

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Алексеев В.П.** Классический литолого-фациальный анализ как базовый метод при изучении состава, строения и условий формирования раннемезозойских отложений Западно-Сибирской плиты // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск, 2003. Т.1. С. 145-150.
2. **Верификация генетических реконструкций** посредством количественной обработки литологической информации (на примере отложений тюменской свиты Шаимского района Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна) / Алексеев В.П., Федоров Ю.Н., Балахонов В.С., Газалеев С.С., Кошевой В.Н., Печеркин М.Ф., Русский В.И., Свечников Л.И. // Проблемы геологии и географии Сибири: Вестник ТГУ. 2003. № 3 (II). С. 221-223.
3. **Волков В.Н., Полевский Ю.С., Сергеев А.С., Тарасова И.П.** Введение в металлогению горючих ископаемых и углеродсодержащих пород: Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 248 с.
4. **Значимость и разрешающая способность** литолого-фациального анализа при изучении терригенных отложений: проверка гипотезы / Алексеев В.П., Русский В.И., Федоров Ю.Н., Газалеев С.С., Печеркин М.Ф., Свечников Л.И. // Геология угольных месторождений. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2003. Вып. 13. С. 55-66.
5. **Металлогения и геохимия** угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения / В.Р. Клер, В.Ф. Ненахова, Ф.Я. Сапрыкин и др. М.: Наука, 1988. 256 с.
6. **Металлы в осадочных толщах.** М.: Наука. Ч. 1, 1964. 446 с.; ч. 2, 1965. 392 с., ч. 3, 1966. 326 с.
7. **Методика** литолого-фациальных исследований угленосных отложений (на примере изучения триас-юрских угленосных формаций азиатской части СССР): Свердловск, 1986. 63 с. (Препринт / УНЦ АН СССР)
8. **Шванов В.Н.** Структурно-вещественный анализ осадочных формаций (начала литомографии). СПб.: Недра, 1992. 230 с.
9. **Юдович Я. Э.** Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.
10. **Юдович Я.Э., Кетрис М.П.** Основы литохимии. СПб: Наука, 2000. 479 с.

УДК 549.623.7:553.676.2

В.А. Зырянов, П.В. Свергунов, Г.Ф. Тюменцева

ОСОБЕННОСТИ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО СОСТАВА АСБЕСТОНОСНЫХ ПОРОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА НА ДЖЕТЫГАРИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Джетыгаринское месторождение хризотил-асбеста связано с одноименным массивом ультрабазитов притобольско-аккаргинского комплекса.

По данным геологоразведочных работ в пределах массива выявлено 9 залежей хризотил-асбеста, главной из которых является Основная, заключающая в себе более 80 % запасов месторождения [1, 5, 6].

Залежь представляет собой плитообразное тело с изменяющейся мощностью от 30-90 м на север до 450 м на юге, протягивающееся в субмеридиональном направлении около 4 км.

Со стороны лежачего бока она примыкает к Малому ядру перидотитов с полосами и шширами дунитов. Вдоль всячего крыла залежи прослеживаются серпентиниты с просечками асбеста, ограничивающие асбестовое оруденение, сменяющиеся далее к востоку рассланцованными серпентинитами с дайками плагиогранитов и кварцевых диоритов, фиксирующих зону разлома. Под острым углом через среднюю часть асбестоносной залежи проходит будинированная родингитизированная дайка диорит-порфиритов.

В геологическом строении Основной залежи, кроме перидотитов, принимают участие дуниты, образующие с перидотитами шширово-полосчатый комплекс.

Как показали исследования обрабатываемых горизонтов, первичные породы, слагающие залежь, превращены в серпентиниты разного состава, среди которых сохраняются ядра частично серпентинизированных перидотитов.

По составу среди серпентинитов выделены существенно лизардитовые, хризотил-лизардитовые и существенно хризотиловые разности.

Главной особенностью минерального состава серпентинитов Джетыгаринского месторождения, отличающего его от Баженовского и, особенно, от Киембаевского, является широкое развитие лизардита и практически полное отсутствие антигорита.

Как и на Баженовском месторождении, являющемся образцом классической зональности в распределении серпентиновых минералов [4], на Джетыгаринском месторождении наблюдается вполне определенная направленность аллометаморфической серпентинизации по мере изменения первичных ультрабазитов и серпентинитов в ходе асбестообразования. Она выражается в изменении структуры и состава серпентинитов. Особенно отчетливо это проявляется в изменении структуры лизардитовых серпентинитов: от секториально-пластинчатой и конвертообразной через мозаичную и решетчато-игольчатую до отчетливой клиновидной, что связано с постепенной трансформацией β -лизардита через δ - и γ -лизардиты в хризотил (классификация серпентинов, по А.С. Варлакову [3]). Вследствие этого, по мере углубления процесса серпентинизации, повышается роль породообразующего хризотила вплоть до полного вытеснения лизардита хризотилом: β -лизардитовые серпентиниты переходят в хризотил – β - δ - γ -лизардитовые с различным соотношением этих разностей и далее – в хризотиловые.

Одновременно с изменением состава серпентинитов изменяется и характер жилкования хризотил-асбеста.

В периферийной части залежи, сложенной полностью или существенно β -лизардитовыми серпентинитами, локализуется асбестоносность типа просечек и мелкопрожила. β -лизардитовые серпентиниты слагают и более приближенные к центру участки залежей, но только в тех случаях, когда асбестоносность представлена сериями тесно сближенных субпараллельных прожилков (сложные и сложные отороченные жилы), которые пользуются на Джетыгаринском месторождении подавляющим преимуществом. При этом β -лизардитом сложена только внутренняя часть жил между прожилками хризотил-асбеста. В неасбестоносных серпентинитах, разделяющих сложные жилы, наравне с β -лизардитом появляется δ - и γ -лизардиты и породообразующий хризотил.

Отгорочки в зонах сложных отороченных жил сложены лизардит-хризотиловыми (с различным соотношением β -, γ - и δ -лизардитов) или существенно хризотиловыми серпентинитами, а в ядрах частично серпентинизированных перидотитов развиты α - и, реже, β -лизардиты.

Асбестоносность типа мелкой сетки связана с лизардит-хризотиловыми и существенно хризотиловыми серпентинитами, если она представлена простыми жилками, и существенно лизардитовыми, если сетка образована сериями тонких субпараллельных прожилков, напоминающих маломощные сложные жилы.

В зонах крупной сетки и простых отороченных жил лизардитовый состав серпентинитов не характерен: изредка это лизардит-хризотиловые (причем лизардит представлен, главным образом, δ - и γ -лизардитами), но чаще существенно хризотиловые серпентиниты. В ядрах перидотитов, как и в зоне сложных отороченных жил, развит в основном α -лизардит и в меньшей мере – β -лизардит.

Такой своеобразный состав серпентинитов, служивших асбестогенерирующей средой, не мог не отразиться на качестве и физико-химических свойствах хризотил-асбеста: на месторождении преобладают коротковолокнистые более жесткие разности, которые труднее распушиваются в процессе изготовления асбестоцементных изделий [7].

Для оценки физико-химических и механических свойств хризотил-асбеста использован комплекс методов, включающий термический анализ и инфракрасную спектроскопию поглощения, определение содержаний окисного и закисного железа и окрашивание волокна водным раствором хлор-цинк-йода, определение агрегативной связности волокон методом крутильных колебаний и механической прочности асбеста путем распушки.

По основным свойствам (табл. 1) волокно относится к хризотил-асбесту нормальной прочности, однако по целому ряду параметров имеет довольно четкие отличия от эталонного баженовского. Так, ИК-спектры поглощения, обладающие высокой чувствительностью к изменению структуры хризотил-асбеста, в области валентных колебаний иона $[\text{SiO}_4]^{4-}$ с частотами 1070, 1020 и 950 см^{-1} обнаруживают его сходство по характеру связей Si-O-Si с асбофитом (рис. 1), что, на наш

взгляд, может обуславливать более высокую жесткость и агрегативную связность волокон. Кроме того, жесткость волокну придается примесью немалита, находящегося в тесном срастании с волокнами, главным образом в зонах простых отороченных жил и крупной сетки, где его количество может достигать 12,9-14,1 % (табл. 1). Этот немалит (брусит) не отделяется при подготовке проб к анализу и наблюдается макроскопически и под бинокляром в виде тонких пленочек и налетов вдоль волокнистости. Вероятно, совместно с немалитом (бруситом) присутствует примесь магнезита, фиксируемая термическим анализом (см. табл. 1).

Содержание слабосвязанной воды для большинства проб составляет 1,0-1,2 %, что выше, чем в эталонном хризотил-асбесте высокой прочности (0,8 %).

Максимум эндотермического эффекта на дифференциальных кривых нагревания, обусловленного дегидроксилизацией и разрушением кристаллической решетки, характерный для хризотил-асбеста высокой прочности при температуре 700-705 °С, в джетыгаринском асбесте протекает при более низкой температуре (680-690 °С) (рис. 2).

По агрегативной связанности волокон хризотил-асбест достаточно неоднороден. При ультразвуковой диспергации в водной среде хризотил-асбестовый агрегат разрушается, образуя водную асбестовую суспензию различной вязкости, колебательные характеристики которой могут достигать состояния твердого тела (СТТ). При этом чем легче асбестовый агрегат расщепляется на отдельные волокна, тем быстрее достигает состояния твердого тела [2]. Как показали исследования, легче всего разрушаются агрегаты волокон хризотил-асбеста из зоны крупной сетки и простых отороченных жил, связанных с хризотилowymi серпентинитами (СТТ достигается в среднем за 2,2 и 4,0 мин. соответственно), в то время как агрегат волокон зоны сложных жил и мелкопрожила разрушается после 6,0-7,5 мин. диспергации (см. табл. 1).

Распушка волокна на лабораторном распушителе (скорость вращения ротора 2000 об/мин.) с последующими замерами удельной поверхности и фракционного состава через каждую минуту также обнаружила различную устойчивость хризотил-асбеста к разрушающему воздействию (рис. 3). В волокне из лизардитовых серпентинитов зоны мелкопрожила удельная поверхность асбеста увеличивается медленно и незначительно, в то время как из других типов руд (крупной сетки, простых и сложных отороченных жил), сложенных лизардит-хризотилowymi и существенно хризотилowymi серпентинитами, удельная поверхность очень интенсивно возрастает в течение первой минуты и продолжает увеличиваться, но в несколько замедленном темпе. Это свидетельствует о более высокой механической прочности хризотил-асбеста из лизардитовых серпентинитов зоны мелкопрожила.

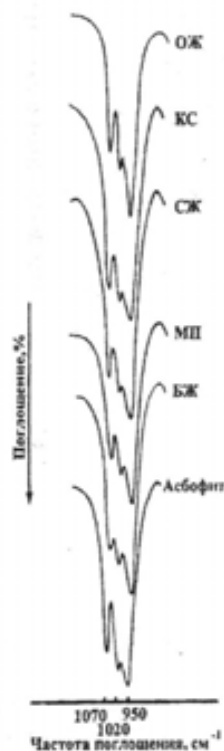


Рис. 1. Инфракрасные спектры поглощения хризотил-асбеста из различных зон асбестоносности:

ОЖ – отороченные жилы, КС – крупная сетка, СЖ – сложные жилы, МП – мелкопрожил, БЖ – хризотил-асбест Баженовского месторождения

Таблица 1

Физико-химические показатели хризотил-асбеста из различных типов руд

Зона асбестоносности и состав серпентинитов	Количество анализов	Термоаналитические характеристики				Химические компоненты, %	Потери при прокаливании, %	Колебательные характеристики водной суспензии, мин.			
		интервал разрушения кристаллической структуры, °С						время достижения СГТ	время сохранения СГТ		
		содержание, %		FeO	h						
слабосвязанной воды	немалита	магнезита	Fe ₂ O ₃			FeO	h				
Простые отороченные жилы в существенно хризотилловых серпентинитах	3	0,8-1,2 1,0	1,3-14,1 7,7	0-1,8 0,6	109-115	2,06	1,04	65,0	14,4-15,7 15,2	4,0	10-15 13,0
Крупная сетка в существенно хризотилловых серпентинитах	10	0,8-1,2 1,0	0,7-12,9 1,9	0,9-2,3 1,2	112-130	1,66	0,84	63,6	14,0-16,0 14,6	1,0-5,5 2,2	9-25 15,6
Мелкая сетка в lizardит-хризотилловых серпентинитах	5	0,8-1,2 1,0	0-1,4 0,3	0-2,2 0,4	118-130	1,79	0,70	68,8	13,9-14,5 14,2	1-9,0 6,0	13-21 15,2
Сложные отороченные жилы в lizardит-хризотилловых серпентинитах	4	0,7-0,8 0,8	0-2,6 0,6	0	121-130	1,85	0,64	71,9	14,0-14,1 14,0	5,5-7,5 6,5	15-19 17,2
Сложные жилы в хризотил-lizardитовых серпентинитах	2	1,0-1,2 1,1	0-10,2 5,1	0	121-124	1,95	0,70	71,6	14,1-15,5 14,8	4,9 6,0	12-15 13,5
Мелкопрожил в lizardитовых серпентинитах	2	1,0-1,1 1,0	0	0-1,1 0,5	121-130	1,52	0,54	73,1	14,2-14,5 14,3	4-11 7,5	16,0

Примечание. В числителе – диапазон колебаний, в знаменателе – среднее значение; h – степень окисления железа; СГТ – состояние твердого тела.

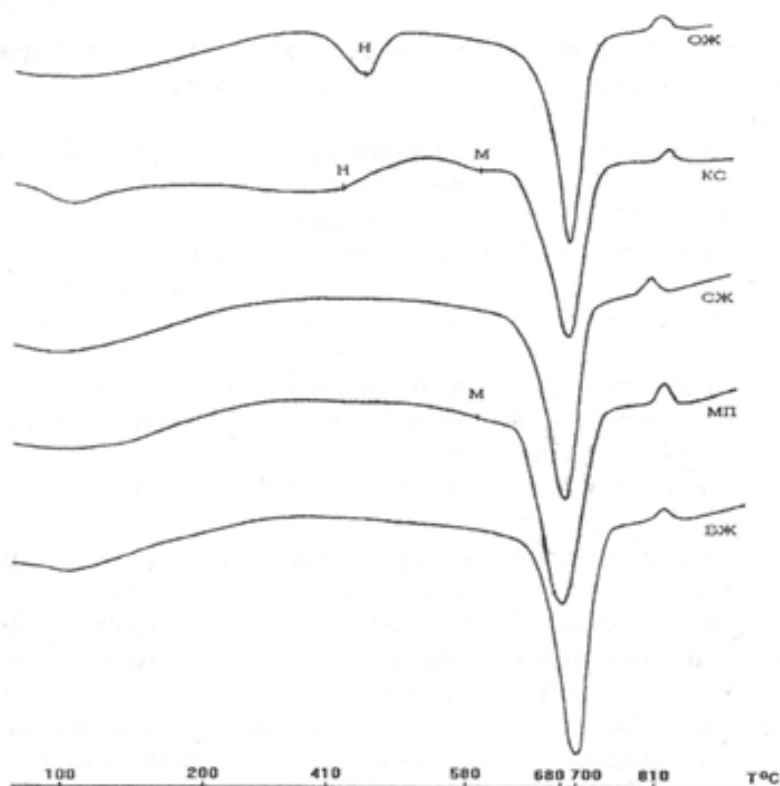


Рис. 2. Дифференциальные кривые нагрева хризотил-асбеста: Н – немалит, М – магнезит, остальные обозначения на рис. 1

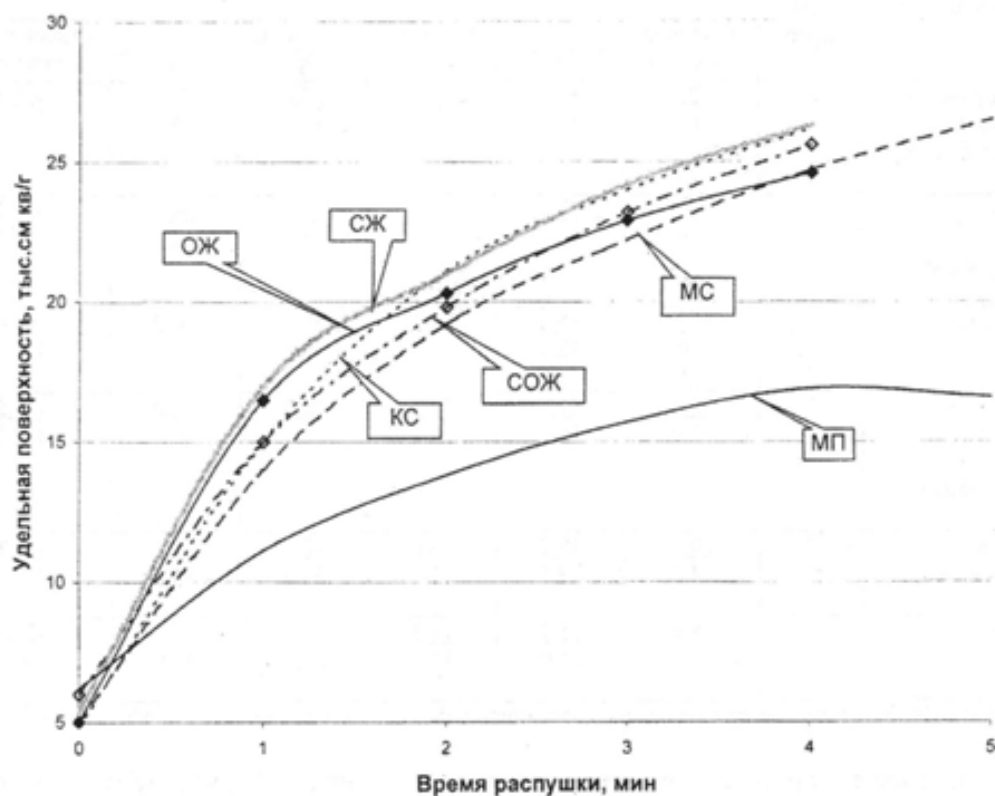


Рис. 3. Зависимость удельной поверхности волокна от времени распушки в различных типах

руд:

ОЖ – одиночные отороченные жилы; КС – крупная сетка; СОЖ – сложные отороченные жилы; СЖ – сложные жилы; МП – мелкопрожил

Подтверждением этому служит и изменение фракционного состава хризотил-асбеста при распушке: содержание длиноволокнистой фракции уменьшается, а тонкодисперсной – увеличивается (табл. 2).

При этом если содержание длиноволокнистой фракции уменьшается на 11,5-33,3 % относительных, то прирост тонкодисперсной фракции в хризотил-асбесте различных типов асбестонности колеблется от 41,7 до 205,0 % относительных.

Следовательно, происходит некоторое переизмельчение или различная способность волокна противостоять разрушающему воздействию. Наиболее стойким (более прочным) является хризотил-асбест из лизардитовых серпентинитов (зона мелкопрожила), а менее прочным – из хризотилитовых (зона крупной сетки).

Таким образом, исследования показали, что петрографический состав пород, степень и типы их серпентинизации являются асбестогенерирующей средой, обуславливающей не только различные типы асбестонности, но и различное качество хризотил-асбеста.

Значительные отличия коротковолокнистого хризотил-асбеста типа мелкопрожила по большинству физико-химических свойств от других типов руд, а также постоянная его связь с лизардитовыми серпентинитами не только на Джетыгаринском, но и на других месторождениях баженовского генетического подтипа свидетельствуют о том, что асбестонность мелкопрожильного типа формировалась в совершенно иной геотермической и физико-химической обстановке. В отличие от “Баженовского” месторождения, где рудообразующий процесс завершился антигоритизацией с последующим образованием жил хризотил-асбеста, а следовательно, при более высокой температуре, на “Джетыгаринском” он завершился хризотилизацией в условиях повышенной щелочности среды. О щелочной среде кристаллизации хризотил-асбеста свидетельствует наличие в нем вдоль волокнистости вrostков немалита.

Таблица 2

Изменение фракционного состава хризотил-асбеста от времени распушки

Типы асбестонности	Количество проб	Содержание фракций, %					
		исходное волокно	время распушки, мин.				относительное изменение, %
			1	2	3	4	
Одиночные (отороченные) жилы в перидотитах с полосами хризотилитовых серпентинитов	2	<u>72,0</u>	<u>61,0</u>	<u>57,5</u>	<u>55,0</u>	<u>50,0</u>	<u>-30,5</u>
		9,0	14,5	17,0	18,7	19,9	121,0
Крупная сетка в хризотилитовых серпентинитах с ядрами перидотитов	3	<u>80,0</u>	<u>71,0</u>	<u>65,3</u>	<u>60,7</u>	<u>58,3</u>	<u>-27,1</u>
		6,0	11,0	13,7	15,5	18,3	205,0
Мелкая сетка в лизардит-хризотилитовых серпентинитах	2	<u>65,5</u>	<u>65,0</u>	<u>63,5</u>	<u>56,5</u>	<u>54,0</u>	<u>-15,0</u>
		8,0	12,5	14,5	16,5	19,2	140,0
Сложные отороченные жилы в лизардит-хризотилитовых серпентинитах с ядрами перидотитов	1	<u>52,0</u>	<u>51,0</u>	<u>51,0</u>	<u>49,0</u>	<u>46,0</u>	<u>-11,5</u>
		13,0	16,0	18,8	22,0	30,5	134,5
Сложные жилы в хризотил-лизардитовых серпентинитах	2	<u>50,5</u>	<u>48,0</u>	<u>46,0</u>	<u>42,5</u>	<u>42,0</u>	<u>-16,8</u>
		14,0	17,5	22,5	27,0	31,5	125,0
Мелкопрожил в лизардитовых серпентинитах	2	<u>18,0</u>	<u>15,5</u>	<u>14,5</u>	<u>13,5</u>	<u>12,5</u>	<u>-33,3</u>
		23,0	25,0	27,0	28,5	32,6	41,7

Примечание. В числителе – содержание длиноволокнистой фракции, в знаменателе – тонкодисперсной.

Асбестонность просечек и мелкопрожильного типа сформировалась в процессе β-лизардитизации, возникшей на ранней стадии аллометаморфической серпентинизации, при пониженной щелочности среды, которая не способствовала возникновению немалита (см. табл. 1).

О том, что хризотил-асбест может формироваться даже при автотаморфической серпентинизации, отмечается в работе П.М. Татарнинова [8, с. 16].

1. **Артемов В.Р., Черемных Н.С., Наумов А.И., Шишкова Л.Я.** Джетыгаринское месторождение // Месторождения хризотил-асбеста СССР. М.: Недра, 1967. С. 115-163.
2. **Башта К.Г., Гурьев А.С.** О возможности определения качества хризотил-асбеста методом крутильных колебаний // Науч. тр. / ВНИИпроектасбест. Асбест, 1981, вып. 23. С. 3-6.
3. **Варлаков А.С.** Петрология процессов серпентинизации гипербазитов складчатых областей. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 217 с.
4. **Варлаков А.С., Зырянов В.А.** Серпентинизация гипербазитов и формирование месторождений хризотил-асбеста // Зап. Всерос. минер. об-ва. 2000. Часть 129, № 1. С. 3-15.
5. **Джафаров Н.Н.** Хризотил-асбест Казахстана. Алматы, 2000. 180 с.
6. **Джафаров Н.Н., Джафаров Ф.Н.** Джетыгаринское месторождение хризотил-асбеста // Полезные ископаемые Джетыгаринского рудного района (Кустанайское Зауралье). Алматы: Алем, 2002. – С. 124-150.
7. **Перлин В.Д., Грачева О.И., Зевин Л.С.** Исследование структуры, физико-химических и механических свойств хризотил-асбеста как сырья для асбестоцементной промышленности // Неметаллические полезные ископаемые гипербазитов. М.: Наука, 1973. С. 111-120.
8. **Татарinov П.М.** Генетические типы месторождений хризотил-асбеста // Месторождения хризотил-асбеста СССР. М.: Недра, 1967. С. 16-25.