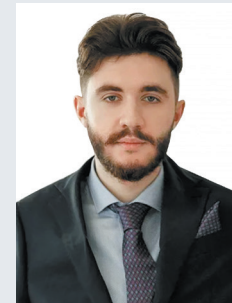


Продолжение. Начало статьи читайте в №1 2022 г.

Код МРНТИ 52.45.03

С.Е. Пуненков<sup>1</sup>Ю.С. Козлов<sup>2</sup><sup>1</sup>Публичное акционерное общество «Уральский асбестовый горно-обогатительный комбинат» (г. Асбест, Россия),<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия)

## ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОВОЙ ОТРАСЛИ

**Аннотация.** В статье дается анализ состояния и перспектив развития хризотил-асбестовой отрасли в России, Казахстане, Канаде, Бразилии и других странах, диверсификации этих производств, применения комплексной переработки при добыче и обогащении хризотил-асбестовых руд. Описаны процессы серпентинизации и асбестообразования на месторождениях. Даны характеристики геолого-промышленных типов месторождений хризотил-асбеста, показаны достоинства месторождений хризотил-асбеста Баженовского подтипа. Рассматриваются методы и технологии добычи, обогащения, переработки хризотил-асбестовых руд, а также применение хризотил-асбеста в промышленности. Приведен обзор рынка производства и потребления хризотил-асбеста и фракционного щебня.

**Ключевые слова:** хризотил-асбест, ресурсосбережение, рыночная экономика, диверсификация производства, асбестовые горно-обогатительные предприятия, группы обогатимости, отходы, стабилизирующие добавки, фракционный щебень, порода, минерал.

### Хризотил-асбест және хризотил-асбест саласындағы ресурстарды үнемдеу

**Аңдатпа.** Мақалада Ресейдегі, Қазақстандағы, Канададағы, Бразилиядағы және басқа елдердегі хризотил-асбест өнеркәсібінің жағдайы мен даму перспективаларына, осы салаларды әртарапандыруға, хризотил-асбест өнеркәсібін өндіру мен байытуда кешенді өңдеуді қолдану талдауы қарастырылған асбест кендері. Кен орындарында серпентинизация және асбест түзілу процестері сипатталған. Хризотил-асбест кен орындарының геологиялық және өнеркәсіптік түрлерінің сипаттамасы берілген, Баженов типті хризотил-асбест кен орындарының артықшылықтары көрсетілген. Хризотил-асбест кендерін алу, байыту, өңдеу әдістері мен технологиялары, сонымен қатар хризотил-асбесттің өнеркәсіпте қолданылуы қарастырылған. Хризотилді асбест пен фракциялық қиыршық тасты өндіру және тұтыну нарығына шолу берілген.

**Түйінді сөздер:** хризотил-асбест, ресурс үнемдеу, нарықтық экономика, өндірісті әртарапандыру, асбест өндіру және өңдеу кәсіпорындары, байыту топтары, қалдықтар, тұрақтандырушы қоспалар, фракциялық қиыршық тас, тау жыныстары, минерал.

### Chrysotile-asbestos industry – production from mining to enrichment

**Abstract.** The article provides an analysis of the state and prospects for the development of the chrysotile-asbestos industry in Russia, Kazakhstan, Canada, Brazil and other countries, the diversification of these industries, the use of complex processing in the extraction and enrichment of chrysotile-asbestos ores. The processes of serpentinization and asbestos formation in the deposits are described. The characteristics of geological and industrial types of chrysotile-asbestos deposits are given, the advantages of chrysotile-asbestos deposits of the Bazhenov subtype are shown. The methods and technologies of extraction, enrichment, processing of chrysotile-asbestos ores, as well as the use of chrysotile-asbestos in industry are considered. An overview of the market for the production and consumption of chrysotile asbestos and fractional crushed stone is given.

**Key words:** chrysotile-asbestos, resource saving, market economy, diversification of production, asbestos mining and processing enterprises, enrichment groups, waste, stabilizing additives, fractional crushed stone, rock, mineral.

Баженовское месторождение хризотил-асбеста находится в г. Асбест Свердловской области. Месторождение разрабатывается с 1889 г., оно приурочено к одноименной интрузии гипербазитов, входящей в состав восточной полосы габбро-перидотитовых интрузий Среднего Урала. Разведанные запасы хризотил-асбеста составляют 63,9 млн т со средним содержанием асбеста в руде 2,39%, первого сита контрольного аппарата (К.А.) 0,07%; 2 сита К.А. – 10,89%; 3 сита К.А. – 52,0% (данные 2019 г.). Утвержденные запасы в объеме 695,02 тыс. т асбеста категории

В+С; разубоживание на контакте – 0,37% (хризотил-асбест I-VI, I-III).

Площадь залежи месторождения 19,6 км<sup>2</sup>. Размер рудных тел (50-250) × (150-1500) м; площадь гипербазитивных массивов гнейсо-мигматитовых комплексов, карбонатной толщи, вмещающих месторождения асбеста – 70 км<sup>2</sup>; количество рудных тел – 24. Протяженность действующего карьера Баженовского месторождения хризотил-асбеста составляет 8 км; ширина карьера – 1,8 км; глубина – 350 м (проектная – 700 м); протяженность железнодорожных путей в карьере – 214 км.

Общая площадь, занятая горными работами, составляет 40 км<sup>2</sup>. Асбестоносность на залежи в основном представлена в виде отороченных жил, крупной сеткой, мелкой сеткой, также встречаются мелкопрожилки и просечки. Жилкование волокна представлено как поперечным, так и продольным волокном. На месторождении разрабатываются Южный и Центральный участки, залежи: 8б, 8а, 2б, 2а, Кремлевско-Николаевская, Глубинная 4, Фабрика 2, Пожарная, 7-я, Управленская, 2/б, Южно-Карловская, 2-я Старая, Грязновская и т. д. Вмещающие

породы – перидотиты, серпентиниты, габбро, диориты и талькокарбонатные породы. Коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова – от 8 до 19; объемная масса – от 2,5 т/м<sup>3</sup> до 3,1 т/м<sup>3</sup>.

Классификация руд Баженовского месторождения хризотил-асбеста по обогатимости представлена следующим образом: I группа – легкообогатимые, II – хорошообогатимые, III – среднеобогатимые, IV – труднообогатимые, убогие – очень труднообогатимые. Каждая группа обогатимости отличается геологическими (состав вмещающих

пород, зоны асбестоносности, содержание I-IV геологических сортов, степени асбестинизации, длины волокна по содержанию I-III геологических сортов, разновидности хризотил-асбеста по механической прочности) и технологическими характеристиками (удельный расход волокна на выработку 1 т товарного хризотил-асбеста; расход руды, т/т; извлечение хризотил-асбеста из руды в товарную продукцию, %; выход товарного асбеста из переработанной руды, %) (табл. 3).

*Баженовский ультраосновной массив* вытянут в меридиональном

направлении, имеет линзообразную форму и общую площадь примерно 75 км<sup>2</sup>. Массив сложен перидотитами типа гарцбургитов (в южной части) и пироксенитами-диаллагитами, вебстеритами, энстатитами (в северной части). С западной части к нему примыкают габбро, а с востока и юга он ограничивается гранитами. Ультраосновные породы массива были подвержены серпентинизации, карбонатизации и оталькованию<sup>1-3</sup>. Добыча горной массы и хризотил-асбестовой руды ведется на Центральном и Южном карьерах по западному и восточному борту, а

**Таблица 3 (часть 1)**  
**Группы обогатимости Баженовского месторождения хризотил-асбеста**

*Баженов хризотил-асбест кен орнын байыту топтары*

*Кесте 3 (1 бөлім)*

*Enrichment groups of Bazhenov chrysotile asbestos deposit*

*Table 3 (Part 1)*

Группа обогатимости	Наименование руды	Основные залежи	Состав вмещающих пород	Типы асбестоносности
I	Легкообогатимая	Управленческая, 77-я, 8а, 8-Западная, 2/6	Исходными породами являются перидотиты. Состав серпентинитов антигорит-хризотилитовый и существенно хризотилитовый	Крупная сетка, богатые отороченные жилы
II	Хорошообогатимая	Управленческая, 7я, 8а, 8-западная, 11-я, 2/6,2б	Перидотиты с небольшой долей полосчатого комплекса, умеренные изменения в виде антигоритизации. Появление пирроаурита и шегренита	Отороченные жилы, крупная сетка с меньшим содержанием и длиной волокна
III	Среднеобогатимая	2-я Старая, 0а, 2б, Глубинная-4, Северная, 7-я, Управленческая, 4-я, 2/6	Серпентиниты сложного состава (от лизардитовых до лизардит-хризотил-антигоритовых, неоднородный состав исходных пород)	Мелкая сетка, бедные отороченные жилы с малой длиной волокна
IV	Труднообогатимая: а) балансовая руда	Щучья, Южно-Карловская, Грязновская, Школьная, Кремлевско-Николаевская	Полосчатый дунито-перидотитовый комплекс, повышенная антигоритизация и сложных по состав серпентинитов	Бедные отороченные жилы, бедная мелкая сетка
	б) руда с продольным волокном (ПВ), ломким, выветрелым, в дунитах, аподунитах	Все руды залежи с асбестом пониженной прочности (все бедные балансовые руды)	Рассланцованные в различной степени β-лизардитового состава с бруситом и немалитом	Мелкая сетка с продольноволокнистым и аподунитовым асбестом
Убогая руда	Очень труднообогатимая	Все руды залежи (законтурные руды)	Неоднородный состав исходных пород и серпентинитов повышенная тектоническая проработка пород, низкое содержание асбеста, постородные изменения хризотил-асбеста, отсутствие 1-3 геологических сортов	Мелкая сетка, отороченные жилы с преобладанием продольноволокнистых жил

<sup>1</sup>Кочнев Д.В. Исследование зависимостей показателей товарного асбеста от характеристик руды и режимов обогащения. / Дисс. канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2013. – 197 с.

<sup>2</sup>Золов К.К., Попов Б.А. Баженовское месторождение хризотил-асбеста. – М.: Недра, 1985. – 271 с.

<sup>3</sup>Месторождения хризотил-асбеста СССР. – М.: Недра, 1967. – 512 с.

Таблица 3 (часть 2)  
Группы обогатимости Баженовского месторождения хризотил-асбеста

Кесте 3 (2 бөлім)

Баженов хризотил-асбест кен орнын байыту топтары

Table 3 (Part 2)

Enrichment groups of Bazhenov chrysotile asbestos deposit

Группа обогатимости	Разновидность хризотил-асбеста	Содержание геологических сортов, %		Расход волокна т/т	Долевое соотношение, %	Прирост расхода, доли ед.
		1-6	1-3			
I	Преобладает нормальный хризотил-асбест	4,1	более 0,15	0,650	15,5	1,00
II	Нормальный в смеси с измененным хризотил-асбестом	2,85	не менее 0,080	0,810	18,2	1,25
III	Смесь нормального с полумломким хризотил-асбестом	2,45	не менее 0,022	0,950	34,7	1,46
IV	Пониженной прочности в смеси нормального, продольноволокнистого, ломкого, полумломкого асбеста	1,54	менее 0,022	1,1	13,8	1,71
	Продольно-волокнистый, ломкий, выветрелый асбест	1,73	0,028	1,1	2,7	
Убогая руда	Пониженной прочности в смеси с другими разновидностями	1,16	–	2,5	15,3	3,84

также в траншеях, на горизонтах с отметками от (+ 182) м до (– 118) м.

На разрабатываемом Баженовском месторождении хризотил-асбеста встречается три вида расположения в жилах асбестовых агрегатов по отношению к стенкам (трещинам) асбестосодержащих пород: поперечноволокнистый, продольноволокнистый и косоволокнистый хризотил-асбест. На месторождении преобладают два первых вида, но наиболее распространен поперечноволокнистый хризотил-асбест. Продольноволокнистый хризотил-асбест подразделяется на два типа волокон: мягкий и жесткий (ломкий): чем больше содержание оксида магния, тем волокно жестче. Продольное волокно больше сосредоточено в Северной залежи месторождения. Из минералов на месторождении, распространенных в жилах, хризотил-асбест можно спутать с немалитом (бруситом) и волокнистым пикралитом.

Отличительная особенность Баженовского месторождения, в сравнении с Житикаринским и Кимбаевским, – длиноволокнистый хризотил-асбест (длина его (крюд-асбест) может быть более 18 мм).

Баженовское месторождение разрабатывает Уральский асбестовый горно-обогатительный комбинат. На предприятии, входящем в структуру основных производств, работает

более 4000 человек. Проектная мощность асбестообогатительной фабрики №6 – 550 тыс. т хризотил-асбеста 0-7 групп. За 2019 г. произведено хризотил-асбеста в виде товарной продукции 0-7 групп 315291 т, экспорт составил более 81%, из них 6,3% – в ближнее зарубежье (страны СНГ) [1, 2]. В 2020 г. производство хризотил-асбеста составило 280361 т.

В Республике Казахстан месторождения хризотил-асбеста, в зависимости от морфологии залежей, типов асбестоносности, расположения волокон асбеста по отношению к стенкам жил, выделены в четыре геолого-промышленных типа: баженовский, лабинский, карачаевский и аспагашский.

Житикаринское месторождение поперечно-волокнистого хризотил-асбеста относится к баженовскому геолого-промышленному типу нормальной прочности хризотил-асбестового волокна, приурочено к серпентинизированным перидотитам, дунитам и серпентинитам, разрабатывается с 1958 г. открытым способом. Месторождение находится на территории Республики Казахстан (Костанайская обл., в 5 км на юго-восток от районного центра – г. Житикары). Месторождение расположено на восточном склоне Южного Урала, который в структурном отношении представляет часть Уральского

щита, являющегося восточной окраиной Восточно-Европейской плиты. Протяженность Основной залежи разрабатываемого карьера составляет 3,7 км; ширина карьера – 0,8 км; глубина – 250 м (проектная – 640 м). Среднее содержание хризотил-асбеста в руде составляет 4,5-5,5%. Химический состав асбестовой руды: серпентин  $Mg_3SiO_3(OH)_4$ , брусит  $Mg(OH)_2$ , магнетит  $Fe_3O_4$ , лизардит  $Mg_6(OH)_8Si_4O_{10}$ , хризотил-асбест  $3MgOH_2 \times SiOH_2 \times H_2O$ .

Запасы хризотил-асбеста на Житикаринском месторождении составляют 37 млн т со средним содержанием асбеста в руде: 4,56%; 2 сита К.А.: 2,52%; 3 сита К.А.: 46,8% (данные 2019 г.). Асбестоносность рассматриваемой Основной залежи представлена шестью типами: одиночными жилами, сложными жилами, крупной сеткой жил, мелкой сеткой жил, мелкопрожилком, просечками. При их выделении учитывались не только геологические факторы (форма жилкования, длина волокна и т. п.), но и промышленное содержание асбеста класса крупности +0,5 мм. В пределах Основной залежи выделены серпентиниты, в их состав входят лизардиты, хризотил и антигорит. Житикаринский массив сложен в различной степени серпентинизированными ультраосновными породами, которые

соответствуют габбро-перидотитовой формации, точнее, ее дунит-гарцбургитовой ассоциации. Мощность рудного тела месторождения изменчива – от 20 м до 450 м, падение восточное под углом 70°.

В Основной залежи наблюдается обычная для месторождений хризотил-асбеста зональность рудоносных пород: степень серпентизации увеличивается от перидотитового ядра к периферии массива. От лежащего бока залежи к висячему выделяются: серпентинизированные перидотиты и дуниты, серпентиниты с мелкими ядрами перидотитов или дунитов, составляющими 5-60% объема породы, серпентиниты.

Балансовые запасы Житикаринского месторождения по категории В + С<sub>1</sub> составляют 32549,4 тыс. т волокна асбеста 1-6 сортов при среднем содержании 3,48%; разведано семь промышленных залежей асбестовых руд, в разработку вовлечена Основная залежь, содержащая 81% всех запасов: 26911,3 тыс. т волокна асбеста 1-6 сортов при среднем содержании 4,45%. Проектная мощность комбината по производству хризотил-асбеста составляет 603,8 тыс. т/г. На Северном, Центральном и Южном участках выделены асбестсодержащие руды трех групп обогатимости: легкообогатимые, среднеобогатимые, труднообогатимые. В основном труднообогатимые руды сосредоточены на Южном участке месторождения<sup>4</sup>.

В настоящее время (по факту 2019 г.) из 210,7 тыс. т добываемого житикаринского хризотил-асбеста 3-6 групп 4,2% используется на внутреннем рынке, остальное экспортируется в ближнее и дальнее зарубежье: Узбекистан (2019 г. – 34,6%, I кв. 2020 г. – 32,5%); Индия (2019 г. – 34,2%, I кв. 2020 г. – 31,8%); Туркменистан (2019 г. – 3,97%, I кв. 2020 г. – 14,6%); Шри-Ланка (2019 г. – 4,1%, I кв. 2020 г. – 5,0%); Китай (2019 г. – 5,5%, I кв. 2020 г. – 3,8%); Таджикистан (2019 г. – 4,7%); Кыргызстан (2019 г. – 4,4%); Украина (2019 г. – 4%, I кв. 2020 г. – 3,8%); Азербайджан (2019 г. – 0,4%). В I квартале

2020 г. экспортировано 47 тыс. т казахстанского хризотил-асбеста на общую сумму 14 млн долл. США<sup>5</sup>.

Сегодня на АО «Костанайские минералы» работает 2085 человек. Мощность обогатительного комплекса по производству хризотил-асбеста составляет 250 тыс. т. За 2021 г. отгружено 14,9 млн горной массы. Выработка по хризотил-асбесту составляет на один час работы по цеху обогащения 56 т; в ПАО «Ураласбест» и ОАО «Оренбургские минералы» этот показатель составляет более 60 т выработки хризотила в час. Производительность по выработке хризотил-асбеста на работу часосекцию составляет в АО «Костанайские минералы», ПАО «Ураласбест», ОАО «Оренбургские минералы» от 15 т/ч до 23 т/ч.

*Киембайское месторождение* хризотил-асбеста относится к баженовскому подтипу, имеет общие черты и, в то же время, разности, характеризующиеся специфическими особенностями месторождения; находится в Российской Федерации (Оренбургская обл., в 5 км юго-восточнее г. Ясного); активно разрабатывается с 1979 г. открытым способом. Разведанные запасы хризотил-асбеста составляют 22,2 млн т со средним содержанием асбеста в руде 1,9-4,8%; глубина карьера – 225 м (проектная 600 м); ширина – 1,4 км, длина – 2,6 км. Запасы по категориям А+В+С<sub>1</sub> – 530 млн т со средним содержанием хризотилового волокна класса +0,5 мм 4,2-5,0% (запасов хватит на 70 лет). Проектная мощность асбестообогатительной фабрики 500 тыс. т готовой продукции.

Киембайское месторождение приурочено к одноименному ультрабазитовому массиву, прорывающему метаморфический комплекс пород нижнего палеозоя и вулканогенные образования девона и карбона. Интрузия гипербазитов имеет форму вытянутого в меридиональном направлении кольца, осложненного более молодыми гранитоидами, которые, внедрившись в средней части в виде округлого тела, разорвали ее на два массива – Южный

и Северный. Общая длина гипербазитового массива по простиранию составляет 18 км, площадь – 70 км<sup>2</sup>. Южный массив имеет подковообразную, а Северный – неправильную, близкую к изометричной, форму.

Промышленные залежи хризотил-асбеста сосредоточены на трех участках (Главный, Северный и Третий), расположенных в западной и северо-западной частях северного массива гипербазитов.

На Главном участке выделены шесть асбестоносных залежей: Основная, Западная, Дусбайка, Вершинная, Восточная и Новая. Морфология залежей и их структурное положение определяются положением относительно зон разломов и конфигураций северо-восточного (малого) перидотитового ядра, которое окаймляется асбестоносными серпентинитами с запада, юга и юго-востока. Асбестоносность месторождения в основном представлена преобладанием жил крупной и мелкой сетки, а по степени серпентинизации выделяются серпентинито-перидотитовые, перидотито-серпентинитовые и серпентинитовые жилы. На месторождении выделен самостоятельный тип – руды коры выветривания, приуроченные к верхним горизонтам месторождения. Наиболее мощная и богатая южная оконечность Основной залежи сложена чаще крупной сеткой, северная часть залежи, более бедная по содержанию, – мелкой сеткой. Среднее содержание асбеста класса +0,5 мм по залежи составляет 4,68%.

Разработку Киембайского месторождения ведет ОАО «Оренбургские минералы» (Киембайский асбестовый горно-обогатительный комбинат «Оренбургасбест»), его проектная мощность – 500 тыс. т хризотилового волокна 3-7 групп.

Среднее содержание хризотил-асбеста в руде 4,89%; 2 сита К.А.: 0,54%; 3 сита К.А.: 57%. Ежегодно перерабатывается более 5,9 млн т руды (данные 2019 г.). ОАО «Оренбургские минералы» в 2019 г. произвело товарную продукцию в виде хризотил-асбестового волокна 3-7

<sup>4</sup>Джафаров Н.Н. Хризотил-асбест Казахстана. – Алматы, 1999. – 68 с.

<sup>5</sup><http://www.eurasiancommission.org/ru/nae/news/Pages/03-07-2019-3.aspx>: Сводка по минеральным сырьевым товарам (МКС), 2019 год.

групп 474375 т, экспорт в ближнее и дальнее зарубежье составил более 87%: Индия (35,6%), Индонезия (21,7%), Китай (20,2%), Таиланд (7,0%), Шри-Ланка (5,6%), Бангладеш, Украина (0,9%), Беларусь (1,8%). В ближнее зарубежье (страны СНГ) экспортировано всего 2,7%, все остальное – в дальнее.

В России и Казахстане за первый квартал 2020 г. добыто 226,1 тыс. т хризотил-асбеста. Экспортировано 194,5 тыс. т 0-6 групп на общую сумму 57,6 млн долл. США: Индия (28,8%), Китай (11,1%), Индонезия (7,9%), Узбекистан (6,3%), Таиланд (5,3%), Шри-Ланка (4,3%), Бангладеш (3,9%), Туркменистан (2,7%), Украина (1,1%). Продукция из хризотил-асбестового волокна востребована и конкурентна на международном рынке, в основном используется в строительной отрасли, в виде асбоцементных труб, шифера, других асбоцементных изделий<sup>6</sup>.

Разрабатываемые сегодня месторождения хризотил-асбеста в Казахстане и России имеют много сопутствующих пород и минералов.

На Баженовском месторождении встречаются серпентиниты, перидотиты, габбро, гранодиориты, гроссуляры, гессониты, гранат-диопсид, диорит-порфиры, диорит-аплиты, микродиориты, альбиты, родингиты, артиниты, диабазовые порфиры, плагиоаплиты, стивенситы, кристаллы везувиана, карбонаты, верлиты, вебстериты, арагониты, кальциты, силикаты, карбонат талька, кварцевые порфиры, кварцевые альбитофиры, кварц-серицитовые, кремнистые сланцы, сланцеватые кварциты, друзы, опалы, халькопириты, халькозины, магнетиты, марказиты, баститы, бруситы, перениты, цеолиты, антигориты, известняки.

Киембайское месторождение сложено серпентинизированными дунито-гарцбургитами и серпентинитами. Ультраосновные породы прорываются многочисленными дайками диоритов, микродиоритов и диоритовых порфиритов. Середину массива слагают частично серпентинизированные перидотиты и

дуниты, сменяющиеся к периферии серпентинитами смешанного состава, затем – антигоритовыми серпентинитами, тальковыми, тальк-карбонатными и тальк-хлоритовыми породами. На месторождении встречаются в разных проявлениях гипербазиты, эффузивы, гранитоиды, углисто-кремнистый сланец, туффит, нонтронит, охра, каолин, кобальт, никель, молибден.

На Житикаринском месторождении встречаются хромиты, магний, железо, платина, хром, кобальт, никель, золото, диабазы, порфириты.

Хризотил-асбест (серпентин-асбест) является магнезиальным гидросиликатом, химический состав которого выражается формулой  $3MgO + 2SiO_2 + 2H_2O$ , что определяет содержание окислов в следующих соотношениях:  $MgO$  – 43-45%;  $SiO_2$  – 43,5%;  $H_2O$  – 13,05%. Хризотил-асбест присутствует почти в двух третях земной коры; принадлежит к минеральной группе серпентина; способен расщепляться на тончайшие эластичные волокна и представляют собой тончайшие полые трубочки-фибриллы диаметром  $2,6 \times 10^{-5}$  мм. Внутренний диаметр трубочек равен 130 оА, а их средний внешний диаметр 260 оА. Трубочки хризотила почти все расположены параллельно друг другу. В природном хризотил-асбесте содержатся примеси  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $NiO$ ,  $MnO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$  и  $H_2O$ .

Свойства хризотил-асбестового волокна: не растворим в воде; имеет большую механическую прочность (прочность на разрыв хризотил-асбеста более 3000 МПа, полумомкого – 1900-3000 МПа, ломкого – 1700-2200 МПа); коэффициент трения – 0,8 ед.; удельная поверхность – 20 м<sup>2</sup>/г; хризотил-асбест нормальной прочности имеет положительный электрокинетический потенциал, ломкий и пониженной прочности – отрицательный); высокая упругость; химическая стойкость (стабильность химического состава); хорошая адсорбционная способность; устойчивость против загнивания (способность задерживать бактерии, вредные вещества и

радиационное излучение); хорошее водопоглощение (коэффициент набухания 1,08-1,63); низкая электропроводность; щелочестойкость высокая ( $pH = 9,1-10,3$ ); в кислой среде разлагается, показатель преломления  $N_{np} = 1,53-1,57$ ; удельный вес хризотилового волокна составляет 2,4-2,6 г/см<sup>3</sup>, твердость вдоль волокон равна 2, поперек – 2,5; растворимость хризотил-асбеста в соляной кислоте ( $d = 1,19$  г/см<sup>3</sup>) после четырехчасового кипячения составляет 55-56% [3].

Хризотил-асбест при нагревании свыше 400°C теряет конституционную воду, при этом волокна теряют механическую прочность. Свыше 700°C происходит разрушение хризотил-асбеста и образование форстерита. Температура плавления хризотил-асбестового волокна 1450-1500°C. Коэффициент теплопроводности низкий, что обуславливает его высокие теплоизоляционные и термоизоляционные свойства.

В промышленности используется хризотил-асбестовое волокно длиной более 0,5 мм. Оно широко применяется в различных областях промышленности как в чистом виде, так и в соединении с другими материалами (цементом, тканями, картоном, композитами). Номенклатура асбестовых изделий насчитывает свыше 3000 наименований, хризотил-асбест идет на производство всевозможных асбоцементных (трубы, шифер, фасадные и кровельные плиты), асбестобитумных и асбестосмоляных изделий, различных фрикционных и паронитовых прокладок, дисков сцепления, трансмиссионных и приводных ремней, всевозможных картонно-бумажных изделий (асбокартон), денежных знаков, электроизоляционных изделий, муфельных печей, несгораемых сейфов, одежды для пожарных, наполненных конструкционных клеев, теплоизоляционных материалов, диафрагм хлорных электролизеров, гранулированных стабилизирующих добавок, звуко- и шумопоглощающих прокладок, тормозных колодок для автомашин, может использоваться как связующий

<sup>6</sup><https://www.usgs.gov/centers/nmic/cement-statistics-and-information>

материал при производстве железорудных окатышей, фильтров, в качестве заполнителя при производстве асфальта и бетона.

Например, хризотил-асбест применяется в текстильной промышленности (используется 0-2 группа хризотил-асбеста, длиноволокнистый асбест), а асбоцементные трубы (напорные, безнапорные) применяются для водопроводных, канализационных систем, транспортировки нефтепродуктов (используется трубная группа асбеста, 3-4 группа хризотил-асбеста). Асбоцементная промышленность производит плоские, волнистые фиброасбоцементные

листы (шифер), кровельные и стеновые панели для зданий и сооружений (используется шиферная группа асбеста, 5-6 группа хризотил-асбеста), теплоизолирующие материалы, пластмассы, линолеумы, сухие строительные смеси (используется 6 камерная и 7 группа хризотил-асбеста). Основное количество хризотил-асбестового волокна потребляется строительной отраслью промышленности (производство асбоцементных труб, шифера, стеновых панелей).

Асбестовые комбинаты при переработки хризотил-асбестовых руд производят, кроме хризотилового волокна различной длины,

посыпку крупнозернистую для мягкой кровли ПК-1,25, посыпку антигололед ПА-5 и щебень различной фракции, мм: 0-5, 0,16-2, 2-5, 4-8, 2, 8-16, 5 (3)-10, 5-15, 5-20, 8-11, 8-11,2, 8-16, 10-15, 10-20, 20-40, 25-60, 40-70, 40-80, 60-150, 60-120, а также минеральные и песчано-щебеночные смеси (ПЩС), используемые в дорожном строительстве и для отсыпки железнодорожных и автомобильных путей, фракции: БХ (0-20 мм), Б-6, и С-2, С-4, С-5, С-6, С-7, С-12, и т.д. Налажен выпуск сухих строительных смесей («Альта»), полимерно-песчаных изделий и полипропиленовых мешков.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Козлов Ю.А. Хризотиловая промышленность России: состояние и перспективы. // Строительные материалы. – 2008. – №9. – С.7-9 (на русском языке).
2. Салахиев А.Г. 125-летию со дня открытия Баженовского месторождения хризотил-асбеста. // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – №9. – С. 2-6 (на русском языке)
3. Пуненков С.Е. Хризотил-асбест в хризотил-цементной смеси. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2012. – №2. – С. 14-20 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Козлов Ю.А. Ресейдегі хризотил өнеркәсібі: жағдайы және болашағы. // Құрылыс материалдары. – 2008. – №9. – Б. 7-9 (орыс тілінде).
2. Салахиев А.Г. Баженов хризотил-асбест кен орнының ашылуына 125 жыл. // Тау-кен жабдықтары мен электромеханика. – 2010. – №9. – С. 2-6 (орыс тілінде)
3. Пуненков С.Е. Хризотил-цемент қоспасындағы асбест. // Қазақстанның тау-кен журналы. – Алматы, 2012. – №2. – Б. 14-20 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Kozlov Yu.A. *Chryzotilovaya promyshlennost' Rossii: sostoyanie i perspektivy [Chryzotile industry in Russia: state and prospects]*. // *Stroitel'nye materialy = Construction Materials*. – 2008. – №9. – P. 7-9 (in Russian)
2. Salakhiev A.G. *125-letiyu so dnya otkrytiya Bazhenovskogo mestorozhdeniya xrizotil-asbesta [125th anniversary of the discovery of the Bazhenov deposit of chrysotile asbestos]*. // *Gornoe oborudovanie i e'lektromexanika = Mining equipment and electromechanics*. – 2010. – №9 – P. 2-6 (in Russian)
3. Punenkov S.E. *Chryzotil-asbest v xrizotil-cementnoj smesi [Chryzotile-asbestos in chrysotile-cement mixture]*. // *Gornyj zhurnal Kazaxstana = Mining Journal of Kazakhstan*. – 2012. – №2. – P. 14-20 (in Russian)

#### Сведения об авторах:

**Пуненков С.Е.**, канд. техн. наук, главный технолог управления комбината Публичного акционерного общества «Ураласбест» (г. Асбест, Россия), [ore-dressing@control.uralasbest.ru](mailto:ore-dressing@control.uralasbest.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4034-3457>

**Козлов Ю.С.**, студент кафедры международной экономики и менеджмента Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия), [kozlovuyuryu@gmail.com](mailto:kozlovuyuryu@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-0121-0045>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Пуненков С.Е.**, техника ғылымдарының кандидаты, «Ораласбест» жария акционерлік қоғамы комбинаты басқармасының бас технологы (Асбест к., Ресей)

**Козлов Ю.С.**, «Ресейдің тұңғыш президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федералдық университеті» Федералдық мемлекеттік автономды жоғары білім беру мекемесі, халықаралық экономика және менеджмент кафедрасының студенті (Екатеринбург к., Ресей)

#### Information about the authors:

**Punenkov S.E.**, Candidate of Technical Sciences, Chief Technologist of the Plant Management of the Public Joint Stock Company «Uralasbest» (Asbest, Russia)

**Kozlov Y.S.**, Student at the Department of International Economics and Management of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin» (Yekaterinburg, Russia)