обогащаются, а подвергаются химико-металлургической переработке.

Промышленными типами бериллиевых месторождений являются следующие: 1) комплексные редкометалльные пегматитовые с бериллом; 2) комплексные грейзеновые молибденит-вольфрамит-берилловые жильные; 3) грейзеновые эвклаз-берtrandит-берилловые минерализованных зон дробления; 4) слюдисто-флюорит-берилловые (с изумрудом) жильные и минерализованных зон дробления; 5) комплексные полевошпат-гентгельвиновые (с фенакитом, берtrandитом, бастензитом, цирконом, монацитом) и полевошпат-лейкофановые (с бастнезитом, фенакитом, цирконом) минерализованных зон дробления; 6) штокверковые полевошпат-бавенит-фенакитовые; 7) флюорит-фенакит-берtrandитовые (с лейкофаном и мелинофаном) метасоматические в известняках; 8) штокверковые халцедон-флюорит-гельберtrandитовые (с берtrandитом) в туфах риолитовых порфиров.

К месторождениям второстепенного промышленного значения и возможным источникам бериллия относятся: берtrandитовые жильные и минерализованных зон дробления; скарновые хризоберилл-берилл-гельвиновые; комплексные редкометалльно-альбититовые штокверковые: пластообразные

монтмориллонитовых глин с бехоитом, гельбертрандитом, сферобертрандитом.

Ведущим промышленным типом в течение многих лет продолжают оставаться редкометалльные гранитные пегматиты.

Промышленными минералами данных элементов являются лопарит $(\text{Na,Ce})(\text{Ti, Nb})_2\text{O}_6$, стрюверит $\text{Fe}(\text{Ti,Ta})_2\text{O}_6$, колумбит FeNb_2O_6 , танталит FeTa_2O_6 , воджинит $\text{MnSnTa}_2\text{O}_8$, пирохлор $\text{NaCaNb}_2\text{O}_6\text{F}$, гатчеттолит $(\text{Ca, U})(\text{Nb, Ta})_2\text{O}_6(\text{OH})$, микролит $\text{NaCaTa}_2\text{O}_6\text{F}$.

Руды тантала и ниобия характеризуются различным соотношением этих металлов. Чаще всего ниобий преобладает в них над танталом. Содержание в рудах Nb_2O_5 колеблется от 0,1 до 1 %, а Ta_2O_5 - от 0,01 до 0,04 %. В рудах присутствуют фосфор, редкоземельные элементы, цирконий, уран, стронций, барий (в карбонатитовых рудах), титан, стронций, торий, редкоземельные элементы (в лопаритовых рудах), олово, литий, рубидий, цезий, бериллий, слюда, полевошпат, кварц (в пегматитовых рудах) и др.

В зависимости от минерального состава различают технологические типы руд: пирохлоровые, гатчеттолитовые, пирохлор-колумбитовые, лопаритовые, микролит-танталит-колумбитовые, танталитовые, колумбитовые.

Рудные концентраты получают главным образом гравитационными методами, а в случае сложных комплексных руд применяется и флотация.

Промышленными типами месторождений двух описываемых металлов являются: 1) танталовые месторождения в редкометальных гранитных пегматитах; 2) танталовые и тантал-ниобиевые месторождения в редкометальных гранитах щелочноземельного ряда; 3) ниобиевые и тантал-ниобиевые месторождения в карбонатитах (щелочно-ультраосновных, нефелин-альбит-калишпатовых и нефелин-калишпатовых массивов); 4) тантал-ниобиевые и ниобиевые коры выветривания; 5) россыпи.

Ловозерский массив имеет зональное строение. Кольцо луаврит-фойяит-уртитовых пород расслоено. Оно состоит из нескольких десятков пачек пород, падающих под углом 8-12° к центру массива. Каждая пачка включает три слоя, сложенных луавритом (верхний слой), фойяитом (средний) и уртитом (нижний). Такие пачки прослеживаются на десятки километров.

Обогащение лопаритом фиксируется в нижних частях пачек. Маломощные (от 0,4 до 2 м) рудные пласты протягиваются на десятки километров. Лопарит образует вкрапленные зерна размером примерно 5 мм. В некоторых горизонтах он перекристаллизован и представлен более крупными метасоматическими зернами. Руды хорошо обогащаются. Из лопарита извлекаются тантал, ниобий, редкие земли, титан.

В лабораторной работе необходимо заполнить таблицу 1, внося в нее сведения об основных характеристиках промышленных типов месторождений урана, лития, бериллия, тантала и ниобия, и описать по одному месторо-

ждению из следующего перечня: уран – Джабилука, Атабаска, Стрельцовский рудный район; литий – оз. Серлз, Елашское, Берник-Лейк; бериллий – Минас-Жерайс, Изумрудные Копи, Радуга; тантал и ниобий – Томтор, Этыкинское, Ковдор.

РАЗДЕЛ 2. МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ, САМОРОДНОЙ СЕРЫ И БОРА

Поскольку часть фосфатного сырья используется для получения фосфора в практике, к нему применяется термин "руда". Минеральным сырьем для получения фосфора и его производных служат апатитовые и фосфоритовые руды. Промышленные типы апатитовых руд относятся к магматическому и карбонатитовому геолого-промышленным типам. Фосфоритовые руды имеют экзогенное происхождение и связаны с осадочными платформенными и геосинклинальными отложениями, а также с корами выветривания фосфатноносных пород. Известны также метаморфогенные залежи апатитов за счет первично-осадочных фосфоритов. Фосфатное сырье различных геолого-промышленных типов месторождений существенно различается по текстурно-структурным признакам, химическому составу и технологическим свойствам. Поэтому требования промышленности к различным типам фосфатного сырья изменяются в широких пределах.

При изучении фосфатного сырья в коллекции следует обратить внимание на то, что апатитовые руды имеют обычно кристаллическо-зернистую структуру, апатит в них ассоциирует с породообразующими и редкими минералами щелочных, основных магматических пород или карбонатитового комплекса. Эти руды хорошо обогащаются и нередко бывают комплексными. Поэтому требования к содержанию в них P_2O_5 относительно невысокие (бедные руды с содержанием 5-7 %).

В фосфоритовых рудах фосфатное вещество находится в аморфном состоянии в тонкой смеси с глинистыми минералами, карбонатами, кремнеземом. В связи с этим они бывают трудно обогатимыми, и требования к содержанию P_2O_5 в них значительно выше, чем в апатитах (в практически необогатимых оно должно быть не менее 19 %). Среди фосфоритовых месторождений следует различать осадочные платформенные, осадочные геосинклинальные и месторождения коры выветривания. Они отличаются по геологической обстановке, руды имеют четко выраженные различия в текстурно-структурных признаках и легко различаются по образцам.

В лабораторной работе составляется таблица 1 и описания одного апа-

титового и одного фосфоритового месторождения из следующего перечня: Хибинское, Ошурковское, Маганское, Селигдарское, Каратау (Чулактау), Егорьевское, Кингисеппское, Телекское.

Значительная часть серы для производства серной кислоты извлекается в виде самородной серы, попутно при переработке сульфидных руд, некоторых сульфатных пород, нефти, газа и сероводородных вод.

Генетически образование самородной серы связано с вулканическими процессами и формированием осадочных толщ карбонатно-сульфатного состава и их преобразованиями в коре выветривания. Основными промышленными типами месторождений самородной серы являются: 1) осадочные в карбонатно-гипсо-ангидритовых толщах; 2) коры выветривания и в солянокупольных структурах. Подчиненное значение имеют вулканогенные месторождения. В учебной коллекции представлены образцы всех трех типов месторождений. При оценке качества серных руд следует учитывать содержание серы (минимальное содержание 8-10 %), характер распределения серы, формы ее выделения, сопутствующие минералы и состав вмещающих пород. По результатам изучения составляется таблица-характеристика промтипов и описание одного из следующих месторождений: Водинское, Мексиканского залива, Новое.

Минералы бора используются в промышленности для получения бора и его соединений. Поэтому основным показателем качества является содержание B_2O_3 . Но вследствие того, что минералы бора многочисленны и весьма разнообразны по физическим и химическим свойствам, ценность руды во многом зависит от минеральных форм нахождения бора в руде. По этим признакам минералы бора разделяются на две основные группы: бораты и боросиликаты. Бораты, как щелочные соли борной кислоты, более богаты бором и относительно хорошо растворимы в воде (бура, гидроборатит, улексит и другие). Боросиликаты (датолит, данбурит, аксинит, турмалин) беднее на бор и нерастворимы в воде. К труднорастворимым относятся также бораты магния и железа (ашарит, котоит). Технологии переработки руд различного состава существенно различаются.

В таблицу промтипов следует включить: 1) скарновые с подразделением из магнезиальные и известковые, 2) вулканогенно-осадочные, 3) осадочные и инфильтрационные в галогенных формациях. Описание составляется по месторождениям Дальнегорское, Таежное, Крамер, Индерское.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14 **МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕЙ, ГИПСА** **И АНГИДРИТА, КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ, ФЛЮОРИТА**

Минеральные соли генетически относятся к типичным химическим осадкам морского и озерного типа. Главные минералы солей представлены хлоридами (галитом, сильвином, карналлитом и другими хлоридами, сульфатами (тенардит, мирабилит, глауберит и др.), карбонатами (природная сода, трона и др.). Залежи минеральных солей имеют сложный состав, но нередко встречаются пласты и прослои мономинерального состава. Различаются современные озерные и морские (лагунные), залежи и древние ископаемые месторождения. Наибольшие запасы полей сосредоточены в ископаемых месторождениях, которые по геолого-структурным особенностям подразделяются на два основных промышленных типа: 1) пластовые и линзообразные залежи в соленосных толщах; 2) соляные штоки (кепроки) в солянокупольных древних структурах. По преобладающему типу солей различаются месторождения поваренной соли, калийных и магниевых солей.

По результатам изучения составляется таблица-характеристика и описание одного из следующих соленосных бассейнов и месторождений: Верхнекамского, Илецкого, Баскунчакского, Кучукского.

К карбонатному сырью относятся исландский шпат, известняки, доломиты, мергели, породы промежуточного состава и мраморы. У этих пород множество потребителей, которые предъявляют самые различные и весьма жесткие требования к их качеству. Поэтому, несмотря на их широкое распространение, высококачественное сырье встречается не часто.

Исландским шпатом называют кристаллы кальцита размером не менее 23-30 мм, прозрачные, не загрязненные включениями, без двойников, трещин и других дефектов. Также как и у пьезокварца, несмотря на широкое распространение кальцита, кристаллы, отвечающие высоким требованиям, наблюдаются довольно редко и представляют большую ценность. Они встречаются в двух типах месторождений: 1 - месторождения в вулканогенных породах основного состава; 2 - месторождения в карбонатных породах. В таблице №2 следует дать их характеристику.

Для использования карбонатного сырья в качестве строительного камня требуется высокая прочность, металлургия требует высокой химической чистоты, цементная промышленность - определенного химического состава примесей и т.д. Поэтому при оценке карбонатных пород необходимо определение физических свойств, химического состава, структурных и текстурных особенностей пород. В полевых условиях и при лабораторных исследованиях важно оценить возможность использования карбонатного сырья в той или иной отрасли народного хозяйства. Поскольку набор этих свойств определяется условиями образования, существенное значение имеет генетический тип месторождений. Основное значение имеют следующие типы месторождений карбонатных пород; 1 - осадочные геосинклинальные и платформенные; 2 - метаморфические. В таблице промышленных типов необходимо отразить особенности залегания и свойства пород.

При составлении таблицы следует ознакомиться с месторождениями исландского шпата на Сибирской платформе, Сычевского, Егановского месторождений песчано-гравийных смесей, Туманянского, Часов-Ярского месторождений глин, Новороссийского месторождения карбонатных пород и Кибик-Кордонского месторождения мрамора

Флюорит находит разнообразное применение как минерал и, как сырье для получения фтора и фтористых соединений. Ценность минерального сырья зависит от возможности получения из него различных концентратов от кускового (марки ФК), гравитационного (марки ФГ), флотационного (марки ФФ) до наиболее ценного оптического флюорита. Поэтому при изучении флюоритового сырья необходимо обратить внимание не только на содержание флюорита, но и на текстурные, структурные особенности и сопутствующие минералы, так как присутствие в больших количествах кварца, карбонатов и сульфидов снижает качество сырья.

Некоторая часть флюорита добывается попутно, из полиметаллических, медных, сурьмяно-ртутных и других руд. Собственно флюоритовые месторождения разрабатываются при содержании флюорита в рудах более 30 %. Наиболее крупные скопления флюорита связаны с грейзеновыми и гидротермальными месторождениями, оптический флюорит встречается в пегматитах. В таблицу промышленных типов следует включить: грейзеновое (Солнечное) и гидротермальное жильное (Калангуйское). Кроме таблицы, составляется описание одного из этих месторождений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15 МЕСТОРОЖДЕНИЯ АСБЕСТА, ВОЛЛАСТОНИТА, СЛЮД И ГРАФИТА

В асбестовом сырье принято различать (преобладающие) хризотил-асбест, антофилит-асбест, "синий" - крокидолит, "голубой" - родусит и амозит. По длине волокна выделяют сорта длиноволокнистого текстильного (более 8 мм), шиферно-картонного (2-8 мм), цементно-строительного (0.2-2 мм) асбеста. Важным оценочным параметром является содержание валового асбеста и, особенно, длиноволокнистого асбеста. Наиболее распространенные месторождения хризотил-асбеста относятся к гидротермальному типу. Выделяются два геолого-промышленных-типа: 1) месторождения в массивах ультраосновных пород (Баженовское, Актоврак), 2 -месторождения в магнезиальных карбонатных толщах (Аспагашское).

В таблице-характеристике в первом типе следует различать три подтипа: баженовский, лабинский и карачаевский. Описание делается по одному из следующих месторождений: Баженовское, Сысертское, Аскизское.

В промышленности применяются, в основном, три вида слюд: мусковит, флогопит, вермикулит. Наибольшую ценность представляет листовый и крупночешуйчатый мусковит, в меньшей мере флогопит. Вермикулит используется вне зависимости от размера чешуй. Высокосортный мусковит образует скопления только в гранитных пегматитах. Флогопит добывается на карбонатитовых и метаморфогенных месторождениях. Вермикулит обычно является продуктом преобразования магнезиальных слюд (флогопита и биотита) в корях выветривания.

Образцы слюд представлены в учебной коллекции. В ходе их изучения и, пользуясь литературой, следует составить таблицу-характеристику следующих геолого-промышленных типов месторождений слюд: 1) пегматитовые месторождения мусковита; 2) карбонатитовые месторождения флогопита; 3) метаморфические месторождения флогопита; 4) месторождения вермикулита в корях выветривания. Примерами первого является Мамско-Чуйское, второго - Ковдорское, третьего - Алданское, четвертого – Ковдорское месторождение вермикулита. Одно из них должно быть описано детально.

Волластонит (досчатый шпат, минеральная шерсть) добывается из нескольких типов месторождений. Этот минерал наиболее часто встречается в преобразованных карбонатных толщах в ассоциации с диопсидом, кальцитом, скаполитом и др. Ведущими промышленными типами являются регионально-метаморфический (кальцифировый) и скарновый.

Графитовое минеральное сырье отличается большим разнообразием по качеству. Различают чешуйчатые, плотнокристаллические и скрытокристаллические (аморфные) разновидности графита. Наиболее ценными являются крупночешуйчатые графиты, высоко ценятся также плотнокристаллические графиты. Поэтому требования к графитовому сырью различны: крупнокристаллический графит даже при содержании его в добываемой массе 5-7 % представляет интерес, так как такое сырье легко обогащается. Скрытокристаллический графит трудно обогатим и поэтому добывается при содержании в добытой массе не менее 70%.

В таблицу-характеристику следует включить следующие геолого-промышленные типы месторождений графита: 1) метаморфические за счет угольных пластов; 2) метаморфические за счет углеродсодержащих пород; 3) магматические; 4) пегматитовые. По одному из следующих месторождений составляется детальное описание: Ногинское (1-й тип), Завальевское (2-й тип), Ботогольское (3-й тип).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16 **МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЫСОКОМАГНЕЗИАЛЬНОГО И** **ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО СЫРЬЯ**

Тальк в промышленных месторождениях образуется как продукт гидротермальной переработки магнезиальных магматических, метаморфических и осадочных пород. Поэтому тальк обычно ассоциирует с серпентином, хлоритом, тремолитом, доломитом и магнезитом, образуя массивные или слоистые породы, ценность сырья определяется прежде всего содержанием талька. Различают талькиты с содержанием талька не ниже 75 % и тальковые камни (25-75 % талька). В таблицу тальковых месторождений следует включить три геолого-промышленных типа: 1 - месторождения в метаморфических карбонатных толщах (Онотское); 2 - месторождения в серпентинитовых массивах (Пугачевское) и 3 - залежи в корах выветривания месторождений 1 и 2 типа (Киргитейское). Описание составляется по одному из вышеуказанных месторождений.

Магнезитовое сырье добывается на двух геолого-промышленных типах месторождений: 1 - гидротермально-метасоматических в карбонатных толщах (Саткинское) и 2 - оотаточно-инфильтрационных в коре выветривания ультраосновных пород (Орско-Халиловская группа). Магнезиты этих месторождений существенно различаются по условиям залегания и качеству сырья. Описание составляется по Саткинскому месторождению.

К высокоглиноземистому сырью относятся корунд, андалузит, силлиманит и кианит. Все эти минералы могут встречаться вместе, однако промышленные их скопления нередко разбросаны в различных типах месторождений. Поскольку эти минералы находят различное применение (корунд - абразивный материал, другие минералы - огнеупорное сырье и потенциальное сырье для получения алюминия), требования к качеству весьма различны, но во всех случаях, кроме оценки драгоценных разновидностей корунда, важнейшим показателем является содержание соответствующего минерала, а не содержание Al_2O_3 валового.

Драгоценные корунды встречаются в своеобразных пегматитах и скарнах, обычные технические корунды в сиенитовых пегматитах, но основное промышленное значение имеют: 1 - гидротермальные месторождения корунда с андалузитом; 2 - метаморфические: контактово-метаморфические залежи наждака и регионально-метаморфические кианит-силлиманитовые породы. Как устойчивые к выветриванию, все эти минералы накапливаются в коре выветривания, образуя элювиально-делювиальные россыпи. В таблице № 2 следует отразить специфику минерального состава, текстур и условий залегания полезного ископаемого.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17 **МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАРИТА, ВИТЕРИТА** **И КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ**

Пьезокварц и оптический кварц являются очень ценным и редким минеральным сырьем. Несмотря на обилие и широкое распространение кварца как минерала, высоким требованиям промышленности отвечают лишь немногие хорошо ограненные кристаллы размером не менее 12 мм, лишенные включений других минералов, бесцветные или слабо окрашенные, без двойников и механических повреждений. Предварительную оценку пригодности можно сделать уже при макроскопическом изучении. Кондиционный кварц (горный хрусталь) добывается в пегматитах, гидротермальных жильных месторождениях, а также из примыкающих к ним элювиально-делювиально-аллювиальных россыпей. В таблице № 2 следует дать характеристику особенностей указанных типов месторождений.

Барит и в меньшей степени виверит используются в промышленности в минеральном виде. Поэтому основным показателем качества сырья является содержание барита и виверита. В некотором количестве барит присутствует во многих рудных месторождениях. При их содержании более 5 % барит иногда извлекается попутно. Собственно баритовые месторождения целесообразно разрабатывать при содержании более 30-50 %. В образцах учебной коллекции достаточно четко различаются крупно- и среднезернистые агрегаты почти мономинерального барита, относящиеся к гидротермальному жильному типу месторождений, зернистые агрегаты из барита, кварца, карбонатов и сульфидов из гидротермально-метасоматических залежей в карбонатных толщах и барит тонкозернистый в афонитовой карбонатной породе, относящийся к осадочному типу месторождений. Барит как устойчивый к выветриванию и тяжелый минерал накапливается в элювиально-делювиальных образованиях за счет баритсодержащих пород. Указанные три типа месторождений следует охарактеризовать в таблице №2. Лабораторная работа, кроме составления таблиц, включает в себя описание двух месторождений из числа следующих: Семиз-Бугу, Алданские месторождения, баритовые месторождения Арпакленское и Чиганак.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18 МЕСТОРОЖДЕНИЯ КРЕМНЕЗЕМИСТОГО И КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВОГО СЫРЬЯ

К кремнеземистому сырью (кремнеземистым породам) относят обычно кристобалит-опаловые породы: диатомиты, трепелы, опоки, спонголиты, радиоляриты, силикофлагеллиты с массовой долей общего кремнезема выше 75 %. Для них характерно микрозернистое глобулярное строение. Обычными примесями в таких породах являются минералы глин, цеолиты, глауконит и карбонаты. Степень раскристаллизации опалового кремнезема различна – до перехода в α -кристобалит и кварц. Опаловый состав характерен для диатоми-

тов, опоки, спонгалиты и трепелы имеют опал-кристобалитовый состав. Вредными примесями в рассматриваемых породах являются глины, особенно монтмориллонит. К разновидностям кремнеземистого сырья относятся также пуццоланы и трассы.

Главными показателями качества сырья являются гидравлические свойства и массовая доля SiO_2 . К вредным примесям относятся оксиды алюминия, железа, кальция, калия и натрия, а также сульфат-ионы. Наиболее качественное кремнеземистое сырье, с массовой долей SiO_2 90 % и более, применяется как адсорбент в пищевой промышленности – при очистке масел, маргарина, фруктовых соков и др. Примесь Al_2O_3 не должна составлять более 3 %, массовая доля $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ – не более 2 %.

Выделяются два основных геолого-промышленных типа кремнеземистого сырья: 1) вулканогенные месторождения; 2) морские и озерные осадочные месторождения.

Полевошпатовое сырье согласно ГОСТ 23034-78 подразделяется на полевошпатовое с массовой долей кварца менее 10 % и кварц-полевошпатовое с массовой долей кварца более 10 %. Месторождения полевошпатового и кварц-полевошпатового сырья достаточно разнообразны. Наиболее чистое и ценное полевошпатовое сырье заключено в гранитных пегматитах, однако в связи с расширяющимися потребностями в сырье и относительной ограниченности распространения пегматитов главное промышленное значение в мире приобрели магматические месторождения гранитоидов, нефелиновых и щелочных сиенитов, вулканитов и гидротермальные месторождения грейзенизированных гранитов («корнвалийский камень»). Известны месторождения кор выветривания (каолинизированные кислые породы) и осадочные месторождения (пески и песчаники).

Промышленные типы месторождений кремнеземистого и полевошпатового сырья необходимо охарактеризовать в таблице №2. Кроме того, составляется описание двух из следующих месторождений – Инзенского, оз. Масельского, Камчатки, Мамско-Чуйский слюдоносный район, Хетоламбино.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19

МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАОЛИНОВ И ЦЕОЛИТОВОГО СЫРЬЯ

Каолинит $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ обычно встречается в виде землистых агрегатов белого цвета, иногда окрашенных примесями в красноватые, коричневые или серые цвета, полупросвечивающих с перламутровым блеском в крупнокристаллических разностях и матовым в землистых. Политипами каолинита являются диккит и накрит (наблюдается редко) и метагаллуазит (распространен умеренно). Метагаллуазит образуется при потере большей части межслое-

вой воды из галлуазита $Al_4 Si_4 O_{10} \cdot 8H_2O$. Каолинит образуется в процессах разложения полевых шпатов и других алюмосиликатов при выветривании и гидротермальной деятельности. В качестве примесей в каолинах присутствуют, кроме политипов каолина, галлуазит, монтмориллонит, гидрослюда, опал, кристобалит и др. Для каолинов характерна химическая инертность, огнеупорность, белый цвет обожженного черепка.

Процессы обогащения каолинового сырья направлены на получение каолиновых концентратов, применяемых во многих отраслях промышленности. Различают сухой способ сепарации каолинов в воздушном потоке и мокрый способ осаждения каолина из водной суспензии. Окрашенные каолины химически отбеливают и удаляют пигментные частицы оксидов железа и титана в магнитном поле. Требования к каолиновому сырью существенно различаются в зависимости от отрасли.

По генетическим особенностям каолины делятся на первичные и вторичные. Месторождения первичных каолинов представлены остаточными и гидротермально-метасоматическими месторождениями. Месторождения вторичных каолинов (осадочных) образуются в результате перемыва и переотложения каолиновой коры выветривания. Известны случаи наложения генетических процессов вторичного каолинообразования на первичные гидротермально-метасоматические каолины

К цеолитовому сырью относят породы, содержащие минералы группы цеолитов – каркасных водных алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных металлов с открытым крупноячеистым каркасом, состоящим из $(Si, Al)O_2$ -тетраэдров. Пустотность цеолитов составляет около 50 % их общего объема, создавая высокую емкость ионного обмена и способность к модификации за счет катионного обмена и регенерации.

Модификация цеолитов кальцием и их обезвоживание могут увеличить исходную сорбционную емкость в несколько раз. Уникальная способность цеолитов к обратимой дегидратации, к катионному обмену, открытые каркасные структуры, могущие играть роль молекулярных сит, определяют коммерческую ценность как синтетического, так и природного цеолитового сырья.

Природное цеолитовое сырье представляет собой разнообразные горные породы с микрокристаллами цеолитов при содержании их 40–50 % и более. После дробления таких пород может быть получен товарный продукт, который часто используется без обогащения и дополнительной обработки. Обычными примесями в цеолитовом сырье являются монтмориллонит, кристобалит, биотит, полевые шпаты, обломки эффузивных и осадочных пород, вулканического стекла. По минеральному виду цеолитов выделяют клиноптилолит-, мordenит-, шабазитсодержащие породы и промежуточные разновидности. Наи-

более широко распространенным сырьем являются клиноптилолитсодержащие породы.

Промышленные месторождения цеолитов образуются в результате диagenетических или гидротермальных процессов и связаны в первом случае с осадочными и вулканогенно-осадочными формациями, а во втором – с вулканогенными формациями. Наиболее крупными являются вулканогенно-гидротермальные стратиформные месторождения, рудные тела которых представлены пластами и линзами туфов разного состава (Хонгуруу, Шевыртуйское в России, месторождения штата Калифорния в США и др.).

По результатам лабораторного изучения необходимо заполнить таблицу №2 и описать два из предлагаемых месторождений: Хонгуруу, Просяновское, Чалганское.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 20 **МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГЛИН, ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ** **СМЕСЕЙ, МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД**

Пески и песчано-гравийные смеси по объемам мировой добычи занимают первое место среди неметаллических полезных ископаемых. Разнообразие химического состава, минералогического и гранулометрического состава песков прямо отражается на сложности оценки потребительских свойств данного вида сырья. Достаточно сказать, что согласно ГОСТам и другим НТД при оценке песков используются 43 показателя качества. Однако к главным показателям относят минералого-петрографический состав, показатель потенциальной реакционной способности, массовую долю органических примесей, формы и характер поверхности зерен, среднюю плотность зерен песка и конечно, модуль крупности. Основные генетические типы месторождений песков и песчано-гравийных смесей: морские и озерные месторождения, аллювиальные месторождения и ледниковые месторождения.

Глины, в зависимости от условий образования, имеют также весьма различные свойства. В образцах глин прежде всего различают цвет, пластичность, размокаемость. Простейшими испытаниями можно установить набухаемость, усадку, вспучиваемость. Различия в этих свойствах обусловлены минеральным составом и степенью дисперсности глинистых частиц. По минеральному составу среди глинистых минералов выделяются группа смектитов (монтмориллонит, сапонит, бейделит, нонтронит) и группа иллитавермикулита(гидрослюды). Чисто каолиновые глины непластичны, плохо размокают в воде и имеют белый цвет и поэтому их иногда не относят к глинам. Монтмориллонитовые глины пластичны, хорошо размокают и имеют зеленовато-серый цвет. Обычно глины состоят из смеси минералов всех трех групп и содержат примеси гидроксидов железа и марганца, органические ве-

щества, карбонаты, обломки породообразующих минералов. Примеси придают глинам специфические свойства: легкоплавкость, вспучиваемость, спекаемость, абсорбцию и другие.

Каждый потребитель глин предъявляет свои требования к качеству: кирпичное производство - легкоплавкость и спекаемость, керамическое производство и фарфоро-фаянсовое - однородность, химическое - чистоту и спекаемость, бурение скважин - дисперсность и т.д. Всего для оценки потребительских свойств глин, как и у песков, согласно НТД применяется 43 показателя. Поскольку свойства глин формируются в определенной геологической обстановке, геолог должен ориентироваться, в каких типах месторождений наиболее вероятно нахождение требуемых глин. Глины добываются в следующих типах месторождений: 1 - осадочные; 2 – месторождения выветривания и 3 – гидротермально-метасоматические - месторождения аргиллизации и месторождения метаморфизованных глинистых пород. В лабораторной работе следует в табличной форме показать взаимосвязь генетического типа и потребительских свойств глин.

Разнообразные магматические и метаморфические горные породы в настоящее время применяются в качестве естественных строительных материалов, конкретные области их промышленного использования определяются их физическими и технологическими свойствами, главными из которых являются прочность, долговечность и декоративность. По характеру использования они подразделяются на следующие основные группы: 1) строительные камни (изверженные и метаморфические породы, используемые обычно в естественном виде после соответствующей механической обработки); 2) облицовочные и декоративно-облицовочные камни (штучные обтесанные и тонкообработанные естественные камни, предназначенные для изготовления облицовочных плит и архитектурно-строительных изделий); 3) породы для каменного литья (в основном магматические породы - базальты, диабазы, тешениты, долериты и др., применяемые для получения литых каменных изделий путем плавления и последующей термической обработки). В зависимости от группы к сырью применяются совершенно различные параметры оценки. Так, например, согласно требованиям ГОСТов породы, пригодные для получения щебня для строительных работ, должны иметь плотность 2 000–2 800 кг/м³. Предел их прочности при сжатии – более 20 МПа, морозостойкость – не менее 15 циклов. Породы не должны содержать кремнекислоту в количестве более 50 % и зерен слабых минералов более 35 %. Массовая доля серы в пересчете на SO³ не должна превышать 0,5 %. К вредным минеральным примесям относятся аморфные разности кремнезема, серы, сульфатов и сульфидов, слоистые силикаты, оксиды и гидроксиды железа, апатиты, нефелины, галоиды, цеолиты, асбест, графит и органика (суммарное их количество не более 15 %). Камень бутовый для метаморфических пород должен иметь предел прочности при сжатии не ниже 40 МПа, изверженных пород – не ниже 60 МПа. Размер кус-

ков бутового камня допускается в пределах 70–1 000 мм. Щебень и песок из пористых пород (пемз, туфов, шлаков, крупнопористых базальтов, андезитобазальтов и андезитов) используется в качестве заполнителей бетонов, строительных растворов и для теплоизоляции. Насыпная объемная масса его не должна превышать 1 200 кг/м³. Обязательно проводится радиационно-гигиеническая оценка пород.

Основными объективными параметрами оценки облицовочного и подольного камня являются цвет, текстура и фактура, а также цветовое предпочтение (уникальность), игра основного цвета, сочетание цветов, текстура и структура камня, его фактура (полированная, лощеная пиленая и др.), полируемость.

Наиболее распространены магматические месторождения строительного камня. Месторождения разнообразны по размерам, возрасту и составу, приурочены как к горно-складчатым геосинклинальным областям, так и к платформам и выступам древнего фундамента. По морфологии обычно это неправильные массивы или тела, покровы или потоки. Есть также месторождения облицовочного камня, приуроченные к массивам гранитов, гранодиоритов, габбро-норитов и лабрадоритов, и месторождения петруггического сырья (для литья) – базальты, диабазы, мезозойские траппы.

Месторождения метаморфических горных пород по количеству и масштабам уступают месторождениям магматических пород. Однако факторы их оценки практически одинаковы. Обычно это месторождения разнообразных продуктов регионального и ультраметаморфизма - гнейсов и мигматитов, применяемых для изготовления бутового камня и щебня.

По результатам лабораторного изучения необходимо заполнить таблицу №2 и описать два-три из предлагаемых месторождений: Егановское, Сычевское, Часов-Ярское, Изербельское, Оленегорское.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью курса "Промышленные типы месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых" является изучение геологического строения и вещественного состава руд промышленных месторождений; эти сведения необходимы при оценке перспектив новых объектов в ходе проведения геологосъемочных и поисковых работ, а также при разведке и отработке рудных месторождений.

Для успешного решения отмеченных задач инженер-геолог, специалист по геологической съемке, поискам и разведке месторождений полезных ископаемых, должен уметь составлять геологические и прогнозные карты рудных районов, полей и месторождений, эффективно проводить поисковые и разведочные работы, подсчитывать запасы полезного ископаемого и осуществлять оценку месторождения.

Студент, изучивший данный курс, должен знать промышленные типы месторождений и закономерности размещения их в земной коре, минеральные типы руд и возможности их комплексного использования, требования промышленности к рудам и величине запасов месторождений. Он получит также представление о географическом местонахождении и размещении главных рудных районов на территории нашей страны. В процессе обучения будет проведено сопоставление сходных месторождений, анализ и обобщение материала по типам в целом. Материалы курса пригодятся студентам и при изучении других дисциплин, в частности, по методике поисков и разведки месторождений.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Металлические полезные ископаемые:

1. Авдонин В.В., Бойцов В.Е., Григорьев В.М. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых /М: ЗАО «Геоинформмарк», 1998, 266 с..
2. Виноградов В.Н. Комплексное использование сырья цветной металлургии. -М.: Недра, 1987.
3. Синяков В.И. Геолого-промышленные типы рудных месторождений. С-Пб., Недра, 1994
4. Смирнов В.И., Гинзбург А.И., Григорьев В.М., Яковлев Г.Ф. Курс рудных месторождений: Учеб. для вузов / Под ред. В.И. Смирнова. - 2-е изд, перераб. и доп. - М.: Недра, 1986.
5. Солодов Н.А., Бурков В.В., Овчинников Л.Н. Геологический справочник по легким литофильным редким металлам / Под ред. Н.П. Лаверова. - М.: Недра, 1986.
6. Солодов Н.А., Семенов Е.И., Бурков В.В. Геологический справочник по тяжелым литофильным редким металлам / Под ред. Н.П. Лаверова. - М.: Недра, 1987.
7. Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов / И.А. Кривцов, И.З. Самонов, Е.И. Филатов и др. - М.: Недра, 1985.
8. Справочник по рудам черных металлов для геологов / В.М. Григорьев, Л.Ф. Борисенко, Г.Г. Кравченко и др. - М.: Недра, 1985.
9. Структуры рудных полей и месторождений вольфрама, молибдена и олова / Б.В. Макеев, А.Б. Павловский, В.Т. Покалов и др. - М.: Недра, 1983.
10. Федорчук В.П. Геология сурьмы. - М.: Недра, 1985.
11. Фролов А.А. Штокверковые рудные месторождения. - М.: Недра, 1978.
12. Царев Д.И., Фирсов А.Л. Проблемы формирования колчеданных месторождений на примере Забайкалья / Под ред. Ф.И. Вольфсона. - М.: Наука, 1988.
13. Чайкин СМ. Структурные типы месторождений богатых железных руд Курской магнитной аномалии // Геол. рудн. месторожд. 1986. - № 1. - С. 12-21.

14. Яковлев П.Д. Промышленные типы рудных месторождений: Учебн. пособие для вузов. - М.: Недра, 1986.

Неметаллические полезные ископаемые:

1. Борзунов В.М. Поиски и разведка месторождений нерудного металлургического сырья. – М.: Недра, 1980. – 303 с.

2. Борзунов В.М. Поиски и разведка месторождений минерального сырья для химической промышленности / В.М. Борзунов, Л.М. Гроховский. – М.: Недра, 1978. – 264 с.

3. Боярко Г.Ю. Экономика минерального сырья. – Томск: Изд-во «Аудит-Информ», 2000. – 365 с.

4. Еременко И.А.. Минеральное сырье. Нефть.// Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998, с. 1 – 87.

5. Еремин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые: Учебник. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 284 с.

6. Еремин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые: Учебник. – М.:

7. Курс неметаллических месторождений полезных ископаемых: Учеб. пособие / В.Ф. Дыбков, А.Е. Карякин, В.Д. Никитин, П.М. Татаринцев. – М.: Недра, 1969. – 472 с.

8. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней (ювелирных, поделочных, декоративно-облицовочных).– М.: Мингео СССР, 1977. – Вып. 12. Декоративно-облицовочные камни. – 90 с.

9. Минеральное сырье. Общие положения: Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997. – 69 с.

10. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1991, с.1 - 36.

11. Мирончев Ю.П., Лоджевская М.И. Минеральное сырье. Газы горючие// Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998, с.1 – 73.

12. Михеев В.Г. Неметаллические полезные ископаемые: Учеб. пособие. Красноярск: ГАЦМиЗ, 2003. -160с.

13. Недра России. Полезные ископаемые / А.А. Смыслов, Н.В. Межеловский, А.Ф. Морозов и др.; Под ред. Н.В. Межеловского, А.А. Смылова; Санкт-Петербург. гор. ин-т., Межрегион. центр по геол. картографии. – СПб.; М., 2001. – 547 с.

14. Неметаллические полезные ископаемые СССР: Справ. пособие /

Под ред. В.П. Петрова. – М.: Недра, 1984. – 407 с.

15. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых: Учебник для вузов / А.Е. Корякин, И.А. Строна, Б.Н. Шаронов и др. – М.: Недра, 1985. – 286 с.

16. Романович И.Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых: Учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1986. – 366 с.

17. Сборник руководящих материалов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых: В 2 т. – М.: ГКЗ СССР, 1985. – Т. 2. – 530 с.

18. Справочник месторождений полезных ископаемых строительной индустрии Красноярского края: В 2 т. / В.С. Миронов, А.М. Глушков, М.Л. Шерман и др. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1998. – Т. 1. – 462 с.; Т. 2. – 510 с.

19. Справочник по конъюнктуре мирового и российского рынка основных видов минерального сырья и продуктов их переработки / КНИИГГиМС. – Красноярск, 2001. – 108 с.

20. Строительные материалы: Справочник / А.С. Болдырев, П.П. Золотов, А.Н. Люсов и др.; Под ред. А.С. Болдырева, П.П. Золотова. – М.: Стройиздат, 1989. – 567 с.

21. Шевелев В.В. Мировой рынок минерального сырья: Учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. – 110 с.

Таблица 1

Основные геолого-промышленные типы месторождений металлических полезных ископаемых

Промышленный тип месторождений	Связь с магматизмом, рудоконтролирующие факторы	Вмещающие породы, формы тел	Рудные минералы; типы руд	Нерудные минералы	Параметры качества руд; попутные полезные ископаемые	Примеры месторождений
Плутоногенно-гидротермальный медный	Гипабиссальные порфиновые интрузии кислого состава, образующие дайки и штоки	Гранит-порфиры, диорит-порфиры; штокверки, жилы	Пирит, халькопирит, молибденит, борнит; медно-молибден-порфиновый тип руд	Кварц, КПШ, серицит, иногда биотит	Содержание Cu 0,5-2% Молибден, рений, серебро	Чукикамата, Песчанка

Таблица 2

Основные геолого-промышленные типы месторождений металлических полезных ископаемых

Промышленный тип месторождений	Связь с магматизмом, рудоконтролирующие факторы	Вмещающие породы, формы тел	Виды сырья	Минералы вмещающих пород	Параметры качества сырья; попутные полезные ископаемые	Примеры месторождений
Магматический апатит-нефелиновый	Ультраосновные щелочные массивы центрального типа	Ийолиты, уртиты, нефелиновые сиениты, карбонаты; пласты, линзы, жилы	Апатит в составе апатит-редкометалльно-магнетитовых руд	Кальцит, пироксены, эгирин	Ковдорский концентрат: $P_2O_5 > 36\%$, вредная примесь $MgO < 5\%$. Попутно: железо, ниобий, флогопит и др.	Ковдор

