ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Федеральное государственное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

**«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Геолого-географический факультет

**Кафедра месторождений полезных ископаемых**

Специальность – Геология (011100)

***РЕФЕРАТ***

*по неметаллическим полезным ископаемым*

*на тему:*

**«Асбест»**

Выполнила \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /А. В. Колбанова/

Проверил\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /Ю. Г. Майский/

г. Ростов-на-Дону

2007 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СВОЙСТВА АСБЕСТА 3

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ 6

ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 8

ПРИМЕРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 14

Молодежное месторождение хризотил-асбеста 14

Месторождения хризотил-асбеста штата Аризона (США) 16

Месторождения амозита и крокидолита ЮАР 18

Бугетысайское месторождение антофиллит-асбеста в Казахстане 20

МИРОВОЙ РЫНОК 23

Графические приложения 25

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 31

# СВОЙСТВА АСБЕСТА

Термин <асбест> объединяет различные по своему составу и свойствам минералы: хризотил, крокидолит, амозит, антофиллит, иногда тремолит, актинолит, режикит (близок магнезиорибекиту и магнезиоарфведсониту), родусит (разновидность магнезиорибекита) и др., обладающие способностью разделяться на тонкие волокна. Последние отличаются весьма высокой прочностью, эластичностью и прядильными свойствами, термостойкостью, низкой электропроводностью, кислото- и щелочестойкостью. По своей атомной структуре хризотил принадлежит к минеральной группе серпентина, а все остальные - к группе амфиболов.

Асбест выполняет маломощные жилы и прожилки, причем ориентировка его волокон может быть различной: если волокна располагаются перпендикулярно стенкам жилок (наиболее распространенный случай), то это - поперечно-волокнистый асбест (cross fiber), если вдоль стенок, то это - продольно-волокнистый асбест или так называемые волокна скольжения (slip fiber). Для некоторых видов асбеста характерно разноориентированное, иногда радиальное расположение волокон (mass fiber).

Индивидуальные волокна под электронным микроскопом выглядят как тончайшие трубочки с наружными и внутренними диаметрами в сотые-тысячные доли микронов (мкм). Амфибол-асбесты обладают более грубым волокном: диаметр их волокон измеряется десятыми-сотыми долями мкм. Длина волокон от десятых долей до 160 мм и более, наиболее часто она составляет 2-6 мм.

В настоящее время разделение большей части асбестового волокна и отделение его от измельченной горной массы осуществляется механически на ситах в воздушной струе. Поскольку качество волокна при таком обогащении из-за перетирания снижается, в некоторых случаях куски длинноволокнистого асбеста отделяются из породы вручную.

*Хризотил* («белый асбест») - волокнистая разновидность водного силиката магния - серпентина, состав которого отвечает формуле Mg6[Si2O5](OH)8 или 3MgO.2SiO2.2H2O. В природном хризотил-асбесте содержатся примеси Fe2O3, FeO, Al2O3, Cr2O3, NiO, МnО, CaO, Na2O и H2O. Он слагает жилки в темно-зеленых серпентинитах, обнаруживая обычно поперечно-волокнистую структуру. В плотном куске хризотил-асбест обладает зеленой или желтовато-зеленой окраской и перламутровым блеском, но после расщепления (фибризации) на отдельные волокна превращается в белую пухоподобную массу. Хризотил-асбест имеет весьма высокую температуру плавления (15210C), приблизительно при 700оC теряет кристаллизационную воду и становится хрупким. По сравнению с амфибол-асбестами менее устойчив к воздействию кислот (разлагается в соляной кислоте); однако он щелочеустойчив, отличается высокими сорбционными, тепло-, звуко- и электроизоляционными свойствами.

*Крокидолит* («голубой асбест») представляет волокнистую разновидность рибекита. Его химический состав выражается формулой: Na2Fe5[Si4O11]2(OH)2 или Na2O.3FeO.Fe2O3.8SiO2.Н2О. Он встречается в поперечно-волокнистых жилках и имеет серо-голубой цвет, сохраняющийся после расщепления. Обладая несколько меньшей температурой плавления (1193оC), крокидолит превосходит хризотил своей устойчивостью к кислотам и щелочам, а также прочностными свойствами.

*Амозит* («коричневый асбест»), являющийся волокнистой разновидностью грюнерита, имеет состав MgFe6[Si4O11]2(ОН)2 или МgО.6FeO.8SiO2.Н2О. Встречается в жилках поперечно-волокнистого строения. Пепельно-серый до коричневого, после извлечения из породы становится белым. Амозит устойчив к действию кислот и щелочей. Имеет сравнительно невысокие температуру плавления (1000-1200оС) и прочностные свойства.

*Антофиллит-асбест* имеет состав (Mg,Fe)7[Si4O11]2(ОН)2, характеризуясь переменным содержанием железа. Цвет светло-серый до белого и коричневато-серого. Чаще всего встречается в виде продольно-волокнистых выделений, звездчатых или радиально-лучистых агрегатов. Обладая высокой температурой плавления (1468оC) и устойчивостью к кислотам и щелочам, он имеет короткое твердое волокно относительно невысокой прочности.

Помимо огнестойкости, устойчивости к воздействию кислот и щелочей и других свойств, промышленная ценность асбеста определяется длиной волокна и его прочностью. Так, по длине волокна хризотил-асбест подразделяется в нашей стране на 8 сортов (от 0 до 7). Для нулевого сорта длина волокна превышает 13 мм, а для седьмого - менее 1 мм. Близкая группировка хризотил-асбестового волокна принята в Канаде: 1 группа (крюд No 1) 18 мм и более; 2- (крюд No 2) 10-17 мм; 3 - (текстильное) 6-9 мм; 4 - (кровельное) 4-6 мм; 5 - (бумажное) 2-4 мм; 6 - (штукатурное) 1-2 мм; 7 - до 1мм.

По прочностным свойствам асбест разделяется на нормальной или высокой прочности (прочность на растяжение около 300 кг/мм2), полуломкий или пониженной прочности и ломкий или слабой прочности (прочность на растяжение 110-220 кг/мм2). Хризотил-асбест пониженной прочности фиксируется в зоне выветривания; для него характерна белесая окраска, низкая распушиваемость, меньшая эластичность и некоторое снижение количества MgO. Ломкий асбест рассматривается в качестве продукта высокотемпературного преобразования нормального хризотил-асбеста; его отличают упругость, меньшая прочность на растяжение, небольшое снижение количества MgO и кристаллизационной воды, увеличение количества FeO.

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

В промышленности используется волокно длиной более 0,5 мм высокой и пониженной прочности. Оно широко применяется в различных областях промышленности как в чистом виде, так и в соединении с другими материалами (цементом, тканями, картоном и др.). Номенклатура асбестовых изделий насчитывает свыше 3000 наименований.

Основное количество асбеста идет на производство всевозможных асбоцементных (трубы, кровельная плитка, шифер), асбестобитумных и асбестосмоляных изделий, как заполнителя при производстве асфальта и бетона, изготовление различных фрикционных прокладок, дисков сцепления, трансмиссионных и приводных ремней, всевозможных картонно-бумажных изделий.

Хризотил-асбест, не содержащий железа, является электроизолятором и используется в промышленности. Лучшие длинноволокнистые сорта хризотил-асбеста применяются в текстильной промышленности. Наиболее качественное волокно идет на изготовление фильтров. Низкосортный коротковолокнистый асбест используется в черной металлургии как связующий материал при производстве железорудных окатышей.

Крокидолит и амозит широко используются в химической промышленности для производства различных кислото- и щелочестойких изделий. Их длинноволокнистые сорта являются текстильным сырьем. Крокидолит - хороший фильтрующий материал для очистки воздуха от радиоактивной пыли. Он также весьма эффективен в производстве асбоцементных труб, выдерживающих высокое давление.

Амозит находит широкое применение в производстве изоляционных материалов. Основные области потребления антофиллит-асбеста - изготовление кислотостойких фильтров, прокладок и пластмасс.

Асбест широко применяется в технике и строительстве; из него (или из композиций асбеста с другими материалами) получают несколько тысяч изделий.

Асбест групп 0—2 нередко называют текстильным. При его использовании в волокно часто добавляют 20—25 % хлопка. Изделия этого типа (огнезащитные костюмы и фартуки, шлемы, перчатки) необходимы при работе в горячих цехах. Кроме того, из асбеста производят тормозные ленты, уплотняющие про­кладки и набивки для тепловых двигателей, диски сцепления, электроизоляционные тепловые ленты, ткань для турбогенера­торов, трансмиссионные и приводные ремни (термо- и хими­чески стойкие).

Асбест групп 3—5 применяют при изготовлении асбесторезиновых листов, асбестобитумных и асбестосмоляных изделий, ас­бестовых пластмассовых материалов, в том числе химически стойких. Из асбеста групп 4—6 получают асбестовую бумагу и картон, термоизоляционные изделия (с диатомитом и другими минеральными добавками). Асбест используется также как но­ситель катализаторов при получении асбестосиликатных красок и лаков, фильтров, асбестопластиков, асбестоцементных труб (водопроводных, канализационных, мусоропроводных и др.). Ас­бест и цемент входят в состав конструктивных строительных па­нелей для жилых и промышленных зданий, электроизоляцион­ных досок и щитов для электростанций. Асбест — необходимый компонент шифера, широко используемого кровельного мате­риала. Фильтры из картона с добавкой некоторых асбестов (на­пример, боливийского родусит-асбеста) используют, по данным В. Синклера, для очистки воздуха от радиактивной пыли.

Асбест группы 7 используют как связующий материал при получении железорудных окатышей.

# ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В настоящее время ясно выделяются четыре главнейших геолого-промышленных типа месторождений асбеста.

1. Линзо- и трубообразные залежи и жилы с хризотиловой минерализацией в серпентинизированных альпинотипных и стратиформных ультрамафитах дунит-гарцбургитовой (Россия, Канада, Казахстан, КНР и др.) и габбро-пироксенит-перидотитовой (ЮАР. Зимбабве) формаций (на первые из них приходится 92-93 % мировых запасов асбестов и 90% добычи, на вторые - 2-3 % и 8 % соответственно).

2. Пластовые и жилообразные зоны серпентинизации с хризотиловой минерализацией в апокарбонатных магнезиальных породах - скарноидах (США, Россия, КНР).

3. Пластовые жилы с крокидолитом и амозитом в железо-кремнистых породах типа железистых кварцитов и яшм близ контактов с доломитами (ЮАР и др.), включающие до 1,5 % мировых запасов асбестов и около 1,5 % добычи.

4. Гнездо-, линзо- и штокообразные тела с антофиллит-асбестовой минерализацией в апоультрамафитах амфиболито-гнейсовых комплексов (Мозамбик, Индия, Казахстан, Россия и др.), на которые приходится 1,5% мировых запасов и 1,5% добычи асбестов.

Среди месторождений хризотил-асбеста наиболее крупные промышленные образования принадлежат первому типу, в составе которого по характеру жилкования (строению жил асбеста и их взаимному расположению) иногда выделяют баженовский, лабинский и карачаевский подтипы.

Асбестоносные залежи баженовского подтипа представляют собой крупные (до 600 м) крутопадающие тела, вытянутые на значительные (до 4500 м) расстояния; они, как правило, характеризуются концентрически-зональным строением, обусловленным различными типами асбестоносности: просечек, мелкопрожила, мелкой и крупной сеток, простых и сложных отороченных жил (рис. 1).

Простые отороченные жилы находятся в слабо серпентинизированных ультрамафитах, окаймляясь с обеих сторон полосами плотного массивного серпентинита; мощность такой серпентинитовой оторочки в 4-6 раз превышает мощность самой жилы, достигая 5-10, а иногда и 20 см. Для простых отороченных жил характерен наиболее длинноволокнистый асбест (8-25 мм, реже 50-60 мм), а содержание волокна в породе составляет 0,5-2% (реже более).

Сложные отороченные жилы в отличие от простых состоят из серии параллельных прожилков в серпентинитовой массе, причем наиболее мощные из них располагаются по краям таких серий, а к центру их мощность постепенно уменьшается. Такой тип асбестоносности дает более высокий выход волокна из горной массы (от 2 до 10-15%), но содержит меньше длинноволокнистого (текстильного) хризотил-асбеста по сравнению с простыми отороченными жилами.

Если разноориентированные простые отороченные жилы располагаются поблизости, так что их серпентинитовые оторочки сливаются, образуется асбестоносность типа крупной сетки. В ячейках последней размером 0,3-0,6 м иногда сохраняются ядра несерпентинизированных ультрамафитов. В таком типе руд содержится 3-10% волокна, длина которого не превышает 10-20 мм.

В отличие от крупной сетки асбестоносность типа мелкой сетки проявляется в нацело серпентинизированных ультрамафитах, а размер ячейки чаще всего составляет 10-20 см. Средняя длина волокна - 4-10 мм, его содержание в горной массе 8-10% (изредка достигая 20-25%).

Системы параллельных прожилков хризотил-асбеста в сплошном серпентините соответствует типу асбестоносности, называемому мелкопрожил. Руда этого типа характеризуется самым коротким промышленным волокном (1-3 мм), при его содержании в 5-10% (редко до 30%).

Если массивные серпентиниты содержат тончайшие (0,5-1,0 мм) прожилки хризотил-асбеста, то такой тип асбестоносности называется просечками.

В контурах промышленной асбестоносности обычно преобладают мелкосетчатые руды, реже - крупносетчатые и отороченных жил. Наиболее длинное волокно (1,2,3 сортов) содержится в рудах отороченных жил и крупной сетки, однако его содержание невелико (до 8%). В мелкосетчатых и мелкопрожильных рудах количество асбеста иногда может достигать 20-30%, но по длине волокна - это низкие сорта (5,6,7). К рассматриваемому подтипу относятся все крупные месторождения Урала (Баженовское, Киембаевское) и Мугоджар (Джетыгаринское в Казахстане), многие месторождения Сибири (Молодежное, Актовракское, Саянское, Ильчирское и др.), а также месторождения Канады (Блэк-Лейк, Джеффри, Байе-Верте, Кассиар, Клинтон-Крик и др.), Зимбабве (Шабани, Машаба) и других стран.

Рудные тела лабинского подтипа представлены простыми или сложными жилами поперечно-волокнистого асбеста, залегающими вдоль контактов серпентинитов и даек различного состава и прослеживающимися на десятки и сотни метров по простиранию, от нескольких сантиметров до 3-4 метров по мощности. Это месторождения Лабинское на Северном Кавказе, Хавелок в Свазиленде, Нью-Амиантус в ЮАР и др.

Особенностью месторождений карачаевского подтипа является продольно-волокнистое жилкование по плоскостям трещин скольжения в серпентинитах. Представителями подтипа помимо Карачаевского месторождения на Северном Кавказе, являются Ешкеульмесское (Казахстан), Бунайское (Памир), Ист-Броутон (Канада), месторождения штата Вермонт (США) и др. Образование хризотил-асбеста в серпентинизированных и стратиформных массивах ультрамафитов связано с гидротермальными растворами, природа которых дискуссионна. По мнению одних исследователей процессы серпентинизации и асбестообразования обусловлены воздействием гидротермальных растворов собственно ультраосновной магмы, то есть автометаморфическими. Другие полагают, что серпентинизация и сопровождающая ее хризотил-асбестовая минерализация являются продуктом более молодых гидротерм, дериватов гранитоидных интрузий, наложившихся на уже частично серпентинизированные при автометаморфизме тела ультрамафитов.

Процесс серпентинизации ультраосновных пород под действием кремнекислых либо углекислых гидротерм можно представить в следующем виде:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 3(Mg,Fe)2SiO4 | + 4Н2О | + SiO2 → | 2H4(Мg,Fe)3Si2O9; |
| оливин | вода | кремнезем | серпентин |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 2(Mg,Fe)2SiO4 | + 2Н2О | + СО2 →  | (Мg,Fe)3SiO9 | + (Мg,Fe)СО3 |
| оливин | вода | углекислота |  серпентин | брейнерит |

При разложении оливина заключающееся в нем железо может частично связываться в виде свободных окислов, образуя цепочки мелких кристалликов магнетита в жилках хризотила. В случае медленного проникновения и циркуляции гидротермальных растворов образуется антигоритовый серпентинит, практически не содержащий хризотила; в условиях быстрого прохождения этих растворов по многочисленным тектоническим и контракционным трещинам в серпентините развивается хризотиловая минерализация.

Месторождения хризотил-асбеста второго типа, связанные с зонами серпентинизации в доломитовых известняках и доломитах, встречаются значительно реже и по масштабу промышленной минерализации невелики. Иногда этот тип месторождений называют аспогашским или аризонским. Для них наиболее характерны единичные жилы (Аспогашское месторождение в России, месторождения Аризоны в США, месторождения Цзиньчжоу и Чаоян в Ляонине и Лайюань в Хебэйе, КНР). Но иногда встречаются и другие типы минерализации: сетчатые жилы, мелкопрожил, просечки (Вангырское месторождение на Полярном Урале). К этому типу относятся также небольшие месторождения в КНР (Пао-Чоу, Лай-Юань), КНДР (Пчогори, Кине), ЮАР.

Все месторождения этого типа считаются контактово-метасоматическими, локализованными в существенно магнезиальных карбонатных породах близ контактов с основными или кислыми изверженными породами. Карбонатные породы близ этого контакта перекристаллизованы и содержат типичные минералы скарнов: форстерит, диопсид, тремолит, гранат и др. Серпентинизация и асбестообразование происходили в гидротермальную стадию контактового метасоматоза по доломитам в условиях привноса кремнекислоты:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3СаMg(CO3)2 | + 2Н2О | + SiO2 → | H4Mg3Si2O9 | + 3CaСО3 | + 3CO2 |
| доломит | вода | кремнезем | серпентин | кальцит | углекислота |

По трещинам, возникавшим вдоль плоскостей напластования, циркулировали растворы, из которых кристаллизовался обычно поперечно-волокнистый хризотил-асбест; вблизи трещин порода нацело преобразовывалась в серпентинит, а на некотором расстоянии от них происходило лишь частичное замещение с образованием офикальцита (смесь серпентина и кальцита).

Достоинством асбестового волокна месторождений этого типа является исключительно низкая железистость, что предопределяет его использование в электротехнической промышленности.

Месторождения третьего типа, представленные согласными пластовыми жилами поперечно-волокнистого крокидолита или амозита в железо-кремнистых породах, известны в Южной Африке (Трансвааль и Капская провинция, ЮАР) и в Западной Австралии (крокидолит). В разрезе вмещающих пород непременным членом являются доломитовые образования. Формирование этих месторождений связывают с гидротермально-метаморфическими растворами контактового или регионального метаморфизма, привносившими из подстилающих доломитов магнезию и циркулировавшими по межпластовым трещинам в слоях железистых кварцитов, обогащенных натрием. Присутствие здесь графита обуславливало наличие в растворах восстановленных форм железа. При недостатке натрия в замещаемых породах вместо крокидолита кристаллизовался амозит.

Для месторождений антофиллит-асбеста (четвертый тип) характерна связь с метаморфизованными ультраосновными породами и серпентинитами, представленными оливин-пироксеновыми, тальк-брейнеритовыми и другими образованиями в составе амфиболито-гнейсовых комплексов регионального метаморфизма. Их типичными представителями являются месторождения Среднего Урала (Сысертское и др.) и Мугоджар (Бугетысайское и др.) в России и Казахстане, месторождения Финляндии, США, Египта, Сьерра-Леоне и других стран.

Метаморфизованные асбестоносные апоультрамафитовые тела имеют небольшие размеры (десятки-сотни метров), уплощенную вытянутую форму в направлении общего простирания вмещающих гнейсов и амфиболитов, зональное строение. Последнее имеет метаморфическую и контактово-метасоматическую природу. Метаморфическая зональность выражена ядром вторичных крупнокристаллических оливин-пироксеновых и пироксеновых пород, промежуточной зоной существенно антофиллитовых пород и внешней зоной тальксодержащих и актинолитовых пород. Контактово-метасоматическая зональность, как продукт биметасоматоза на контакте апоультрамафитов и алюмосиликатных пород, выражены актинолитовой и тальковой зонами по апоультрамафитам, хлоритовой и слюдитовой - по алюмосиликатным образованиям.

Промышленная асбестоносность целиком включает промежуточную метаморфическую зону, захватывая периферию ядра и внутреннюю часть внешней зоны. Образование антофиллит-асбеста происходило в конце главных этапов метаморфизма на фоне уже обозначившейся метаморфической зональности за счет ранее сформированных антофиллита, ортопироксена и оливина, но предшествовало контактово-метасоматическим процессам, реакционные зоны которых частично замещали рудные тела.

# ПРИМЕРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

##

## Молодежное месторождение хризотил-асбеста

Месторождение расположено на северном склоне Южно-Муйского хребта в зоне БАМ (близ ж.д. станции Таксимо) на территории Бурятии. Оно связано с Молодежным массивом, одним из многих, образующих полосу ультрабазитовых тел северо-западного направления вдоль восточной границы Муйской глыбы архея Саяно-Байкальской складчатой области. Массив согласно залегает в келянской толще среднепротерозойских метаморфических образований, имеет пластообразную форму с раздувом в центральной части и крутое субвертикальное падение (рис. 2). Его длина по простиранию превышает 5 км, а ширина выхода колеблется от нескольких десятков до 530 метров. В составе вмещающей келянской метаморфической толщ заафиксированы альбит-хлорит-эпидотовые, кварц-серицит-хлоритовые, кварц-мусковитовые, кварц-хлоритовые и другие сланцы, образовавшиеся за счет вулканогенно-осадочных пород. Непосредственно к западу от центрального раздува массива откартированы более молодые дайки гранит-порфиров мощностью до 8 метров, относимые к качойскому комплексу.

Большая часть массива сложена гарцбургитами с подчиненным развитием дунитов. Нередко эти породы превращены в серпентиниты лизардитового, хризотил-лизардитового, хризотил-антигорит-лизардитового, брусит-хризотил-лизардитового, антигоритового и другого состава. В северо-западной части массива появляются тальк-карбонатные и тальковые образования.

Промышленная хризотил-асбестовая минерализация локализована в центральной части массива. Здесь фиксируется классическая эллипсовидная залежь баженовского подтипа с отчетливо выраженной концентрической зональностью и практически всеми типами асбестоносности (штокверкового прожилкования). Она ориентирована в северо-западном направлении, имея длину около 700 м и ширину 300-460 м. Наибольшая глубина распространения промышленной асбестоносности превышает 600 м. В ее центральной части находится гарцбургитовое ядро, размером до 350 м в поперечнике, местами серпентинизированное с бедной асбестоносностью типа единичных простых отороченных жил. Следующая зона серпентинизированных гарцбургитов и серпентинитов с асбестоносностью типа простых отороченных жил облекает гарцбургитовое ядро сверху; ее мощность может достигать 90 м, а мощность хризотил-асбестовых жил 50-70 мм (в единичных случаях до 220 мм). Далее находятся серпентинизированные гарцбургиты и серпентиниты с асбестоносностью типа крупной сетки; мощность этой зоны колеблется от 25 до 125 м; минерализованные сложные жилы, проявленные здесь, имеют значительно меньшую мощность (2-20 мм). Фиксируемая далее зона серпентинитов с асбестоносностью типа мелкой сетки имеет мощность 5-175 м; жилки асбеста в этой зоне характеризуются мощностью 1-15 мм. Внешние зоны серпентинитов с асбестоносностью типа просечек (ориентированных, ориентированных и сетчатых, сетчатых) отличаются очень низким содержанием волокна (0,52-0,84%) и незначительной мощностью прожилков асбеста (от долей до 4 мм) и поэтому в общем случае выходят за пределы промышленного контура рудной залежи. Последний, таким образом, легко устанавливается визуально по границе зоны мелкой сетки с зоной ориентированных просечек вследствие резкого изменения характера асбестоносности этих зон.

Для залежи в целом характерна единая (сквозная) система ориентации асбестовых жил (аз. простирания 310-325њ, угол падения 67-80њ на юго-запад), совпадающая с ориентировкой региональной сланцеватости вмещающих пород келянской толщи. Наиболее отчетливо эта система проявлена в зоне простых отороченных жил. При переходе к зонам крупной и далее мелкой сетки появляются дополнительно все новые, усложняющие общую картину, системы ориентации жилок асбеста, что свидетельствует об увеличении интенсивности и разнообразия тектонической переработки периферических частей массива.

По представлениям геологов, изучавших месторождение (М.Е.Заманщиков, К.Г.Башта и др.), Молодежный ультрабазитовый массив относится к дунит-гарцбургитовой формации, наиболее благоприятной для промышленного хризотил-асбестообразования. Образование хризотил-асбеста связывается с метаморфизмом этого массива, происходившего в несколько стадий, причем промышленная асбестизация имела место после автометаморфической серпентинизации гарцбургитов, но до слабо проявленных процессов антигоритизации массива. При этом не исключается и контактово-метаморфическое воздействие гранитоидов качойского комплекса, наличие которых подтверждается дайками гранит-порфиров, развитыми близ западного контакта массива.

Общие разведанные запасы асбестового волокна составляют почти 15 млн т при его среднем содержании в рудах 6,70%. При этом свыше 15% запасов составляет волокно текстильных сортов. С изменением характера прожилкования меняется сортность асбеста в рудах и его содержание: относительное количество высокосортного асбеста уменьшается от центра залежи к периферии. Месторождение уникально по исключительно высокому содержанию текстильных сортов волокна. Учитывая острый дефицит в этом сырье, а также настоятельную необходимость скорейшего народно-хозяйственного освоения зоны БАМа, это месторождение предполагается ввести в

Вдоль южного обрамления плато эксплуатацию в ближайшие годы.

##

## Месторождения хризотил-асбеста штата Аризона (США)

Колорадо в округе Гила штата Аризона (CШA) локализованы многочисленные небольшие месторождения маложелезистого хризотил-асбеста. Наибольший интерес представляют участки их концентрации Солт-Ривер и Черри- Крик - Рок Хаус площадью в 250 и 150 км2, расположенные соответственно в 40-55 км к северо-востоку и в 55-70 км к северу от Глобе. Геологически эти месторождения связаны с докембрийской формацией Мескальских доломитизированных известняков в участках ее осложнения интрузией диабазовых силлов. В составе известняков присутствуют обильные стяжения и нодули кремней.

Рудные тела предсталяют собой субгоризонтальные залежи асбестоносных серпентинитов мощностью 20-65 см в приконтактовых частях доломитизированных известняков с диабазовыми силлами (рис. 3). Иногда несколько таких тел сближены, образуя единую зону мощностью в несколько метров. В плане такие зоны имеют эллиптическую форму размером в десятки-первые сотни метров в поперечнике. Тела серпентинитов содержат серию параллельных жилок и прожилков поперечно-волокнистого хризотил-асбеста, отстоящих друг от друга на 3-15 см. Протяженность таких жилок может достигать нескольких метров, а их мощность - нескольких сантиметров.

Так, например, на месторождении Сьерра-Анча зона асбестоносного серпентинита, находящаяся в приконтактовой части с диабазом, залегает субгоризонтально, имея суммарную мощность 2 м, объединяя местами от одной до трех сближенных тел мощностью по 0,5-0,6 м. В каждом теле имеется в среднем 3-5 и более (до 15) параллельных жилок поперечно-волокнистого хризотил-асбеста со средней длиной волокна 10-20 мм.

В зонах серпентинизации известняков наряду с серпентином нередко присутствуют также тремолит, диопсид, тальк и другие минералы. По представлениям американских геологов при внедрении диабазовых силлов освобождавшаяся из доломитизированных известняков магнезия соединялась с кремнеземом нодулей и стяжений, в результате чего происходило образование тремолита, диопсида, талька и серпентина. Прожилки хризотил-асбеста в серпентинитах наследовали первичные горизонтальные плоскости напластования докембрийских известняков; поперечное волокно этих прожилков росло метасоматически за счет серпентинита вверх и вниз от тонких трещин - путем поступления гидротермально-метаморфических растворов, связанных с диабазами. Предполагается, что достаточно незначительных изменений состава, давления или температуры этих растворов, чтобы серпентин стал неустойчивым - по нему начал кристаллизоваться стабильный в новых условиях хризотил-асбест.

Хотя запасы руд этих месторождений и содержания в них асбестового волокна невелики, в течение многих лет осуществляется их разработка небольшого масштаба. Маложелезистый хризотил-асбест, добываемый здесь, имеет высокие диэлектрические свойства, являясь исключительно ценным сырьем в электротехнической промышленности.

##

## Месторождения амозита и крокидолита ЮАР

Южно-Африканская республика является по существу единственным мировым производителем амозита и крокидолита (соответственно около 60 тыс т и 12 тыс т ежегодно).

Основные запасы амозита сосредоточены в Трансваале - в пределах обширного рудного поля, представляющего дугообразную, вытянутую на 100 км полосу, окаймляющую северо-восточное окончание Бушвелдского магматического комплекса. Подавляющая часть добычи при этом приходится на Лайденбургский участок между Пенджем и Кромелленбоогом (рис. 4).

В геологическом строении рудного поля принимают участие породы Трансваальской супергруппы докембрия, подразделяемые снизу вверх на группы Волкберг (метаморфизованные кластические осадки, преимущественно кварциты), Чуниспоорт (мощная карбонатная толща доломитов Малмани, переходящая вверх в полосчатые железистые кварциты и яшмы, содержащие амфибол-асбест) и Претория (кварциты и сланцы).

Амфибол-асбестовая минерализация в своем распространении ограничена толщей железистых кварцитов и яшм, перекрывающей доломиты Малмани и смятой в пологие синклинальные и антиклинальные складки (рис. 5). Это отчетливо слоистая толща чередования темных (магнетитовых, графитовых, грюнеритовых) и светлых (кварцитовых, сланцевых, сидеритовых) маломощных слойков, прослеживаемая на десятки километров по простиранию; ее максимальная мощность в центральной части рудного поля достигает 700 м. Образующие толщу индивидуальные слойки имеют резкую границу; их мощность не превышает первых дециметров.

Амозит-асбест, обычно синевато-серый, поперечно-волокнистый, образует серию согласных прожилков в темно-серых слоях пород, содержащих многочисленные крупные кристаллы грюнерита и большое количество графита. Такие слои подстилаются и перекрываются железистыми кварцитами. В пределах слоя фиксируется до 5-6 параллельных прожилков со средней длиной волокна 10-12 см (максимальная длина волокна - до 18 см). Несколько слоев с амозит-асбестовой минерализацией образуют ясно стратифицированную продуктивную пачку; в разрезе толщи отчетливо зафиксированы четыре таких пачки, мощностью около 10 м каждая. На некоторых месторождениях близ Питерсбурга амозит и крокидолит встречаются совместно в одной жиле.

Основные запасы крокидолита находятся в Капской провинции; они связаны с вытянутой на 400 км и шириной 45 км субмеридиональной полосой пород той же Трансваальской супергруппы докембрия от Приска (р. Оранжевая) на юге через Грикватаун и Кураман до границы с Ботсваной на севере (рис. 4). Полоса по простиранию разделена на три асбестоносных рудных поля (с юга на север): Коэгас-Грикватаун, Куруман и Помфрет.

В разрезе Трансваальской супергруппы здесь выделяют (снизу вверх) группы Гхаап, Постмасбург и Олифаншоек. Вся крокидолитовая минерализация связана с нижней группой Гхаап, сложенной господствующими доломитами с пачками полосчатых железистых кварцитов.

Основным тектоническим элементом является синклиналь Димотен, ось которой имеет северо-восточное направление на юге полосы, сменяющееся на северо-западное в ее центральной части с образованием выпуклой на востоке дуги. Относительно пологие крылья этой структуры осложнены складками более высоких порядков.

Главная промышленная зона (слои Вестерберг) представляет чередование грубо- до тонкослоистых железистых (магнетитовых) кварцитов с согласными жилами поперечно-волокнистого крокидолит-асбеста, периодически прерывающимися по простиранию. В районе Приска эта зона содержит 8 асбестоносных жил со средней длиной волокна 15-20 мм, тяготеющих к ее нижней части мощностью около 30 м. Зона промышленной минерализации проявляется на обоих крыльях синклинали Димотен, фиксируясь в складках более высоких порядков в виде вытянутых на десятки метров слоев Вестерберг. Ввиду прерывистого (по простиранию) характера крокидолитовой минерализации ее разработка осуществляется серией небольших открытых горных выработок. Наиболее значительные месторождения находятся близ Приска, Куруман и Помфрета.

По мнению М. Кужварта южноафриканские месторождения крокидолита и амозита в железо-кремнистых породах сформировались при гидротермальном привносе натрия (крокидолит) и магния (амозит) в условиях динамометаморфизма. Другие зарубежные исследователи считают, что если магний заимствовался гидротермально-метаморфическими растворами из соседних доломитов, то натрий изначально присутствовал в повышенных количествах в отдельных пластах железистых кварцитов. Ряд геологов для месторождений Трансвааля связывают природу гидротермальных растворов с внедрением Бушвелдского магматического комплекса.

## Бугетысайское месторождение антофиллит-асбеста в Казахстане

Месторождение находится в бывшей Актюбинской области в 80 км к востоку от ж/д станции Эмба. Геологически оно приурочено к северо-восточному периклинальному погружению Бугетысайской антиклинали - локальной структуры в пределах Мугоджарского мегаантиклинория, сложенной рифейскими интенсивно метаморфизованными породами кандыкаринской (внизу) и борлинской свит: разнообразными гнейсами и амфиболитами с широко проявленной мигматизацией, а также кварцитами. На месторождении развиты многочисленные тела метаморфизованных ультрабазитов, пегматитовые, аплитовые и кварцевые жилы. Породы сильно дислоцированы в линейно-вытянутые на северо-восток, зачастую опрокинутые складки с преобладающими углами падения крыльев 60-80њ (рис. 6).

Измененные ультрабазитовые тела, содержащие антофиллит-асбестовую минерализацию, залегают согласно среди отложений борлинской свиты близ ее контакта с породами кандыкаринской свиты, образуя две вытянутых на северо-восток зоны: северную и центральную. В пределах центральной зоны расположены наиболее значительные тела (залежи), круто падающие в северо-западном направлении и имеющие склонение, совпадающее с погружением оси складки на северо-восток. Самая крупная залежь No 1, представляющая сложную крутопадающую линзу, оконтуривается по простиранию на 250 м, на глубину до 100 м, по мощности до 50 м (рис.5.5). В ней наиболее полно выражена метаморфическая зональность слагающих пород (от центра к периферии): 1 - тальк-антофиллит-карбонатные породы с реликтами серпентинита, 2 - те же породы без серпентинита, 3 - тальк-антофиллитовые, 4 - вермикулит-антофиллит-тальковые, 5 - тальк-вермикулитовые и актинолит-вермикулитовые на контактах с вмещающими гнейсами и амфиболитами соответственно. Границы между этими метасоматическими зонами постепенные. Лишь пятая зона, образующаяся как за счет ультрабазитов, так и вмещающих их пород, имеет резкие очертания. В небольших залежах породы с реликтами серпентинита (зона 1) отсутствуют.

Промышленная асбестоносность связана с тальк-антофиллитовой и вермикулит-антофиллит-тальковой породами (зоны 3 и 4). В тальк-антофиллит-карбонатной породе (зона 2) она проявлена в меньшей степени, а при наличии реликтов серпентинита (зона 1) - отсутствует вообще. Наиболее обогащены асбестом мелкие тела метаультрабазитов, зачастую целиком являющиеся рудными залежами, а также интенсивно деформированные краевые части крупных тел.

Асбест развивается преимущественно по антофиллиту, реже по тальку. Руды имеют крупнозвездчатую, звездчатую и иногда пучковую структуры. Крайне редко встречаются руды поперечно-волокнистого сложения. Наиболее длинное волокно фиксируется в крупнозвездчатых образованиях (радиус звездочек превышает 5 см). Содержание в рудах волокна класса +0,5 мм составляет 5,66-9,26%, класса +1,6 мм - 1,10-3,17%. По своему химическому составу антофиллит-асбест является высокомагнезиальным: атомное отношение Mg:Fe превышает 7.

В верхних частях залежей фиксируются сильно выветрелые руды. Наиболее изменены их карбонатсодержащие разновидности: до глубины нескольких метров карбонат (магнезит) в них выщелочен, горная масса дезинтегрирована, асбестовое волокно имеет пониженную прочность и повышенное водопоглощение.

В настоящее время на месторождении выявлено и разведано несколько десятков тел измененных ультрабазитов с промышленной антофиллит-асбестовой минерализацией. Оно является резервной базой асбестовой промышленности Казахстана.

По представлениям А.Я.Хмары и Г.И.Бурда месторождение имеет метаморфогенную природу. Образование асбестоносных метаультрабазитов происходило в условиях амфиболитовой фации регионального метаморфизма путем метасоматической переработки аподунитовых лизардитовых серпентинитов (помимо отмеченных в ядерных частях метаультрабазитовых тел многочисленных реликтовых агрегатов серпентинитов на месторождении выявлено тело лизардитовых серпентинитов мощностью 60 м). По петрохимическим данным эти серпентиниты относятся к дунит-гарцбургитовой формации - производной глубинной перидотитовой магмы. Исходные ультрабазитовые интрузивы в ходе динамометаморфизма расчленялись на отдельные будины, приобретавшие уплощенные линзовидные формы и в своих периферических частях становившиеся наиболее благоприятными для фильтрации метаморфизующих растворов.

# МИРОВОЙ РЫНОК

Максимальное производство асбеста в мире пришлось на 1977 год (почти 5,5 млн т волокна), в том числе в СССР - более 2,5 млн т и в Канаде - свыше 1,5 млн т. С начала 80-х гг. минувшего столетия вследствие экологических причин производство асбеста стало падать (в 1998 году оно составило всего 2,0 млн т). Ведущими продуцентами асбеста являются Россия, Канада, КНР, Бразилия, Зимбабве, Казахстан, ЮАР, а также Колумбия и Греция. Доля хризотил-асбеста превышает 95%. Крокидолит и амозит добываются в ЮАР, а антофиллит-асбест помимо России - в Финляндии.

Подавляющая масса волокна добывается из хризотил-асбеста, связанного с ультрамафитами. Значительно меньше добывают крокидолит-, антофиллит-, родусит-, тремолит-асбеста и маложслезистого хризотил-асбеста.

По данным Горного бюро США, мировая добыча асбестового волокна в 1983 г. составила около 4,2 млн. т, в том числе (в тыс. т): Канада 1493; ЮАР 220; Зимбабве 190; Бразилия 135; Италия 120; США 70; Свази­ленд 32; Индия 25; Кипр 18; Австралия 20; Южная Корея 15; Турция 4; Япония 4; Мозамбик 0,8. В существенных количествах асбест добывается в КНР и СФРЮ, в небольших количествах — в Афганистане, НРБ, АРЕ и других странах.

Цена асбеста в 1983 г. в Канаде колебалась (в зависимости от марки) от 199 до 932 дол/т. Южноафриканские асбесты стоили 840 (амозит-асбест) и 629 (крокидолит-асбест) дол/т.

По добыче асбеста Россия занимает одно из ведущих мест. Железистый хризотил-асбест добывают на ряде крупных месторождений: Баженовском (Свердловская обл.), Киембаевском (Оренбургская обл.), Джетыгаринском (Кустанайская обл.), Актовракском (Тувинский АО), Саянском (Красно­ярский край). Добыча антофиллит-асбеста ведется на Терсутском участке Сысертского месторождения (Свердловская обл.). Месторождения маложеле­зистого хризотил-асбеста известны в Красноярском крае (Аспагашское) и Средней Азии.

По запасам волокна среди месторождений асбеста выделяют: хризотил-асбест (в млн. т) — крупные (>5), средние (0,5—5) и мелкие (<0,5); анто­филлит-асбест (в тыс. т) — крупные (>50), средние (5—50) и мелкие (<5).

# Графические приложения

Рис. 1. Типы жилкования хризотил-асбеста (текстуры). а - простая отороченная жила, в центре жилы видна просечка; б - сложная отороченная жила; в - руда типа мелкой сетки; г - руда мелкопрожильная. 1 - гарцбургит, 2 - серпентинит, 3 - жилки хризотил-асбеста.

Рис. 2. Геологическая карта и разрез Молодежного гипербазитового массива (по К.Г.Башта). 1 - келянская толща (сланцы хлорит-серицит-кварцевые, эпидот-альбит-хлоритовые, кварц-карбонатные, реже рассланцованные эффузивы);

2 - серпентинизированные гарцбургиты и серпентиниты с асбестоносностью типа бедных отороченных жил (ядро); 3 - серпентинизированные гарцбургиты и серпентиниты с асбестоносностью типа простых отороченных жил; 4 - серпентиниты и серпентинизированные гарцбургиты с асбестоносностью типа крупной сетки; 5 - серпентиниты с асбестоносностью типа мелкой сетки; 6 - серпентиниты периферийной зоны с асбестоносностью типа мелкой сетки; 7 - серпентиниты с асбестоносностью типа ориентированных просечек; 8 - серпентиниты смешанной зоны с асбестоносностью типа ориентированных и сетчатых просечек; 9 - серпентиниты с асбестоносностью типа сетчатых просечек; 10 - голубовато-серые груборассланцованные серпентиниты; 11 - серовато-зеленые груборассланцованные карбонатизированные серпентиниты; 12 - темно-зеленые интенсивно рассланцованные карбонатизированные и серпофитизированные серпентиниты; 13 - дайки гранит-порфиров Качойского интрузивного комплекса.

Рис. 3. Схематический разрез Аризонского месторождения хризотил-асбеста (по Б.Я.Меренкову, М.В.Муратову). 1 - песчаник; 2 - известняк; 3 - диабаз; 4 - серпентинит (с асбестом).

Рис. 4. Поля развития амфибол-асбестов в ЮАР (по П.В.Харбену и Р.Л.Бейтсу с упрощенями).



Рис. 5. Схематический геологический разрез месторождения амфибол-асбеста в Южной Африке (по Б.Я.Меренкову, М.В.Муратову). 1 - метаморфические сланцы; 2 - кварцит; 3 - конгломерат; 4 - доломит; 5 - железистый кварцит; 6 - диабаз (пластовые залежи); 7 - главная доломитовая серия; А - главный асбестоносныйый горизонт.

Рис. 6. Геологическая схема Бугетысайского месторождения антофиллит-асбеста и геологический разрез N 12 по залежи 1 (по А.Я.Хмара и Г.И.Бурд).

К карте: 1 - кандыкаринская свита: гранито- и аплито-гнейсы с прослоями амфиболовых гнейсов и линзами кварцитов, биотитовых и гранато-двуслюдяных гнейсов; 2 - борлинская свита: гранато-слюдяные гнейсы, кварциты и амфиболиты; 3 - тела асбестоносных ультрабазитов и их номера; 4 - тела слабо асбестизированных ультрабазитов; 5 - ось Бугетысайской антиклинали; 6 - элементы залегания. К разрезу: 1 - тальк-антофиллит-карбонатные породы с реликтами серпентинита; 2 - те же породы без серпентинита; 3 - асбестоносные тальк-антофиллитовые и антофиллит-тальковые породы; 4 - те же породы, выветрелые и дезинтегрированные; 5 - границы между минеральными зонами; 6 - графитистые кварциты; 7 - биотитовые гнейсы; 8 - мусковитовые гнейсы; 9 - двуслюдяные гнейсы; 10 - тальк-вермикулитовая оторочка; 11 - пегматит.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романович И. Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых. Учеб. пособие для ВУЗов. Москва, Недра, 1986.
2. Ерёмин Н. И. Неметаллические полезные ископаемые. Издательство Московского Университета 2004 г. Издание второе, исправленное и дополненное.