

4. Бельков И.В., Истомин А.В., Матвеев Б.А. Экономические предпосылки разработки кианитовых руд открытым способом месторождения Н. Шуурурта // Теория и практика работы карьеров Заполярья. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1974. С. 14-18.
5. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 125-132.
6. Гаскельберг В.Г., Рубинраут Г.С. Комплексная минерализация в разрезах Больших и Малых Кейв // Вопр. геологии и металлогении Кольского п-ова. Вып. V, ч. I. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1974. С. 208-212.
7. Гоулс Г.Г. Геохимия редкоземельных элементов в докембрийских плутонических породах // Тр. XXII МКГ. Геология и геохимия рудных месторождений. М.: Мир, 1971. С. 248-257.
8. К геохимии метаморфических пород кейвской серии / Бельков И.В., Белолитецкий А.П., Ильин Ю.И. и др. // Геохимическая эволюция метаморфических комплексов докембрия Кольского п-ова. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1976. С. 5-14.
9. Лутц Б.Г. Парагенетический анализ и TR минерализация глиноземистых пород амфиболитовой и гранулитовой фаций Алдана и Кольского п-ова // Редкие элементы в породах различных метаморфических фаций. М.: Наука, 1967. С. 30-58.
10. Перспективы освоения новых видов минерального сырья северо-запада России Войтеховский Ю.Л., Нерадовский Ю.Н., Касиков А.Г. и др. // Северные территории России: проблемы и перспективы развития: Матер. Всерос. конф. Архангельск: изд. Ин-т экол. проблем Севера УрО РАН, 2008. С. 958-961.
11. Распоряжение МПР РФ № 37-р "Об утверждении Методических рекомендаций по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых" от 05.06.2007.
12. Самонов А.Е., Самсонов А.А. // www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=385
13. Сидоренко С.А., Сидоренко А.В. Органическое вещество в осадочно-метаморфических породах докембрия // Тр. ГИН АН СССР. М.: Наука, 1975. 115 с.
14. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths / Haskin L.A., Haskin M.A., Frey F.A. et al. // Proc. Sym. of Int. Assoc. for Geochemistry and Cosmochemistry. Paris, 1967. P 150-155.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОВОЛОКНИСТОГО ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Лузин В.П.

ФГУП «ЦНИИГеолнеруд», Казань; root@geolnerud.net

Баженовское месторождение хризотил-асбеста расположено на Среднем Урале в Асбестовском районе Свердловской области. Оно открыто в 1885 году А.Я. Лодыженским.

Хризотил-асбест на месторождении представлен двумя видами – поперечноволокнистым хризотил-асбестом с расположением в жилах асбестовых агрегатов перпендикулярно стенкам трещин-вместилищ и продольноволокнистым хризотил-асбестом с расположением в жилах асбестовых агрегатов параллельно стенкам трещин-вместилищ. Наиболее распространенным является поперечноволокнистый хризотил-асбест, началом его добычи считается 1889 год. Продольноволокнистый хризотил-асбест имеет меньшее распространение, из-за недостаточной изученности он считался не пригодным к применению и при эксплуатации месторождения в течение 84 лет вывозился в отвалы пустых пород. Промышленное освоение продольноволокнистого хризотил-асбеста было начато после установления возможности применения его в различных направлениях индустрии по результатам глубокого изучения свойств комплексом методов в полевых, лабораторных и промышленных условиях.

Формы выделения и условия нахождения продольноволокнистого хризотил-асбеста

На Баженовском месторождении продольноволокнистый хризотил-асбест распространен в рассланцованных серпентинитах лизардитового или существенно лизардитового состава. Представлен он мягкими волокнами высокой (нормальной) прочности, которые имеют повсеместное распространение в названных породах, а также жесткими (ломкими) или полужесткими (полуломкими, пониженной прочности), которые встречаются локальными участками подобно аналогичным разновидностям поперечноволокнистого хризотил-асбеста.

В жилах расположение волокнистых агрегатов продольноволокнистого хризотил-асбеста параллельно по отношению к стенкам трещин-вместилищ обычно сохраняется и при изменении направления жилы. В естественном состоянии волокна хризотил-асбеста могут быть прямолинейными или изогнутыми. Размеры их самые разнообразные и исчисляются долями миллиметра, миллиметрами и десятками миллиметров (до 35 мм и больше). Таким образом, продольноволокнистый хризотил-асбест по длине волокон представлен, аналогично поперечноволокнистому хризотил-асбесту, всеми геологическими сортами (от АК и I до VII). Средняя длина

волокон геологических сортов составляет (мм): АК (крюд-асбест) – больше 18; I сорта – 16,0; II сорта – 12,0; III сорта – 9,0; IV сорта – 5,5; V сорта – 2,5; VI сорта – 1,0; VII сорта – <1.

В жилах продольное волокно, подобно поперечному, сплошное или разделено просечками на несколько частей. Просечки имеют вид прямой или ломаной линии. Расстояние между ними в агрегатах хризотил-асбеста различное и изменяется от долей миллиметра до первых сантиметров. Длина их измеряется долями миллиметра, миллиметрами и сантиметрами. Края просечек ровные прямолинейные или зазубрены. Очертания контуров противоположных краев просечек в деталях или совпадают, или различаются. Просечки полые, частично или полностью заполнены порообразующими минералами, серпофитом или офитом, магнетитом, карбонатом или бруситом.

Продольноволокнистый хризотил-асбест, подобно поперечноволокну хризотил-асбесту, примыкает непосредственно к вмещающей породе (рис. 1).

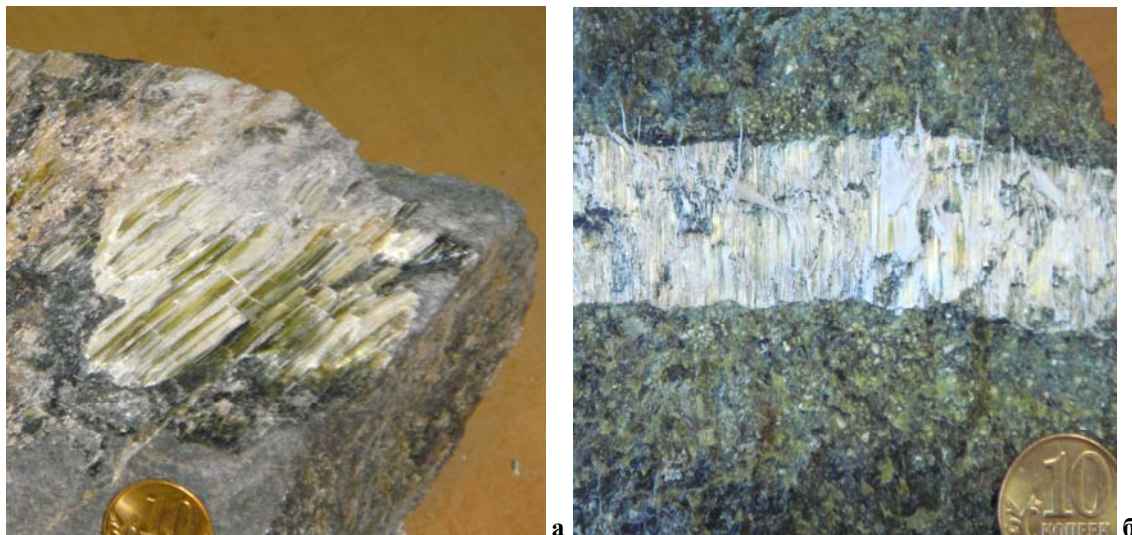


Рис. 1. а – серпентинит с продольноволокнистым хризотил-асбестом; б – серпентинит с жилой поперечноволокну хризотил-асбеста

Поверхности жил продольноволокнистого хризотил-асбеста, как и поперечноволокну, на контакте с вмещающими породами обычно неровные, зазубренные. Это может быть объяснено тем, что рост волокон хризотил-асбеста происходил с различными скоростями, в силу чего некоторые части агрегатов продвигались быстрее, образуя вогнутые участки контакта. При этом часто из-за плавного перехода продольного волокна в зерна исходной породы четкую границу между ними определить не всегда удастся.

В составе жил продольноволокнистого хризотил-асбеста встречаются брусит, немалит и магнетит. В результате исследований установлено, что чем больше в агрегатах хризотил-асбеста брусита (немалита), тем выше в них содержание магнетита. Отмечаются псевдоморфозы магнетита по бруситу. При замещении форма кристаллов брусита хорошо сохраняется. Процессом замещения рассматривается причина того, что в участках совместного нахождения брусита и хризотил-асбеста скопления магнетита тяготеют больше к бруситу, чем к хризотил-асбесту. Кроме того, образование нитеподобных и столбчатых скоплений магнетита, располагающихся параллельно волокнам хризотил-асбеста, также представляется как результат замещения волокнистого брусита (немалита) магнетитом.

Из всех минералов, распространенных в жилах, хризотил-асбест можно спутать с немалитом и волокнистым пикролитом. От этих минералов хризотил-асбест отличается мягкостью волокна, почти всегда зеленой окраской, шелковистым отливом, прочностью волокна и хорошей распушиваемостью. Волокно пикролита прочное и гибкое, но в сравнении с волокнами хризотил-асбеста очень грубое и плохо поддается распушке, окраска его, как правило, бурая или грязно-бурая. Волокно немалита обычно хрупкое, ломкое, легко разрывается руками, плохо распушивается, практически всегда имеет белый цвет и в жилах, в основном, приурочено к ровным гладким стенкам трещин (плоскостям скольжения). Отмечается параллельный рост волокон немалита и хризотил-асбеста и их взаимное прорастание. На фигурах травления взаимно проросших агрегатов хорошо видны границы между этими минералами.

Характерной особенностью жил продольноволокнистого хризотил-асбеста является их незначительная мощность, которая измеряется долями миллиметра и первыми миллиметрами. Протяженность их зависит от размеров блоков рассланцованных вмещающих пород и изменяется от 1-2 см до 2,5-3,0 м. В жилах отмечаются раздувы и пережимы. В раздувах ориентировка продольного волокна не изменяется и соответствует общему направлению жилы. На некоторых участках жил строгая параллельная ориентировка волокон не выдерживается. Отклонения происходят часто на контакте хризотил-асбеста с вмещающими породами, где волокно стремится занять перпендикулярное или близкое к нему положение относительно одной или обеих стенок жил.

В некоторых жилах виден плавный или резкий переход поперечного волокна хризотил асбеста в продольное через косое. Таким образом, в одной и той же жиле возможно совместное нахождение продольноволокнистого, косоволокнистого и поперечноволокнистого хризотил-асбеста. Жилы чередуются с прослоями вмещающей их породы, располагаются параллельно друг другу или пересекаются между собой под различными углами и, в конечном счете, образуют сложные штокверкоподобные рудные тела. При пересечениях жилы сливаются одна с другой, или в месте пересечения отделяются тонкими пластинками серпфита, карбоната, брусита. В участках пересечения мощность их или сохраняется, или отмечается увеличение трещинного выполнения, что характерно и для жил поперечноволокнистого хризотил-асбеста.

Жилы продольноволокнистого хризотил-асбеста в серпентинитах могут находиться одновременно с жилами поперечноволокнистого хризотил-асбеста. При этом или жилы продольноволокнистого хризотил-асбеста пересекают жилы поперечноволокнистого хризотил-асбеста, или наоборот, жилы поперечноволокнистого хризотил-асбеста пересекают жилы продольноволокнистого, или они сливаются друг с другом и образуют единую жилу. Явное пересечение жил свидетельствует о том, что образование жил продольноволокнистого хризотил-асбеста происходило в несколько этапов, подобно жилам поперечноволокнистого хризотил-асбеста.

Серпентиновые породы (серпентиниты), минерализованные продольноволокнистым мягким хризотил-асбестом, содержание которого имеет промышленное значение, являются рудами продольноволокнистого хризотил-асбеста. Залегают они в краевых частях асбестовых залежей, где примыкают к штокверкоподобным рудным телам поперечноволокнистого хризотил-асбеста и подобно им прослеживаются в виде вытянутых в меридиональном направлении зон. Протяженность этих зон различна и колеблется от нескольких десятков метров до 1000-1500 метров, мощность варьирует от единиц метров до 40-60 метров, достигая на отдельных участках 80-140 метров, глубина распространения соответствует вертикальному размаху залежей [1].

Физические свойства

Оптические свойства. Цвет продольноволокнистого хризотил-асбеста обычно зеленый с различными оттенками, реже белый, бурый, золотистый, коричневый или черный. В природных условиях в одном и том же агрегате этого минерала можно наблюдать наличие нескольких цветов, постепенно переходящих один в другой. Агрегаты бурой, золотистой и коричневой окраски приурочены в основном к приповерхностным частям залежей, обычно затронутых процессами выветривания. Условия нахождения зеленых, белых и черных разновидностей одинаковые. В тонких агрегатах рассматриваемый минерал прозрачен, просвечивает или непрозрачен, что присуще и поперечноволокнистому хризотил-асбесту. В распушенном состоянии светлоокрашенные разновидности его имеют белый цвет, а темно-окрашенные характеризуются светло-серым или серым. В водном растворе хлор-цинк-йода продольноволокнистый хризотил асбест, подобно поперечноволокнистому, окрашивается в бурый цвет или в бурый цвет со слабым фиолетовым оттенком. Жесткие (ломкие) разновидности этого минерала не окрашиваются.

Рентгенометрия. Внутренняя кристаллическая структура мягкого продольноволокнистого хризотил-асбеста по результатам рентгенометрического анализа такая же, как и у мягкого поперечноволокнистого. На дебаграммах зафиксированы отражения от плоских сеток 201 ($d=2,59 \text{ \AA}$), 202⁻ ($d=2,54 \text{ \AA}$), и от 202 ($d=2,46 \text{ \AA}$), которые образуют триплет линий, характерный только для мягкого хризотил-асбеста (аналитик А.Н.Айзикович, Уральское территориальное геологическое управление).

Микроскопия. Под микроскопом в проходящем свете светлоокрашенный продольноволокнистый хризотил-асбест прозрачен или слабо плеохроирует в желтовато-зеленых тонах, а темноокрашенные разновидности обнаруживают плеохроизм по биотитовой схеме абсорбции. Плеохроизм выражается в изменении интенсивной окраски, по Ng интенсивность больше, чем по Nr. Удлинение положительное, угасание прямое. В сходящемся свете двусосный, положительный. Ось Ng ориентирована вдоль волокнистости. Оптические константы: n_g 1,547-1,558, n_p 1,534-1,550, $n_g - n_p$ 0,008-0,013 [2].

Люминесценция. Люминесцентные свойства продольноволокнистого хризотил-асбеста сходны с таковыми поперечноволокнистого. При возбуждении ультрафиолетовым светом ($\lambda=313 \text{ нм}$) люминесцируют с максимумами в области 470 нм только мягкие (нормальной прочности) разновидности хризотил-асбеста зеленого и золотистого цвета (рис. 2).

Мягкие хризотил-асбесты коричневого и черного цветов не люминесцируют. Жесткие (ломкие) разновидности хризотил-асбеста также характеризуются отсутствием свечения (аналитик Ю.А. Федоровских, институт Геологии и геохимии Уральского научного центра).

Спектры отражения. Спектрофотометрические измерения продольно- и поперечноволокнистого хризотил-асбеста, произведенные в видимой области (400-700 нм), показали идентичные результаты (рис. 3).

Наибольший коэффициент отражения (60-65%) получен для светлоокрашенных мягких разновидностей при длине волн 550-600 нм. В этой же области спектра у жесткого хризотил-асбеста коэффициент отражения составляет 47-48% (исследования выполнены В. П. Бакаевым в Уральском политехническом институте) [3].

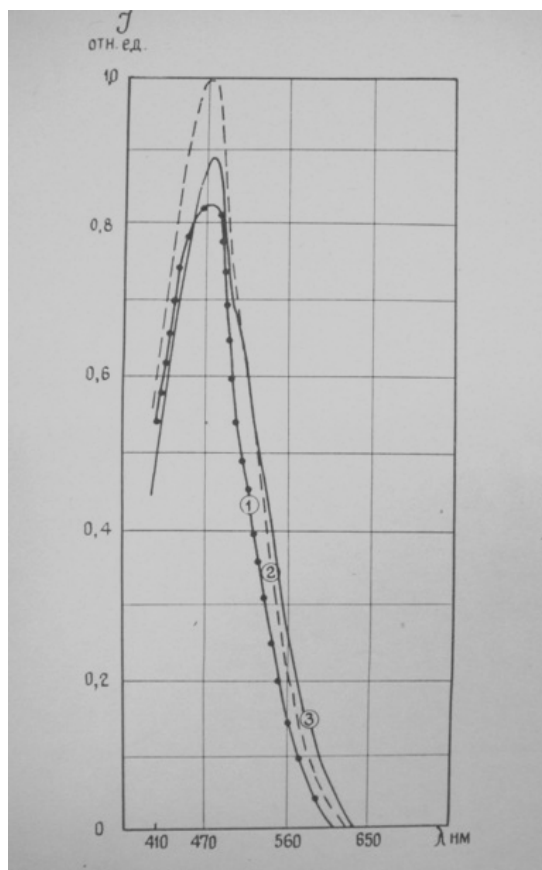


Рис. 2. Спектры люминесценции хризотил-асбестов: 1 –зеленый нормальной прочности продольноволокнистый; 2 – зеленый нормальной прочности поперечноволокнистый; 3 – золотистый нормальной прочности поперечноволокнистый

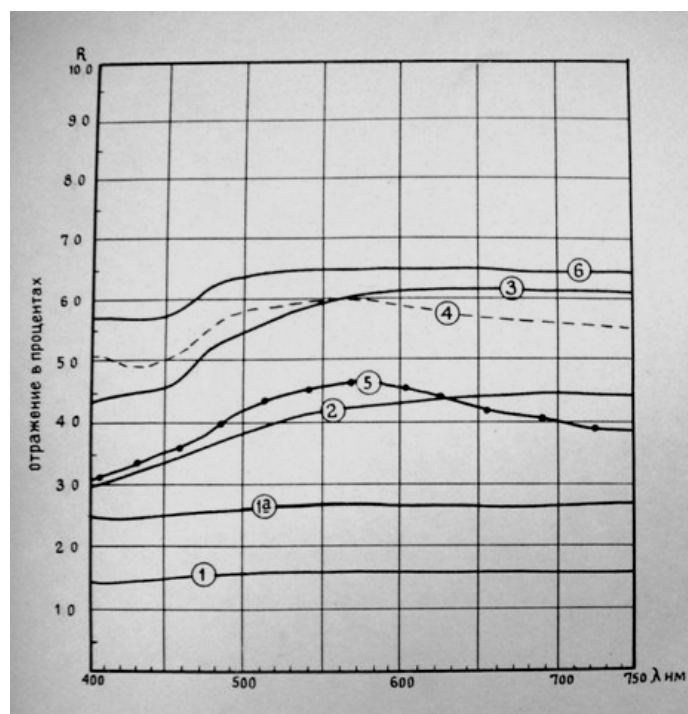


Рис. 3. Спектры отражения хризотил-асбестов: 1-4 - поперечноволокнистые нормальной прочности хризотил-асбесты (1 – черный, 1а – черный в распушенном состоянии, 2 – коричневый; 3 – золотистый, 4 – зеленый); 5 – поперечноволокнистый ломкий хризотил-асбест зеленого цвета; 6 – продольноволокнистый нормальной прочности хризотил-асбест белого цвета

Электронномикроскопия. На электронно-микроскопических снимках при увеличении в 17-19 тыс. раз мягкий продольноволокнистый хризотил-асбест по существу ничем не отличается от мягкого поперечноволоконистого. Дисперсные частицы имеют форму волокон, толщина которых изменяется от 180 до 480 Å, а внешние контуры ровные и гладкие (рис. 4). У некоторых из них виден осевой пролет, свидетельствующий о трубчатом строении (аналитик В.П. Аронскинд, Уральский горный университет).

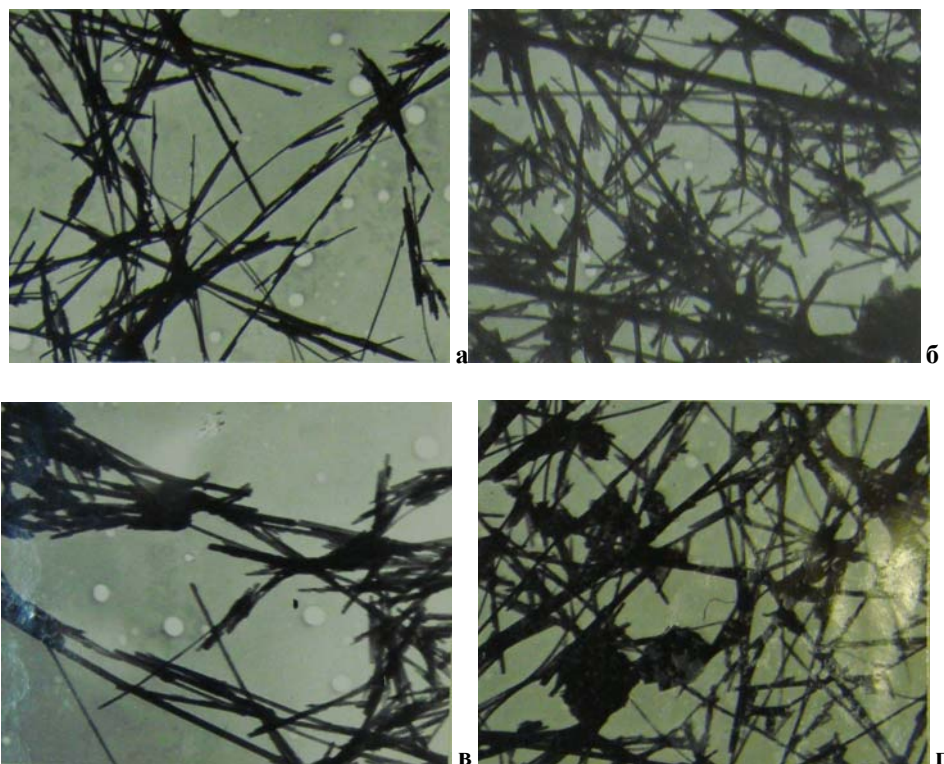


Рис. 4. Электронно-микроскопические снимки хризотил-асбестов: а – продольноволокнистый хризотил-асбест нормальной прочности, увел. 17000; б – продольноволокнистый хризотил-асбест ломкий, увел. 1800; в – поперечноволоконистый хризотил-асбест нормальной прочности, увел. 19200; г – поперечноволоконистый хризотил-асбест ломкий, увел. 17000

ИК-спектроскопия. При определении разновидностей хризотил-асбестов по прочности волокон наиболее информативной в ИК-спектрах является область $950-1100\text{ см}^{-1}$, отражающая состояние тетраэдрической сетки минерала. Согласно проведенным данным, в мягких (нормальной прочности) продольноволокнистых и поперечноволоконистых хризотил-асбестах структурообразующая кремнекислородная сетка наиболее упорядочена. В ИК-спектрах этих разновидностей четко выделяются три пика поглощения S-O связей в области $950-1100\text{ см}^{-1}$ с характерным соотношением интенсивности линий. В жестких (ломких) разновидностях продольноволокнистых и поперечноволоконистых хризотил-асбестах увеличиваются деформации в тетраэдрической сетки минерала, что проявляется в ИК-спектрах в увеличении числа пиков поглощения S-O связей в области $950-1100\text{ см}^{-1}$ до четырех. Интенсивности комбинирующих линий при этом имеют свои характерные отношения (аналитик Е.К. Варфоломеева, институт «ВНИИГеолнеруд») [4].

Механические свойства

Плотность естественного продольноволокнистого хризотил-асбеста составляет в среднем $2,47\text{ г/см}^3$, а плотность поперечноволоконистого от $2,34$ до $2,68\text{ г/см}^3$ [3].

Твердость. Исследования показали, что одни агрегаты продольноволокнистого хризотил-асбеста легко или с трудом царапают гипс, но практически никогда не оставляют царапин на кальците. Таким образом, продольноволокнистый хризотил-асбест характеризуется небольшой твердостью, которая варьирует, как и у мягкого поперечноволоконистого хризотил-асбеста высокой (нормальной) прочности, от 2 до 3. При прокаливании его твердость несколько повышается.

Расщепление. Продольноволокнистый хризотил-асбест, выделенный из кусковых агрегатов, обладает свойством расщепления (распушки) на тонкие мягкие волокна. В процессе термообработки способность распушки хризотил-асбеста изменяется. Так, если при температуре 20°C распушка, измеряемая в объемах навесок распушенного волокна в мл, составляет 4560 мл, то при 420°C она повышается до 5190 мл, а при 620°C снижается до 3600 мл (табл. 1). Изменение величины распушки волокна после нагревания при определенных температурах характерно и для других видов хризотил-асбеста (аналитик Н.Г. Рябова, институт «ВНИИпроектасбест») [2].

Таблица 1. Распушиваемость хризотил-асбеста при различных температурах нагревания

Хризотил-асбест (Баженовское месторождение)	Объем навески (в мл) распушенного волокна хризотил-асбеста после нагревания							
	20 ⁰ С	220 ⁰ С	320 ⁰ С	370 ⁰ С	420 ⁰ С	470 ⁰ С	5200 ⁰ С	620 ⁰ С
Продольноволокнистый нормальной прочности	4560	4640	4910	4780	5190	5300	4450	3600
Поперечноволоконный нормальной прочности	3500	3700	4000	4350	4660	5440	5000	3700
Поперечноволоконный пониженной прочности	5500	6870	6570	4570	4360	-	3140	3140
Поперечноволоконный ломкий	6560	6950	5800	-	6050	-	5260	4470

Гибкость. Волокна продольноволокнистого хризотил-асбеста нормальной прочности в естественном состоянии способны изгибаться при механическом воздействии, не нарушая при этом своей структуры, и при достаточной длине скручиваться в нить. При нагревании свыше 500-700⁰С или при обработке окислителями его волокна теряют гибкость, прочность и становятся хрупкими, ломкими.

Прочность на разрыв продольноволокнистого хризотил-асбеста была определена на машинке «Скотта» и составляет 36,3-66,6 кг/мм². Мягкий поперечноволоконный хризотил-асбест в таких же условиях имеет прочность 20,95-101,57 кг/мм² (аналитики В.П. Лузин, комбинат «Ураласбест», и Т.Н. Осинцева, ВНИИпроектасбест). При испытаниях было отмечено, что в одних случаях разрыв происходит точно посередине пучка, а в других – на некотором расстоянии от нее. Кроме того, встречаются такие агрегаты, у которых одни и те же волокна на одном конце разрываются без особого труда даже руками, а на другом попытки разорвать их остаются безуспешными. Наиболее прочными являются те части волокон, которые ближе расположены к вмещающей его породе. Все это свидетельствует о не всегда одинаковой прочности одного и того же волокна в разных его участках. Баженовский продольноволокнистый хризотил-асбест, подобно поперечноволоконному, способен расщепляться на тонкие прочные и гибкие волокна, которые при достаточной длине можно скручивать в нить.

Термические свойства

Изменение цвета. Образцы с естественной окраской продольноволокнистого хризотил-асбеста изменяют свою окраску при нагревании. Они сначала темнеют, затем при температуре 300-400⁰С становятся практически черными и при дальнейшем повышении температуры приобретают желтовато-бурую, светло-желтую или золотистую окраску. Изменение окраски происходит постепенно, поэтому на участке перехода от не нагретой части волокнистого агрегата к нагретой наблюдаются все вновь появляющиеся разновидности.

Изменение твердости. После прокалывания твердость продольноволокнистого хризотила-асбеста несколько повышается, а мягкие и прочные его волокна превращаются в хрупкие и упругие.

Изменение массы и плотности. В закрытой трубке продольноволокнистый хризотил-асбест выделяет воду. После удаления воды плотность его увеличивается и при полном обезвоживании она составляет 3,0-3,2г/см³. Потери при прокалывании продольноволокнистого хризотил-асбеста составляют 13,21-13,84%, мягкого поперечноволоконного – 13,4-14,0% (аналитики А.Н. Айзикович, Уральское территориальное геологическое управление, Е.П. Крайнева, институт «ВНИИпроектасбест»).

Электромагнитные свойства

Относительная диэлектрическая проницаемость мягкого продольноволокнистого хризотил-асбеста равна 28,0-29,6 (аналитик Н.Г. Рябова, институт «ВНИИпроектасбест»).

Объемная магнитная восприимчивость около 100×10^{-6} ед. СГСМ, удельная магнитная восприимчивость – 40×10^{-6} ед. СГСМ (аналитики В.П. Лузин В.П., комбинат «Ураласбест», В.П. Бакаев, Уральский горный университет).

Электрокинетический потенциал продольноволокнистого хризотил-асбеста положительный и варьирует от 0-1,2 до 37,1 (аналитик Г.К. Бызова, институт «ВНИИпроектасбест»). Метод определения электрокинетического потенциала в асбестодобывающей промышленности используется для косвенной оценки прочности асбестового волокна. Для мягких прочных хризотил-асбестов присущи положительные значения электрокинетического потенциала, а для пониженной прочности и ломкого – отрицательные значения.

Удельное электросопротивление продольноволокнистого нормальной прочности хризотил-асбеста в распушенном виде составляет от $0,95 \times 10^{-7}$ до $2,56 \times 10^{-7}$ Ом·см (аналитик Ю.А. Батулин, институт «ВНИИ асбестотехнических изделий»).

Химические свойства

Химический состав природного продольноволокнистого хризотил-асбеста, как и поперечноволокнистого хризотил-асбеста, по содержанию оксидов отличается от теоретического (MgO – 43,0%, SiO_2 – 44,1%, H_2O – 12,9%). В нем установлено наличие как базовых, так и примесных оксидов (% масс.): SiO_2 – 41,48; Al_2O_3 – 1,06; Fe_2O_3 – 0,60; FeO – 0,40; MnO – 0,23; MgO – 42,00; CaO – 0,18; Na_2O – 0; K_2O – 0,10; CO_2 – 0,08; NiO – 0,43 (аналитик Г.К. Бызова, институт «ВНИИпроектасбест»).

По содержанию MgO – 42% и SiO_2 – 41,48 % мягкий продольноволокнистый хризотил-асбест идентичен мягкому поперечноволокнистому, а от жесткого отличается повышенным содержанием MgO на 2,4-4,38%.

Устойчивость к агрессивным средам продольноволокнистого хризотил-асбеста была определена по его поведению в кислотах и щелочах. В результате было выявлено, что как в кислотах, так и в щелочах происходит его частичное растворение (табл. 2). При этом растворимость продольноволокнистого хризотил-асбеста при четырехчасовом кипячении в HCl плотностью 1,19 г/см³ не превышает 55,53-56,0%, а в 25% KOH – 0,75-1,24% (аналитик Т.М. Баталова, институт «ВНИИпроектасбест») [2].

Таблица 2. Растворимость хризотил-асбеста в HCl и KOH

Хризотил-асбест	Месторождение	Растворимость, %	
		HCl	KOH
Продольноволокнистый нормальной прочности	Баженовское	55,53-56,76	0,75-1,24
Поперечноволокнистый нормальной прочности	Баженовское	54,77	1,28
Поперечноволокнистый ломкий	Баженовское	55,71	6,62
Поперечноволокнистый пониженной прочности	Джетыгаринское	54,40	3,07
Поперечноволокнистый нормальной прочности	Киембаевское	52,73	2,30

Адсорбционная способность продольноволокнистого хризотил-асбеста, установленная по поглощению йода из водного раствора хлор-цинк-йода, равна 14,75-16,24 мг/г (аналитик Г.К. Бызова, институт «ВНИИпроектасбест» [2].

Величина pH продольноволокнистого хризотил-асбеста составляет 7,6-8,7 (аналитик Т.М. Баталова, институт «ВНИИпроектасбест»).

Изменение свойств продольноволокнистого хризотил-асбеста при воздействии окислителей. При обработке окислителями (H_2O_2 , HCl , HNO_3 , H_2SO_4) окрашенные разности природного продольноволокнистого хризотил-асбеста сначала постепенно меняют свою окраску на более светлую, а затем обесцвечиваются полностью. Одновременно хризотил-асбест теряет свою эластичность, становится хрупким и ломким (аналитик В.П. Лузин).

Распределение продольноволокнистого хризотил-асбеста по сортам

Содержание геологических сортов продольного волокна по залежам месторождения неравномерное и составляет (% масс.): АК и I сорта – от 0,0 до 0,001 (в среднем 0,001); II сорта – от 0,0 до 0,004 (в среднем 0,002); III сорта – от 0,0 до 0,33 (в среднем 0,018); IV сорта – от 0,01 до 0,08 (в среднем 0,05); V сорта – от 0,09 до 0,22 (в среднем 0,12); VI сорта – от 0,96 до 1,63 (в среднем 1,35); VII сорта – от 0,95 до 3,32 (в среднем 1,60).

Среднее содержание волокна продольноволокнистого хризотил-асбеста по сумме I-III сортов в целом по месторождению равно 0,021%, а по отдельным залежам оно различное и составляет от 0,0 (залежь Центральная) до 0,037% (залежь Северная).

Среднее содержание продольноволокнистого хризотил-асбеста по сумме I-VI геологических сортов по отдельным асбестоносным залежам варьирует от 1,17% (залежь Северная) до 1,90% (залежь Центральная), а в целом по всем залежам месторождения оно составляет 1,54%. В зоне руд продольноволокнистого хризотил-асбеста среднее содержание волокна по сумме I-VI геологических сортов геологических сортов меньше, чем в зонах руд поперечноволокнистого хризотил-асбеста. Например, оно меньше по сравнению с зоной отороченных жил в 1,29 раз (1,99%), с зоной крупной сетки в 2,86 раз (4,41%), с зоной мелкой сетки в 1,42 раз (2,18%).

Среднее содержание продольного волокна по сумме I-VII геологических сортов по залежам изменяется от 2,12% (залежь Северная) до 4,22% (залежь Центральная) и в целом составляет 3,14% [1].

Если рассматривать отдельно взятые пробы руд продольноволокнистого хризотил-асбеста, то можно отметить, что содержание в них волокна по сумме I-III сортов колеблется от 0,0 до 0,030%, по сумме I-VI сортов от 1,0 до 7,0%, а содержание VII сорта достигает 5% и больше.

По удельному выходу геологических сортов асбестового волокна зона асбестоносности с продольноволокнистым хризотил-асбестом в целом соответствует зоне асбестоносности типа мелкой сетки поперечноволокнистого хризотил-асбеста. Однако в зоне асбестоносности типа мелкой сетки

продольноволокнистого хризотил-асбеста концентрация длиноволокнистого хризотил-асбеста больше в два раза по сумме I-III сортов и в 1,4 раза по IV сорту по сравнению с зоной асбестоносности типа мелкой сетки поперечноволокнистого хризотил-асбеста (табл. 3).

Таблица 3. Удельный выход геологических сортов волокна хризотил-асбеста в рудах по зонам асбестоносности

Вид хризотил-асбеста в рудах	Зона асбестоносности	Выход геологического сорта волокна, в % к итогу				
		I-III	IV	V	VI	I-VI
Поперечноволокнистый	Отороченные жилы	3,06	4,75	11,26	80,93	100
Поперечноволокнистый	Крупная сетка	3,38	4,72	11,49	80,41	100
Поперечноволокнистый	Мелкая сетка	0,66	2,18	7,56	89,60	100
Продольноволокнистый	Мелкая сетка	1,38	3,01	7,77	87,84	100

Наличие длинных волокон в рудах с продольноволокнистым хризотил-асбестом подтверждается также горным анализом и соответствующими товарными группами асбеста, вырабатываемыми из этих руд. Горный анализ, применяемый для определения содержания хризотил-асбеста в перерабатываемых рудах на обогатительных фабриках, показывает, что остаток волокна на первом и вторых ситах (длина сторон квадратной ячейки этих сит соответственно составляет 12,7 и 4,8 мм) канадского аппарата в рудах с продольноволокнистым хризотил-асбестом составляет от 5-8 до 25-30% [1].

Технологические испытания

Технологические испытания продольноволокнистого хризотил-асбеста были проведены на возможность его обогащения (извлечения из руд) и применения в асбестоцементных изделиях.

Испытания по обогащению были проведены на 2-х пробах руд продольноволокнистого хризотил-асбеста. Одна проба № П-1 (валовая) была представлена рудой из вскрытой и разрабатываемой части залежи Пожарной. Обогащение ее было проведено в производственных условиях на фабрике № 3 комбината «Ураласбест». Другая проба № П-2 была составлена из 114 керновых проб руд продольноволокнистого хризотил-асбеста, отобранных при доразведке глубинных (не вскрытых) частей залежей Пожарной и Центральной. Обогащение руды пробы № П-2 было осуществлено в лабораторных условиях (в Центральной производственной лаборатории комбината «Ураласбест») по схеме геологического анализа с последующей оценкой извлеченного волокна на контрольном аппарате и определения содержания фракции минус 200 меш. В процессе испытаний продольное волокно хорошо извлекалось по традиционной схеме обогащения, которая применяется для поперечноволокнистого хризотил-асбеста, с использованием серийного технологического оборудования. Обогащенное волокно согласно требованиям ГОСТ 12871 «Асбест хризотилковый» было отнесено к марке асбеста А-4-30 из валовой пробы руды № П-1 и марке асбеста А-4-5 из керновой пробы руды № П-2 [5].

Испытания в производстве асбестоцементных изделий обогащенного продольноволокнистого хризотил-асбеста было проведено в Магнитогорском горнометаллургическом институте (аналитики Л.К. Фомченко и А.И. Елфимов). Для объективности этих испытаний одновременно в таких же условиях проводили испытание хризотил-асбеста марки П-4-30 (проба № П-4-30), полученной обогащением традиционных руд поперечноволокнистого хризотил-асбеста на фабрике № 5 комбината «Ураласбест». Результаты испытаний показали, что технические характеристики асбестоцементных изделий, изготовленных с применением продольноволокнистого хризотил-асбеста и поперечноволокнистого хризотил-асбеста, имеют практически одинаковые значения (табл. 4). Это позволило сделать заключение о возможном использовании продольноволокнистого хризотил-асбеста в асбестоцементной промышленности, например, в изготовлении асбестоцементных труб ВТ-9 [6].

Таблица 4. Свойства лабораторных образцов изделий, изготовленных с применением портландцемента в смеси с продольноволокнистым и поперечноволокнистым хризотил-асбестами

Хризотил-асбест, применяемый для изготовления асбестоцементного образца	Влажность свежеформованного листа, %	Средняя плотность, кг/м ³	Ударная вязкость, кг.см/см ²	Предел прочности, кг/см ²	
				На изгиб	На разрыв
Продольноволокнистый (проба № П-1)	36,1	1660	3,43	320	85,7
Продольноволокнистый (проба № П-2)	24,5	1620	3,18	315	106,0
Поперечноволокнистый (проба № П-4-30)	24,7	1580	3,43	318	87,5

Эффективность освоения продольноволокнистого хризотил-асбеста

До 1973 г. руды с продольноволокнистым хризотил-асбестом не использовались асбестодобывающей промышленностью из-за недостаточного изучения полезных свойств основного полезного ископаемого – продольноволокнистого хризотил-асбеста, на основании которого он считался непригодным для производства асбестоцементных изделий. По этой причине этот вид полезного ископаемого был отнесен к забалансовым запасам и при эксплуатации месторождения вывозился в отвалы пустых пород. Однако выполненный комплекс минералогических, физических, химических и технологических исследований показал, что по технической (технологической) характеристике продольноволокнистый хризотил-асбест сходен с поперечноволокнистым хризотил-асбестом и может быть использован в промышленности. Принимая во внимание отмеченные выше исследования и их положительные результаты, комбинат «Ураласбест» начал с 1973 г. проводить добычу руд продольноволокнистого хризотил-асбеста и переработку их на обогатительных фабриках до 3-5 млн. тонн в год. В отдельные месяцы на некоторых фабриках количество перерабатываемых руд продольноволокнистого хризотил-асбеста достигало 38%. Рекламаций на качество асбестовой продукции, вырабатываемой из нетрадиционного для нашей страны асбестового сырья (продольноволокнистого хризотил-асбеста), в адрес комбината от потребителей не поступало.

Учитывая заинтересованность асбестодобывающей промышленности в сырье продольноволокнистого хризотил-асбеста, Министерство геологии СССР в период 1975-1984 гг. во время завершения детальной разведки запасов хризотил-асбеста Баженовского месторождения в проектных контурах карьеров Уральского горно-обогатительного комбината и по флангам этого месторождения осуществило перевод запасов продольноволокнистого хризотил-асбеста из забалансовых в балансовые запасы. Это способствовало увеличению балансовых запасов по категориям В, С₁ и С₂ асбестовых руд на 22% за счет руды продольноволокнистого хризотил-асбеста и запасов асбестового волокна на 15% за счет продольноволокнистого хризотил-асбеста.

Запасы продольноволокнистого хризотил-асбеста по кат. В+С₁ Баженовского месторождения по количеству превосходят запасы поперечноволокнистого хризотил-асбеста наиболее крупных, хорошо известных на Среднем Урале таких месторождений, как Красноуральского, Режевского, Лесного, Алапаевского и Луковского вместе взятых, а также превышают запасы Саянского месторождения в Красноярском крае и Ильчирского месторождения в Республике Бурятия.

Таким образом, освоение руд продольноволокнистого хризотил-асбеста: улучшает рациональное использование недр месторождения; увеличивает запасы асбестового сырья на месторождении и увеличивает его стоимость; уменьшает извлечение из недр традиционного асбестового сырья, представленного рудами поперечноволокнистого хризотил-асбеста; существенно компенсирует ощущающийся недостаток в рудах с поперечноволокнистым хризотил-асбестом при эксплуатации месторождения; сокращает добычу асбестовых руд из отвалов-хранилищ; приводит к значительной экономии не только текущих, но и капитальных затрат в меру снижения объемов добычи балансовых руд и соответствующего снижения вскрышных пород [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Лузин В.П. Использование руд продольноволокнистого хризотил-асбеста // Реферативная информ., сер. «Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов». Вып. 4. М.: ВНИИЭСМ, 1976. С. 26-32.
2. Лузин В.П. Использование продольноволокнистого хризотил-асбеста // Реферативная информ., сер. «Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов». Вып. 2. М.: ВНИИЭСМ, 1976. С. 28-32.
3. Бакаев В.П., Лузин В.П. Спектры отражения хризотил-асбеста Баженовского месторождения // Реферативная информ., сер. «Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов». Вып. 12. М.: ВНИИЭСМ, 1976. С. 14-17.
4. Варфоломеева Е.К., Ивойлова Э.Х., Лузин В.П. Изучение природных хризотил-асбестов методом ИК-спектроскопии // Известия академии наук СССР. Сер. Геологическая. 1983. № 8. С. 112-118.
5. Лузин В.П. К обогатимости руд продольноволокнистого хризотил-асбеста // Проблемы повышения эффективности добычи и обогащения асбеста: Межвуз. научн. темат. сб. Вып.1. Свердловск: изд-во УПИ, 1977. С. 50-52.
6. Лузин В.П., Елфимов А.И., Фомченко Л.К. Результаты технологических испытаний в асбестоцементных изделиях продольноволокнистого хризотил-асбеста Баженовского месторождения // Проблемы повышения эффективности добычи и обогащения асбеста: Межвуз. научн. темат. сб. Вып.1. – Свердловск: изд-во УПИ, 1977. С. 76-79.
7. Лузин В.П. Асбесты. Нетрадиционные направления использования // Нетрадиционные виды минерального сырья. М.: Недра, 1990. С. 235-241.
8. Лузин В.П., Коуров В.А., Казанцев Ю.Т., Бадулин А.П. Экономическая эффективность использования дополнительных запасов асбестовых руд // Изв. вузов. Горный журнал. 1981. № 11. С. 24-27.