



ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАСОМАТИТОВ СЕРПЕНТИНИТОВОЙ ФОРМАЦИИ БАЖЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТА

PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE SERPENTINITE FORMATION METASOMATITES OF THE BAZHENOVSKOYE CHRYSOTILE-ASBESTOS DEPOSIT

АЛЕКСЕЕВ А.Ф.

Доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии
Уральского государственного горного университета, к.г.-м.н.,
г. Екатеринбург, Alekseev_af@e1.ru

ГРЯЗНОВ О.Н.

Заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и
геоэкологии Уральского государственного горного университета,
д.г.-м.н., профессор, г. Екатеринбург, Gryaznov.O@ursmu.ru

ALEKSEEV A.F.

Associate professor of the department of hydrogeology, engineering geology
and geoecology of the Ural State Mining University, PhD (candidate of
science in Geology and Mineralogy), Yekaterinburg, Alekseev_af@e1.ru

GRYAZNOV O.N.

Head of the department of hydrogeology, engineering geology and
geoecology of the Ural State Mining University, PhD (doctor of science in
Geology and Mineralogy), professor, Yekaterinburg, Gryaznov.O@ursmu.ru

Ключевые слова:

хризотил-асбест; серпентиниты; метасоматиты; перидотиты;
физико-механические свойства; асбестоносность;
Баженовское месторождение хризотил-асбеста.

Key words:

chrysotile-asbestos; serpentinites; metasomatites; peridotites;
physical-mechanical characteristics; asbestos content;
Bazhenovskoye Chrysotile-Asbestos Deposit.

Аннотация

**В статье рассмотрены основные черты геологии
Баженовского месторождения хризотил-асбеста, степень
серпентинизации перидотитов, типы серпентинитов по
минеральному составу, типы асбестоносности, физико-
механические свойства пород.**

Месторождения хризотил-асбеста, условия их образования и закономерности размещения изучены достаточно хорошо. Вместе с тем окolorудные серпентиниты и сопряженный с ними асбест впервые рассмотрены в качестве единой рудоносной метасоматической формации в монографии [3].

Серпентинизация — чрезвычайно широко распространенный процесс изменения ультраосновных пород складчатых областей независимо от их состава, происхождения и возраста. Петрогенетическим вопросам этой важной проблемы посвящено множество отечественных и зарубежных публикаций. Серпентинизация проявляется в двух видах — региональном и локальном. В первом случае она отражает ранние процессы регионального метаморфизма, во втором выступает как более поздний процесс около- и пострудного преобразования пород. Промышленно асбестоносными [6] являются высокомагнезиальные альпинотипные гипербазиты дунит-гарцбургитовой ассоциации (Баженовского, Джетыгаринского, Киембаевского месторождений) и отчасти умеренно магнезиальные породы пироксенит-перидотитового ряда (Мойвинского месторождения).

Все массивы альпинотипных гипербазитов (Кемпирсайский, Халиловский, Хабарнинский и др.) дунит-гарцбургитовой формации, располагаясь во внутренней части Уральской складчатой области, контролируются Главным уральским глубинным разломом первого порядка, проходящим по границе миогеосинклинальной и эвгеосинклинальной зон, и глубинными разломами второго порядка, разделяющими крупные тектонические структуры (Тагило-Магнитогорский прогиб и Восточно-Уральское поднятие, Восточно-Уральское поднятие и Восточно-Уральский прогиб). На стыках региональных поднятий и прогибов масси-

Abstract

**The article considers the main geological features of the
Bazhenovskoye Chrysotile-Asbestos Deposit, the
serpentinization degree of the peridotites, types of the
serpentinites by the mineral composition, types of the asbestos
content, physical-mechanical characteristics of the rocks.**



вы образуют пояса протяженностью в сотни километров. Примерами могут служить Серовско-Невьянский (Восточно-Тагильский массив и др.), Асбестовско-Алапаевский (Алапаевский, Режевской, Баженовский массивы), Полтавско-Киембайский (Киембайский массив и др.) и Джетыгаринско-Аккаргинский (Джетыгаринский массив и др.) пояса [4].

Размещение месторождений хризотил-асбеста определяется вещественным составом ультраосновных пород и геолого-тектонической позицией массивов. Среди гипербазитов Урала преобладают перидотиты типа гарцбургитов. Месторождения хризотил-асбеста локализуются в гарцбургитовых, дунит-гарцбургитовых или пироксенит-гарцбургитовых массивах при воздействии на них гранитоидов. Под влиянием геосинклинальных гранитоидов базальтоидного происхождения образуются средние и мелкие месторождения баженовского и лапинского подтипов, а при воздействии орогенных сиалических гранитоидов — крупные и уникальные месторождения хризотил-асбеста баженовского подтипа. При этом месторождения формируются на уровне апикальных и

средних частей массивов гранитоидов. Асбестообразование происходит в результате воздействия на гарцбургиты постмагматических растворов. Выделяют три возрастные группы месторождений хризотил-асбеста в ультраосновных породах дунит-гарцбургитовой формации Урала: позднесилурийскую — раннедевонскую (425–380 млн лет), позднедевонскую — раннетурнейскую (380–345 млн лет) и позднепалеозойскую (320–260 млн лет). Баженовское, Джетыгаринское, Киембайское и другие месторождения относятся к третьей группе.

Баженовское месторождение приурочено к восточному эндоконтакту одноименного массива ультраосновных пород, прорванных интрузивом верхнепалеозойских гранитов. На месторождении выделено 36 крупных залежей. Их длина по простиранию варьирует от 20 м до 4,5 км при изменении мощности от 40 м до 1,4 км. В плане их форма неправильная, эллипсоидная или линзообразная; в вертикальном разрезе — трубовидная или чашеобразная (для эродированных тел). Залежи характеризуются зональным строением (рис. 1). В центре располагается ядро неасбестоносных серпентинизиро-

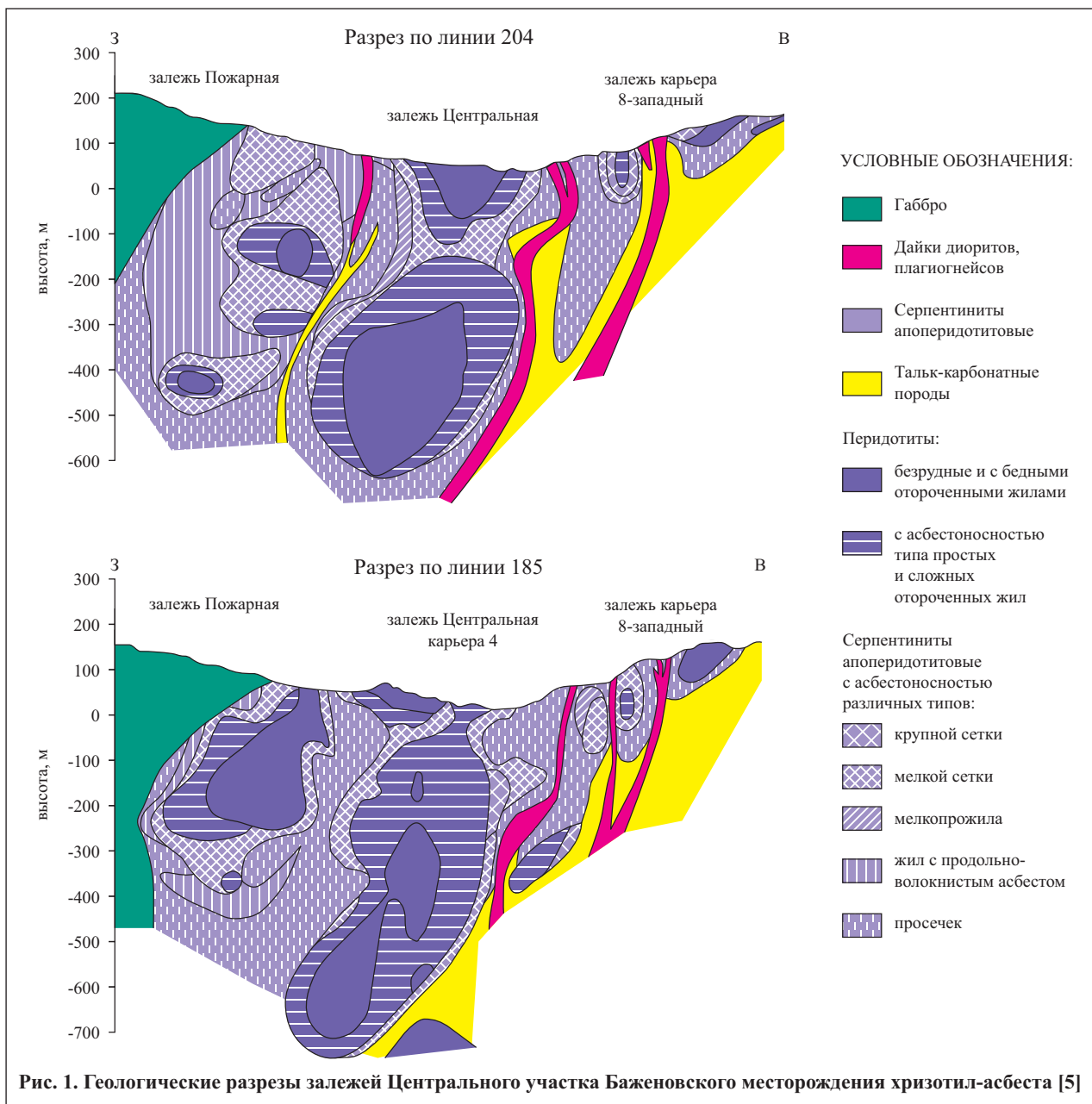


Рис. 1. Геологические разрезы залежей Центрального участка Баженовского месторождения хризотил-асбеста [5]

ванных пироксеновых дунитов или перидотитов, а при их отсутствии — перидотитов с отороченными жилами асбеста. От ядра к периферии прослеживается смена типов асбестоносности: отороченные жилы, крупная и мелкая сетка, мелкопрожилок, серпентиниты с просечками поперечно- и продольно-волокнистого асбеста. Далее следуют рассланцованные серпентиниты и дайки гранитоидов. Последние фиксируют зоны рудоконтролирующих разломов. Встречаются залежи с асбестоносностью одного-двух типов [2, 5].

Хризотил-асбест развивается по регионально серпентинизированным гипербазитам при различной интенсивности дорудного изменения пород и сопровождается локальной околожильной (околорудной) серпентинизацией.

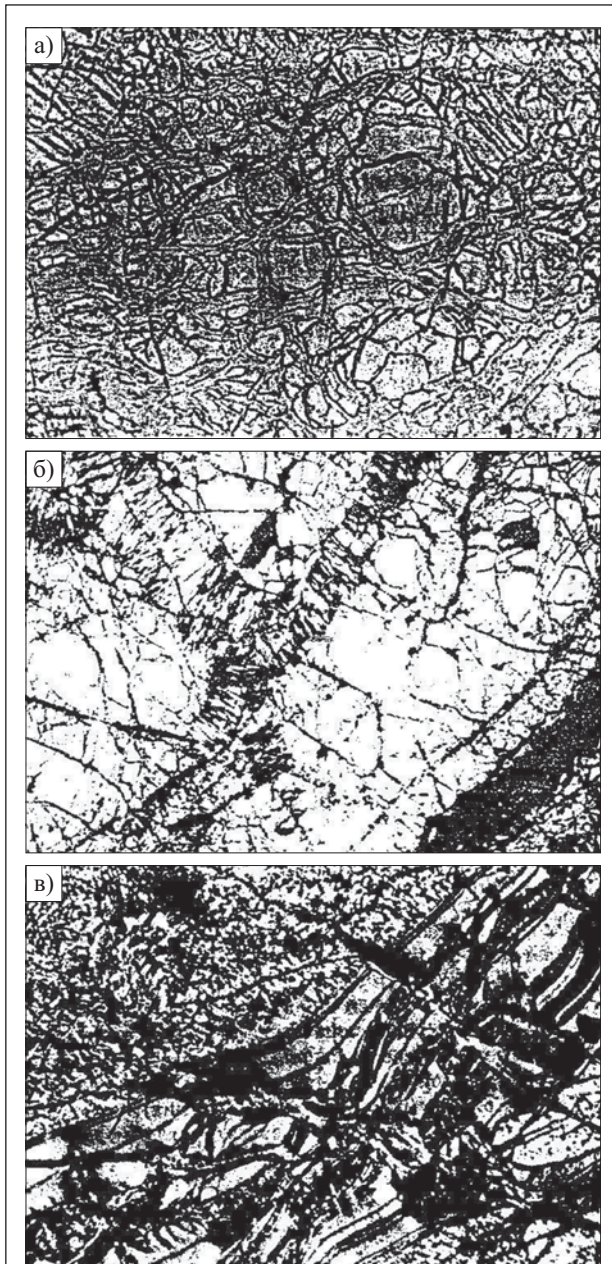


Рис. 2. Замещение оливина петельчатым лизардитом (а), гребенчатым антигоритом (б) при зеленокаменном метаморфизме и развитие ленточного лизардита при зеленосланцевом метаморфизме гипербазитов (в). Увеличение 30 (а — без анализатора; б, в — с анализатором)

Региональная (дорудная) серпентинизация ультраосновных пород проявляется на ранних этапах развития складчатых зон. Массовое преобразование ультраосновных пород происходит в период их внедрения в земную кору и по времени совпадает с рифтогенно-геосинклинальной стадией развития подвижных поясов и становлением в земной коре пород офиолитовой ассоциации. Метаморфизм ультраосновных пород этой стадии выражается в их равномерной первичной петельчатой серпентинизации. Эта первичная петельчатая серпентинизация отождествляется авторами с зеленокаменным типом регионального метаморфизма и впервые подробно описана в специальной монографии [7].

В зонах зеленокаменного перерождения гипербазиты подвергаются петельчатой лизардитизации, частично и реже — первичной антигоритизации. Такая ранняя серпентинизация характеризуется прежде всего своей незавершенностью, что выражается в частичном замещении главных породообразующих минералов (в основном оливина, так как пироксен на этой стадии метаморфизма более устойчив к явлениям серпентинизации) петельчатым лизардитом и гребенчатым антигоритом (рис. 2). В результате в таких частично лизардитизированных и антигоритизированных серпентинитах хорошо сохраняются первичные структуры и текстуры исходных материнских пород. Второй особенностью описываемой серпентинизации является отсутствие в породах магнетита, свойственного продуктам более поздних стадий преобразования гипербазитов.

Локальная серпентинизация относится к околорудному метасоматозу (по Д.С. Коржинскому) и выступает в качестве рудообразующего процесса, с которым генетически связано формирование хризотил-асбеста. Она развивается в прогрессивных условиях среднетемпературного метасоматоза при воздействии постмагматических растворов на регионально серпентинизированные гипербазиты. Первично серпентинизированные породы при этом перекристаллизуются с образованием лизардита-2, а затем хризотила и микроантигорита. Лизардитизация сопровождается выделением магнетита. Одновременно с хризотилизацией пород происходило переотложение выщелоченных компонентов и образование в трещинах жил хризотил-асбеста (рис. 3). Между мощностью жил и шириной серпентинитовых оторочек устанавливаются определенные соотношения, зависящие от состава первичных гипербазитов, степени их дорудного преобразования и интенсивности «рудной» хризотилизации. Конечный результат серпентинизации гипербазитов — возникновение пострудного антигорита. Основываясь на петрографической характеристике серпентинитов, метасоматическую колонку гидротермальной серпентинизации с хризотил-асбестом по автосерпентинизированному гарцбургиту можно представить в следующем виде: оливин, лизардит-1, антигорит-1, бастит, хромшпинелид — лизардит-2, магнетит — хризотил, антигорит-2, магнетит — хризотил-асбест, магнетит [3]. Серпентинизация осуществляется под воздействием растворов с температурой ниже 370 °С при варьирующем давлении воды и рН раствора. Дорудная лизардитизация и хризотилизация вызываются слабокислыми растворами, а отложения хризотил-асбеста — слабощелочными.

Изучение физико-механических свойств гипербазитов в зависимости от степени и минерального типа сер-



пентинизации на примере перидотитов Баженовского месторождения выявило интересные закономерности.

Общее количество проб перидотитов составило 147, серпентинитов — 145. По степени серпентинизации перидотиты разделены на три группы — слабо-, средне- и сильносерпентинизированные. На первую группу (до 30% серпентиновых минералов по объему) пришлось 69 проб, на вторую (30–70%) — 49, на третью (более 70%) — 29. Минимальные, максимальные и средние значения показателей физико-механических свойств трех групп перидотитов и серпентинитов приведены в таблице. Ее анализ свидетельствует, что с увеличением степени серпентинизации перидотитов происходит снижение средних значений плотности, коэффициента крепости, предела прочности на сжатие, скорости продольных волн и модуля упругости при одновременном увеличении пористости и водопоглощения.

Физико-механические свойства перидотитов наряду со степенью серпентинизации зависят также от минерального типа серпентинизации, т.е. от состава и свойств серпентиновых минералов (рис. 4). В направлении «антигоритовые — лизардитовые — хризотилитовые серпентиниты» (через смешанные разности) уменьшаются плотность, коэффициент крепости, предел прочности на сжатие, скорость продольных волн, модуль упругости и увеличивается водопоглощение пород.

В процессе региональной и локальной (гидротермально-метасоматической) серпентинизации перидотитов Баженовского месторождения хризотил-асбеста происходит последовательная перестройка структур горных пород, что отражается на их физико-механических свойствах. На раннем этапе серпентинизации гипидиоморфнозернистая структура перидотита трансформируется в мелкопетельчатую в связи с замещением оливина лизардитом первой генерации. Это приводит к снижению плотности и модуля упругости. При замещении лизардита-1 антигоритом первой генерации мелкопетельчатая структура

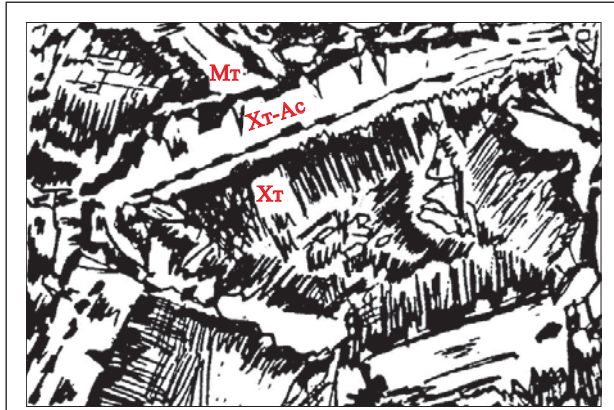


Рис. 3. Характер развития волокнистого хризотила (Хт) в зальбандах прожилков хризотил-асбеста (Хт-Ас). Зарисовка шлифа (увеличение 50). Мт — магнетит

перекристаллизовывается в крупнопетельчатую (решетчатую). Это обуславливает повышение плотности и модуля упругости у антигоритизированных серпентинитов.

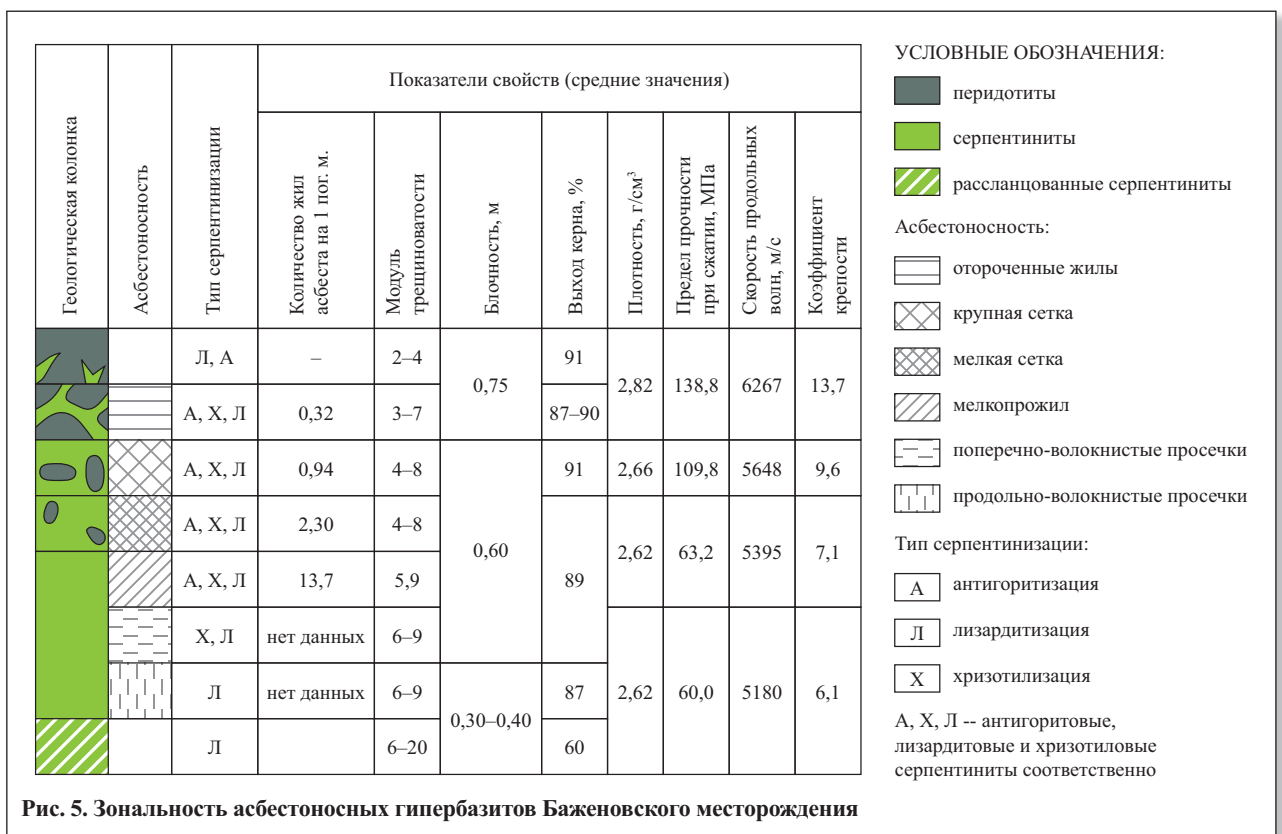
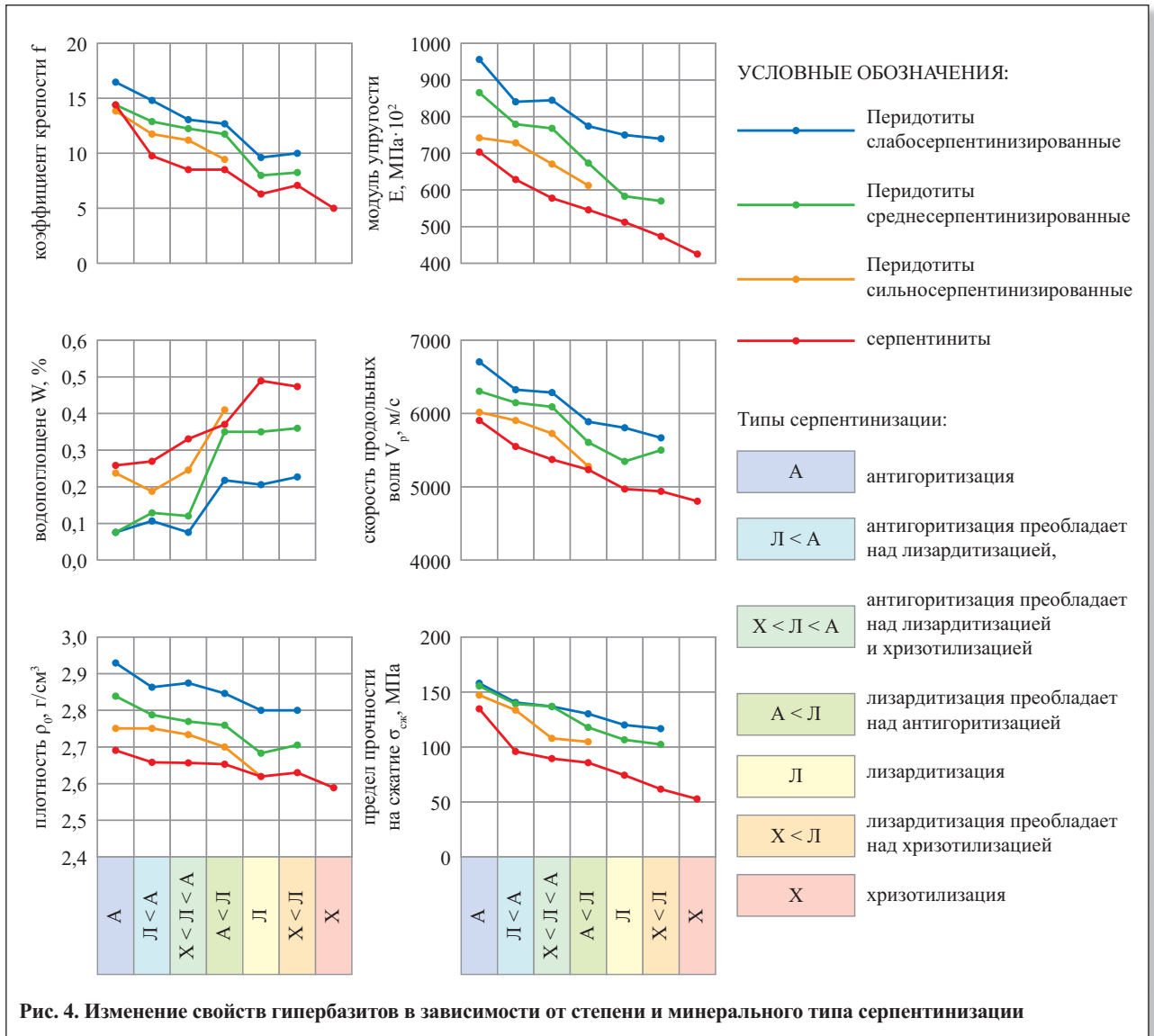
На этапе гидротермально-метасоматической серпентинизации пластинчатый лизардит второй генерации замещает реликты первичных минералов, что приводит к снижению показателей плотностных и механических свойств серпентинитов. На стадии прогрессивного метасоматоза петельчато-пластинчатые, решетчатые и другие структуры лизардита-1 и -2, антигорита-1 сменяются игольчатыми, лейстовидными, брусчатыми структурами антигорита второй генерации. Перекристаллизация сопровождается уплотнением пород и повышением прочности вновь образованных антигоритовых серпентинитов.

Конечным результатом процесса гидротермально-метасоматической серпентинизации является кристаллизация хризотил-асбеста вследствие переотложения компонентов, выщелоченных при антигоритизации-лизардитизации-хризотилизации перидотитов в трещин-

Таблица

Изменения физико-механических свойств перидотитов в зависимости от степени серпентинизации											
Группа пород	Количество серпентиновых минералов по объему, %	Индекс серпентинизации	Физико-механические свойства*								
			ρ , г/см ³	n, %	W, %	$f_{кр}$ без-разм	σ_p , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	V_p , м/с	E , МПа×10 ²	μ , без-разм
Слабосерпентинизированные перидотиты	<30	I	2,73	0,34	0,01	6,7	8,7	67,9	5184	623,6	0,21
			3,02	3,32	0,41	25,0	32,4	192,7	7250	1138,0	0,32
			2,86	1,11	0,14	13,2	19,4	136,0	6187	824,7	0,29
			(65)	(53)	(43)	(51)	(46)	(62)	(63)	(53)	(51)
Среднесерпентинизированные перидотиты	30–70	II	2,64	0,69	0,03	6,0	9,1	75,0	4810	465,5	0,27
			2,89	3,65	0,50	23,6	42,8	196,6	6673	951,3	0,34
			2,77	1,49	0,16	12,0	20,5	132,8	5956	733,4	0,30
			(46)	(30)	(25)	(45)	(28)	(48)	(42)	(33)	(33)
Сильносерпентинизированные перидотиты	70–100	III	2,58	0,70	0,08	7,5	14,5	86,0	4270	500,0	0,25
			2,88	3,27	0,73	26,3	30,6	191,9	6314	879,7	0,34
			2,72	1,57	0,26	11,9	19,3	126,1	5652	669,1	0,301
			(27)	(20)	(19)	(22)	(16)	(20)	(26)	(21)	(21)
Серпентиниты (оливин и пироксен отсутствуют)	100	IV	2,45	0,38	0,03	3,3	5,5	7,7	2818	451,6	0,19
			3,02	7,69	1,85	22,9	38,1	235,5	6690	850,2	0,37
			2,65	1,74	0,36	8,9	14,1	83,0	5279	641,2	0,30
			(144)	(112)	(70)	(126)	(81)	(112)	(99)	(23)	(23)

* ρ — плотность (объемная масса); n — общая пористость; W — водопоглощение; $f_{кр}$ — коэффициент крепости; $\sigma_{сж}$ — предел прочности при сжатии; σ_p — предел прочности при растяжении; V_p — скорость продольных волн; E — динамический модуль упругости; μ — коэффициент Пуассона. В ячейках для всех показателей сверху вниз указаны минимальное, максимальное и среднее значения, в скобках — количество определений.





ных структурах (разломах, зонах разномасштабной трещиноватости). При этом различные типы асбестоносности локализуются в различных минеральных типах серпентинитов — антигорит-хризотил-лизардитовых, хризотил-лизардитовых и лизардитовых. Показатели физико-механических свойств уменьшаются от первого к последнему типу асбестоносности (рис. 5).

Отметим, что результаты изучения прочностных характеристик хризотил-асбеста по удельному сцеплению (C) и углу внутреннего трения (ϕ) свидетельствуют о более высокой прочности поперечноволоконнистого асбеста по сравнению с продольноволокнистым [1].

Выводы


1. Баженовское месторождение хризотил-асбеста образовалось при воздействии постгранитных гидротермальных растворов на регионально серпентинизированные гипербазиты.

2. Развитие хризотил-асбеста в трещинных структурах перидотитов обусловлено переотложением компонентов, выщелоченных при локальной гидротермально-метасоматической (околожильной) серпентинизации.

3. Асбестовые залежи построены зонально. От регионально серпентинизированных перидотитов к серпентинитам регистрируется смена типов асбестоносности: отороченные жилы в перидотитах — крупная сетка — мелкая сетка — мелкопрожил — поперечноволоконнистые и продольноволокнистые прожилки в серпентинитах.

4. Различные типы асбестоносности локализуются в различных минеральных типах серпентинитов — антигорит-хризотил-лизардитовых, хризотил-лизардитовых и лизардитовых.

5. Показатели физико-механических свойств уменьшаются в направлении «регионально серпентинизированные перидотиты — слабосерпентинизированные перидотиты — среднесерпентинизированные перидотиты — сильносерпентинизированные перидотиты — серпентиниты», а также в направлении от первого к последнему типу асбестоносности (по зональности тел).

6. Более высокими показателями прочности (C , ϕ) характеризуются поперечноволоконнистые хризотил-асбесты по сравнению с продольноволокнистыми. 

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.Ф.* Методика и результаты испытаний на сдвиг по прожилкам хризотил-асбеста // Известия вузов. Горный журнал. 1987. № 6. С. 9–12.
2. Вопросы методики поисков, разведки и промышленной оценки месторождений хризотил-асбеста: методические рекомендации. Свердловск: Изд-во УТГУ Мингео РСФСР, 1976.
3. *Грязнов О.Н.* Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 253 с.
4. *Золоев К.К.* Месторождения хризотил-асбеста в гипербазитах складчатых поясов. М.: Недра, 1975.
5. *Золоев К.К. и др.* Баженовское месторождение хризотил-асбеста: монография / под ред. К.К. Золоева, Б.А. Попова. М.: Недра, 1985. 271 с.
6. *Золоев К.К., Ранопорт М.С., Попов Б.А. и др.* Геологическое развитие и металлогения Урала. М.: Недра, 1981. 256 с.
7. *Кейльман Г.А., Золоев К.К.* Изучение метаморфических комплексов. М.: Недра, 1989. 207 с.

ЖУРНАЛ

- о людях
- о землетрясениях
- о неустойчивых склонах и оползнях
- о вулканах
- о наводнениях и ураганах
- ...
- о прогнозировании и предупреждении ЧС
- о важности работы изыскателей



ЖУРНАЛ
GeoRisk

Тел./факс: +7 (495) 366-2684, 366-2095
e-mail: pr@geomark.ru