

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Е.П.ЯНИН
Асбест в окружающей среде
(Введение в экологическое асбестоведение)

МОСКВА - 1997

УДК 628.51:666.961:577.4

Янин Е.П. Асбест в окружающей среде. (Введение в экологическое асбестоведение).- М.: ИМГРЭ, 1997.- 176 с.

В книге на основе обобщения материалов отечественных и зарубежных авторов рассматриваются особенности загрязнения окружающей среды асбестовой пылью. Дается характеристика важнейших свойств асбеста и асбестовой пыли; приведены гигиенические нормативы асбеста; рассмотрены природные и антропогенные источники его поступления в среду обитания. Особое внимание уделяется вопросам биологического влияния и гигиенического значения асбестовых волокон, а также особенностям и экологическим последствиям распределения волокнистых частиц в различных компонентах природной, производственной и жилой среды.

Табл. 18. Ил. 14. Библиогр. 234 названия.

Yanin E.P. Asbestos in the Environment. (Introduction to the asbestos' ecology).- IMGRE Publishers, Moscow, 1997.- 176 p.

This is the first publication in Russian that demonstrates in detail peculiarities of the asbestos dust and fiber pollution. Major features of asbestos are characterized. Natural and anthropogenic sources of asbestos are described. Biologic effects caused by the asbestos pollution and hygienic significance of the asbestos fiber is emphasized, as well as peculiarities and ecological consequences of the fibrous materials' dispersion in various components of industrial and natural landscapes.

Ответственный редактор
Н.К.Дмитренко

Рецензенты:
Н.Н.Москаленко
В.М.Роговой

© Янин Е.П., 1997
© ИМГРЭ, 1997

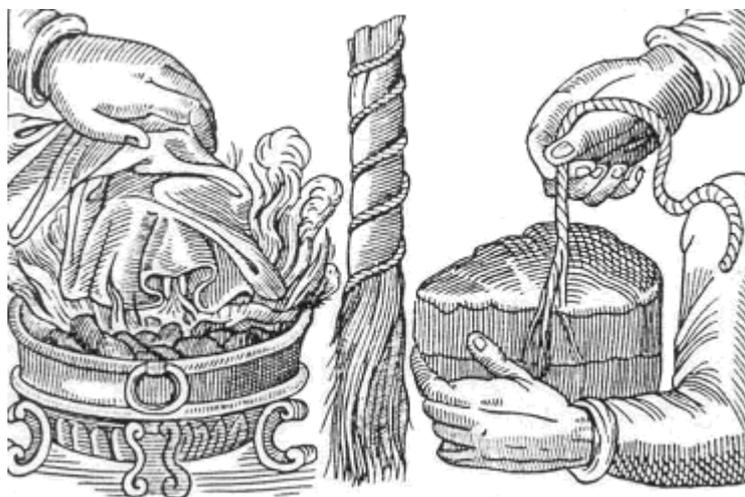
40-летию ИМГРЭ

...собрание научно установленных фактов само по себе есть дело огромной важности в тех индуктивных, опытных или наблюдательных отделах человеческой мысли, к каким относится естествознание...

В.И.Вернадский

...наблюдайте, друзья, собирайте и откладывайте все, что вам встретится, для науки и не обманывайтесь тем, что то или иное должно быть известно всем, но неизвестно лишь тебе...

Адельберт Шамиссо



Очистка асбестовой ткани в огне и прядение асбестового волокна
(*A.Boetius de Boodt Gemmarum et Lapidum Historia.-Hanovia, 1609*)

Предисловие

Загрязнение окружающей среды асбестовой пылью - важнейшая экологическая проблема современности. Во многих странах осуществляются специальные программы, направленные на изучение поведения асбеста в среде обитания и снижение его вредного воздействия на человека. В ряде государств приняты законодательные акты, запрещающие или резко ограничивающие использование асбеста в производстве, строительстве, в быту.

Данная проблема особенно актуальна для России, поскольку ни одна страна мира не может сравниться с ней по количеству и мощности потенциальных техногенных и природных источников этого поллютанта. Длительное время Россия была и продолжает оставаться крупнейшим мировым производителем и потребителем асбестового волокна. В то же время в отечественной литературе работы, посвященные экологическим проблемам асбеста, практически отсутствуют. Этот пробел удачно восполняет монография Е.П.Янина «Асбест в окружающей среде», которая относится к сравнительно немногочисленным обобщениям, синтезирующим накопленные к настоящему времени знания по экологии асбеста.

Книга очень информативна, интересна и оригинальна по исходным посылкам, своей направленности, решаемым задачам. В ней детально освещается практически не изученная и, можно сказать, малоизвестная в нашей стране эколого-гигиеническая проблема. Основные положения книги и приводимый в ней материал чрезвычайно важны для разработки программ и планов природоохранных мероприятий в городах и регионах, где качество окружающей среды во многом обусловлено загрязнением асбестовым волокном.

С удовольствием представляя читателям новую работу Е.П.Янина, надеюсь, что она сможет оказать положительное воздействие на развитие исследований в области мониторинга и контроля загрязнения среды обитания асбестовой пылью в различных регионах России.

Н.К.Дмитренко

*... весь опыт науки свидетельствует о том,
что любой природный процесс обуславливается
комплексом одновременно действующих факторов,
и нельзя правильно понять или объяснить
тот или иной процесс, исходя из одного фактора...*

К.А. Власов

Введение

Промышленно-хозяйственная деятельность человека, названная А.Е.Ферсманом техногенезом, вносит существенные изменения в природные экосистемы, что в большинстве случаев сопровождается ухудшением экологической обстановки во многих регионах мира, прежде всего, в результате загрязнения окружающей среды. Пыль является одним из самых распространенных видов поллютантов, причем особое значение имеет волокнистая пыль, биологическое действие которой весьма разнообразно и во многом зависит от ее вида и происхождения. Среди волокнистой пыли наиболее агрессивной является пыль асбеста, обладающая широким спектром негативных воздействий на человека. Под термином «асбест», как известно, объединяется ряд тонковолокнистых минералов, легко распадающихся на отдельные волокна, достаточно прочных и настолько гибких, что они находят широкое применение в различных сферах человеческой деятельности.

Вредное влияние асбестовой пыли на человека известно давно, однако лишь в конце 1960-х-начале 1970-х гг. стали появляться данные эпидемиологических исследований о негативном воздействии асбеста не только на производстве, но и в условиях окружающей среды. Пристальное внимание экологов-гигиеническим проблемам асбеста уделяется в развитых странах Европы (Великобритания, Германия, Дания, Швейцария, Швеция и др.), в Австралии, Канаде, США, где выполняются специальные программы по изучению поведения асбеста в среде обитания, публикуются научные работы, на государственном уровне осу-

ществляются мероприятия по снижению вредного воздействия асбеста на человека, активно формируется нормативно-законодательная база, в том числе «запрещающего» характера.

Долгое время Россия была и продолжает оставаться крупнейшим производителем и потребителем асбеста в мире. В стране имеется множество его месторождений, функционируют крупные асбестовые, асбестоцементные и асбестотехнические заводы. Асбест и изделия из него производятся в массовых количествах и широко используются в строительстве, промышленности, быту. Можно утверждать, что ни одна страна мира не может сравниться с Россией по количеству и мощности потенциальных источников поступления асбестовой пыли в окружающую среду. Загрязнение среды обитания асбестом является одной из актуальных эколого-гигиенических проблем для нашей страны.

В то же время, в отечественной литературе работы, посвященные экологическим проблемам асбеста, практически отсутствуют. Более того, даже по изучению биолого-гигиенических аспектов профессионального воздействия асбестового волокна на долю России приходится очень мало публикаций. Например, специальный анализ динамики научных публикаций за период 1906-1986 гг. о биологических эффектах минеральных волокон показывает, что из 5361 публикаций лишь 2,5% приходилось на долю бывшего СССР [202]. За прошедшие 10 лет ситуация не изменилась. В издаваемых в последние годы Государственных докладах о состоянии окружающей среды асбест, как поллютант, практически не рассматривается.

Автору этих строк в середине 1980-х гг. приходилось проводить эколого-геохимические исследования в районах, где функционировали крупные асбестоцементные заводы. Меня поразило, что даже представители местных служб санитарно-эпидемиологического надзора и природоохранных организаций имели неясное представление об опасности асбеста, а в инструкциях по технике безопасности на предприятиях отсутствовала, например, информация о канцерогенных свойствах последнего. Именно в то время и возникла идея подготовить книгу, посвященную проблеме асбеста в окружающей среде.

Главная цель, преследуемая автором, заключалась в том, чтобы привлечь внимание научных и практических работников, соответствующих государственных структур, общественных экологических организаций России к проблеме загрязнения окружающей среды асбестом, показать важность и актуальность данной проблемы для нашей страны и представить конкретный материал для разработки стратегии и тактики мониторинга и контроля состояния среды обитания, проведения экологических экспертиз и подготовки программ изучения и планов практических действий. Важнейшая проблема современности - загрязнение окружающей среды - является проблемой комплексной, решение которой возможно лишь при учете всех факторов, обуславливающих ее возникновение в тех или иных районах мира. Мне представлялось необходимым привести в книге сведения об истории и роли асбеста в обществе, особенностях и основных сферах его применения, дать общую характеристику волокнистой пыли и методов ее изучения, подробно рассмотреть классификацию и важнейшие характеристики наиболее распространенных асбестовых минералов, биологическое влияние, гигиеническое значение и нормативы асбестовой пыли, различные заболевания, вызываемые воздействием асбеста, источники поступления его в окружающую среду, особенности распределения и поведения в среде обитания, оценить современный риск асбестовой опасности, т.е. обобщить наиболее принципиальные факты, отражающие различные аспекты «экологического асбестоведения».

Автор благодарит рецензентов - Н.Н. Москаленко и В.М. Рогового, ознакомившихся с рукописью, и выражает искреннюю признательность ответственному редактору Н.К. Дмитренко за конструктивные замечания, несомненно улучшившие предлагаемую уважаемому читателю книгу.

Разделы книги 5.2 «Антропогенные источники асбеста» и 6.4 «Асбест в пищевых и коммерческих продуктах» подготовлены при частичной финансовой поддержке от программы Мира и Международного сотрудничества Фонда Джона Д. и Кэтрин Т. Макартуров.

За древнюю Прялку с куделью косматой...

Юргис Балтрушайтис

*Нет конца змее великой...
Вьется, бьется, копошится,
В даль и темень уползает,
Но никак не может скрыться...*

Константин Случевский

1. КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АСБЕСТЕ

Асбест, что в переводе с греческого означает негоряемый, известен человеку с древнейших времен. С ним связано немало легенд и фантастических представлений. История асбеста окружена ореолом таинственности практически во все века: «Камень, - но годный для изготовления тончайших тканей, не горит в огне, но служит вечным фитилем для светильен; встречается в твердых скалах, - но по свойствам подобен дереву или растению...» [91, с. 155]. По восточному преданию, с которым были согласны средневековые алхимики, асбест находится в саламандре (духе огня), принявшей образ змеи. Существует давнее мнение, что слово «асбест» происходит от названия ливийского города Асбисты, где в древности осуществлялась добыча и обработка этого минерала.

Асбест несомненно является материалом, использование которого человеком началось в глубокой древности. Так, например, по имеющимся данным, антофиллит-асбест месторождений в Паккиле (Финляндия) применялся в качестве материала для печей и огнестойких горшков уже человеком каменного века, что подтверждают черепки, найденные в древних поселениях вокруг озера Юоярви. Археологические исследования свидетельствуют о том, что асбестовая керамическая промышленность достигла своего расцвета 4500 лет назад. Асбест из Паккилы уже в те вре-

мена вывозился в северные районы Скандинавии и в Виену в восточной Карелии.

В древние века асбест использовался жителями Индии, Китая, Египта, Ближнего Востока. На рубеже нашего летоисчисления способ изготовления пряжи из асбестовых волокон стал известен античным мастерам. Асбест и изделия из него упоминаются в произведениях Теофраста, Плиния Старшего, Страбона, Павсания, Плутарха. Существует даже оригинальное предположение, что асбест отчасти виновен в вырождении древних римлян, поскольку, якобы, богатые патриции во время своих буйных застолий пользовались асбестовыми скатертями, поглощая вместе с яствами и напитками частички асбеста.

В раннее Средневековье в Китае асбестовые ткани вырабатывались в таком количестве, что вывозились в другие страны. Об этом, в частности, сообщает Марко Поло. Первые попытки научного описания асбеста содержатся в известных трудах Бируни.

Письменные источники X в. свидетельствуют о разработках асбеста в Средней Азии. Например, ал-Истахри в своей известной «Книге путей государств», относящейся к 950 г., упоминает о добыче асбеста (ал-чирогисанг, «камень светильни») в горах Ферганы. Ферганские асбестовые рудники отмечены также в анонимном географическом сочинении по названию «Худуд-ал-Алам» (982 г.). Ибн-Хаукаль, лично посетивший страны Мавераннахра, в своем труде (около 987-988 гг.), указывает на местонахождение асбеста в округе Верхней Несьи, куда входит долина Соха с городами Сох, Риштан, Хоканд и Вабкент. По данным Макдиси, в 985 г. асбест добывался в Бадахшане. Считается, что асбест применялся для изготовления фитилей (например, глиняные рудничные лампы, называемые «чираги», по видимому, содержали асбестовые фитили), скатертей и, возможно, огнестойкой одежды для воинов, обслуживающих нефтеогнетные машины. В начале XIII в. (из-за монгольского завоевания) местная добыча асбеста резко сократилась.

Примерно в XI в. сведения об этом удивительном материале достигают Руси, по-видимому, в популярном в те времена

«Письме пресвитера Иоанна» - правителя легендарного христианского государства, расположенного якобы где-то на Востоке.

Несомненно, что в той или иной степени асбест применялся в практических целях в разных странах в течение всех средних веков, но особенно широко к началу XVIII в., когда из него стали изготавливать даже бумагу (в Венгрии и на Пиренеях). Уже в конце XVIII-начале XIX вв. во многих странах Европы были известны перчатки, кружева, салфетки из асбеста, изготавливаемые главным образом в итальянском городе Пьемонте Еленой Перпенти, награжденной в 1806 г. Обществом поощрения итальянских промышленников почетной медалью за предложенный способ тканья асбеста. Приготовленная в ее мастерской асбестовая бумага оказалась годной для письма, и государственный советник Москати даже напечатал на ней поздравления с новым годом вице-королю Италии. По сообщению А.Е.Ферсмана, первое применение асбеста в строительном деле относится к 1785 г., когда в Швеции и Германии Фоксе были выполнены опыты по использованию его как огнезащитного материала.

В России асбест стал широко известен с начала XVIII в. Считается, что первое месторождение асбестовых руд в нашей стране открыл в 1720 г. крестьянин демидовских заводов Сафрон Согра (на берегах р.Тагил, близ Невьяновского железного завода). Как пишет Е.П.Карнович, большое старание к разработке асбеста приложил Акинфий Демидов, который собственными опытами дошел до его обработки, известной в древности, а потом забытой. Начальные этапы развития отечественной асбестовой промышленности известны многим по замечательным уральским сказам П.Бажова.

По настоящему зарождение асбестовой промышленности как самостоятельной отрасли, занимающейся добычей и обогащением асбестовых руд и производством товарного асбеста, относится к концу XIX-началу XX вв., когда были открыты и начали разрабатываться его крупнейшие месторождения в Греции, Италии, Канаде, России. Так, разработка греческого месторождения Зинданион началась уже в 1830-х гг. В 1860 г. в провинции Квебек (Канада) были обнаружены крупные месторождения ас-

беста, которые стали активно разрабатываться в 1878 г. В 1894 г. начата промышленная добыча крокидолита в ЮАР, в 1894 г. - разработка месторождения Вудсриф в Австралии, в 1907 г. - хризотил-асбеста в Южной Родезии (Зимбабве). В этом же году были открыты знаменитые месторождения южно-африканского амозита, добыча которого началась в 1917 г. В Индии промышленная добыча асбеста также началась уже в начале XX столетия.

В России в 1885 г. в 80 км к северо-востоку от Екатеринбургa на р. Рефт было открыто одно из крупнейших в мире месторождений высококачественного хризотил-асбеста, названное по ближайшему селу Баженовским, которое стало активно разрабатываться уже с 1889 г. Еще раньше, в 1836 г., в Вост. Саянах было открыто Ильчирское месторождение, известное, кстати, местным жителям, с давних времен. В 1906 г. на р. Енисей найдено Аспагашское месторождение асбеста, разработка которого началась в 1909 г. Уже в 1913 г. в России было добыто около 25 тыс. т асбеста, что составило примерно 17% мировой добычи его. Характерно, что 12,4 тыс. асбеста было экспортировано. Становление современной асбестоперерабатывающей промышленности относится к 60-70 гг. XIX в., когда в Италии и особенно в Англии были основаны первые промышленные предприятия по производству асбестовых текстильных изделий. Основным спросом на рынке пользовались асбестовые прокладки и асбестовая изоляция для паровых котлов, патент на изобретение которых в 1857 г. получил англичанин Р.Ллойд. Уже к 1890-95 гг. в Италии, Англии, Австрии, Германии было налажено промышленное производство многих видов асбестовых текстильных изделий и термоизоляционных материалов. В 1897 г. другой англичанин - Г.Фруд - изобрел способ изготовления тормозных колодок на базе асбеста для карет, а затем для автомобилей. В 1906-1907 гг. в Англии и США было сделано открытие по использованию латунной проволоки для укрепления асбестовой пряжи, что обусловило еще более широкое применение тормозных накладок и колец сцепления для производства тормозных устройств автомобилей, железнодорожных вагонов, шахтных подъемников, лебедок, лифтов, а также дисков сцепления для многих видов промышленного оборудова-

ния. Во второй половине XIX в. в Италии, Австрии, Англии, США возникли многочисленные фирмы по производству асбестовых текстильных, теплоизоляционных, тормозных изделий и материалов.

В конце XIX в. в Австрии возникло производство асбестоцемента - влажных смесей цемента с асбестом, из которых готовились штукатурные растворы и блоки. Первый способ формования, т.е. получения полуфабриката асбестоцементных изделий, был предложен в 1900 г. чехом Л.Гатчеком, что явилось настоящей революцией в использовании асбеста. Изобретение Гатчека легло в основу дальнейших технологических достижений в производстве новых видов асбестоцементных изделий и оборудования для их производства. В 1900 г., после изобретения специальных картоноделательных машин, в Западной Европе стали появляться первые заводы по производству асбестоцементных листов и плиток. В 1916 г. в Италии началось производство асбестоцементных труб.

В нашей стране первый завод асбестоцементных кровельных плиток был пущен в 1908 г. в г.Брянске, в 1912 г. - в г.Ростове-на-Дону. Несколько позже возникли заводы в Новороссийске и Вольске. Уже в 1913 г. в России было выпущено (9 млн. условных асбестоцементных плиток. В 1932 г. в г.Воскресенске начал функционировать первый в России (СССР) завод асбестоцементных труб. В 1939 г. в США для производства асбестоцементных изделий было предложено использовать метод экструзии (выдавливания). Подобный способ на Воскресенском заводе внедрен в 1982 г.

К 1938 г. промышленное производство асбестоцементных труб существовало уже в 15 странах, асбестоцементного шифера - в 25, асбестовых текстильных изделий, листов, термоизоляционных и фрикционных материалов - в 30 странах. Активно возникают научно-исследовательские центры по изучению асбеста и созданию различных изделий из него, например, в гг. Милан (Италия), Пруве (Франция), Мэнвилле (США), Манчестере (Англия); с 1916 г. в Канаде издается ежемесячный журнал "Asbestos». После второй мировой войны в г.Филадельфия

(США) создан международный исследовательский институт «Асбестос текстиал инстительют». В 1931 г. в Канаде был организован Комитет по единой классификации и сортировке продукции асбестовых рудников; появилась Ассоциация производителей асбеста Квебека.

В годы Второй мировой войны ряд сортов асбеста и видов асбестовых изделий (особенно из мало- и безжелезистого асбеста) приобрели значение как стратегический материал. В 1940 г. было решено создать стратегические запасы асбеста в США. Длинноволокнистый хризотил-асбест использовался в производстве изделий для флота, авиации и т.п., а также в военном строительстве, в электротехнической промышленности.

Таким образом, начиная с 1900-х гг., асбест и изделия из него широко используются в различных отраслях хозяйства, особенно в строительном деле. Асбестоцемент был первым и до 1950-х гг. единственным широко распространенным композиционным материалом, который до сих пор активно применяется в строительстве. Асбестовые материалы входят в состав различных электротехнических изделий и приборов, в том числе в товары массового потребления.

Слово «асбест» присутствует на мировой карте. Так, в Южной Африке известны Асбестовые горы, в Канаде - город Асбестос, в России - город Асбест, поселки - Асбестовский и Новоасбестовский (Свердловская область).

Научное освещение вопроса о природе асбеста начинается со времен Агриколы, который, по мнению А.Е.Ферсмана, первым дал обстоятельное описание этого минерала. Знаменитый рудознатец относил асбест к так называемым «обыкновенным камням» и считал, что он происходит из самостоятельного водного смешения. После сообщения Агриколы практически уже ни один минералог не пропускает в своих сводках асбест. В течение конца XVI в. и всего XVII в. он привлекает внимание многих исследователей и ему посвящается целый ряд самостоятельных монографических описаний (Ботиус де Боот, де Лаэт, Френцелио, Кирхер, Грю, Тилингиус, Ллойд, Пло, Чиаппини, Блэтц и др.).

Уже с глубокой древности интуитивно возникло разделение асбеста на амиант и собственно асбест, которое сохранялось до 1830-х гг. В литературе существует устоявшееся мнение, что термин амиант следует употреблять либо как синоним асбеста, либо как термин, обозначающий только амфиболовые асбесты. Например, в некоторых минералогических описаниях амиантом называют тонковолокнистую разновидность актинолита. Тем не менее, еще А.Е. Ферсман указывал, что амиантом в большинстве случаев называли волокнистый хризотил, а асбестом - волокнистые разновидности амфиболов (роговых обманок). Уверенность А.Е.Ферсмана может быть подтверждена следующими фактами. Так, известно, что первыми волокнистыми минералами, которые стали широко использоваться человеком, были минералы из группы амфиболов, которые и могли получить название «асбест». Например, в античное время на Кипре добывались и использовались, прежде всего, именно амфиболовые разновидности асбеста, встречающиеся в Вавле, Вазе, Апсиу и других местах острова. Павсаний, по-видимому, называл этот асбест «карпасийским» (по горному хребту на Кипре?). Хризотиловый асбест Кипра ассоциируется в основном с баститовыми серпентинитами плутонического комплекса Троодос, причем наиболее крупные разработки сосредоточены в Амиандосе, или Амиантосе. Вполне возможно, что именно поэтому хризотиловый асбест и был назван амиантом.

В 1727 г. выходит работа Ф.Брюкмана, специально посвященная амианту, а в 1761 г. Леман в своем исследовании, посвященном амианту из Силезии, указывает на его сходство с серпентином. К такому же выводу несколько позже приходит А.С.Маргграф, открывший в асбесте магнезию. Любопытно, что еще Линней указывал на шаткость деления волокнистых силикатов на асбесты и амианты. В 1779 г. Д.Демест обратил внимание на то, что часть асбестов является лишь микрокристаллической разновидностью роговых обманок, а часть - происходит из серпентинов. В 1801 г. Р.Гаюи отбросил деление на амиант и асбест и сохранил только термин «асбест» для обозначения волокнистых минералов. В течение всего XIX в. изучением асбеста пло-

дотворно занимались Ф.Рейс, Глоккер, А.Брейтгауп, Кобэль (в 1843 г. ввел название «хризотил»), В.Венеран, Р.Джонс, Дж.Мервилл (в 1895 г. впервые обратил внимание на антофиллитовые асбесты) и др. К началу XX в. было окончательно установлено, что существует два вида «настоящих» асбестов - серпентиновый (хризотил-асбест) и роговообманковый (амфибол-асбесты).

Первые рентгенографические исследования волокон асбеста были осуществлены в 1929 г. Х.Андерсоном и Г.Кларком и повторно К.Уорреном и У.Брэггом в 1930 г. В этом же году Л.Полинг предсказал трубчатую структуру хризотил-асбеста, а в начале 1930-х гг. Уоррен и Брэгг на основании рентгеновских измерений предложили структуру хризотил-асбеста, построенную наподобие структуры каолинита, а Полинг на основании этой модели высказал идею о закручивании антигоритовых слоев. В 1945 г. Е.Аруя предложил структуру хризотил-асбеста, сложенную из шестиугольных листов SiO_4 , связанных слоями брусита. Трубчатая структура хризотил-асбеста впервые была обнаружена в 1950 г. Т.Ф.Бейтсом с коллегами, а в 1951 г. М.С.Бадолля установил, что волокна хризотил-асбеста представляют собой полые трубки. Теоретическому обоснованию трубчатого строения хризотил-асбеста посвящены работы Н.Ягодзинского, С.Н.Багхи, Е.Уиттейкера, Н.В.Белова, В.В.Аршинова. В изучении асбеста и асбестовых месторождений очень значительный вклад внесли отечественные исследователи, среди которых, кроме упомянутых выше, следует отметить В.М.Севергина, М.П.Мельникова, А.А.Семенченко, Н.С.Михеева, П.М.Татарина, Б.Я.Меренкова, Н.Д.Соболева, Н.Д.Меркурьева, Ф.В.Сыромятникова, В.Н.Лодочникова, Ю.К.Андреева.

Вредное влияние асбестовых волокон на человека стало известно, по-видимому, с конца прошлого столетия. В 1890 г. в Кальвадосе (Франция) была пущена фабрика по производству асбестовых тканей и в течение первого года ее эксплуатации умерли 50 рабочих. По-видимому, несколько раньше англичанин Х.М.Мюррей обратил внимание на наличие связи между воздействием асбестовой пыли и заболеваниями легких. В 1900 г. он

опубликовал работу, посвященную вопросам вредного влияния асбестовых волокон на здоровье рабочих. В опубликованных в 1897 г. справках промышленного инспектора А.Нетолицкого о состоянии здоровья рабочих хлопко- и асбестопрядильных фабрик в Тахове (Чехия) содержится описание классических симптомов асбестоза. Инспектор логично рассуждал, что вдыхание минеральных волокон и их проникновение в слизистые оболочки дыхательных путей приводит в дальнейшем к тяжелым последствиям. В 1912 и 1914 гг. соответственно в Канаде и Германии появляются довольно подробные работы по данной проблеме. В 1924 г. В.Кук предложил выделить асбестоз из группы пневмокониозных заболеваний. Обследования 363 рабочих, проведенные инспекторами британского министерства внутренних дел Е.Меревезером и К.Прайсом в конце 1920-х гг., выявили у более чем 25% из них симптомы асбестоза, причем интенсивность проявления последних прямо зависела от продолжительности контакта с асбестом. В 1931 г. английский парламент признал асбестоз профессиональным заболеванием, а принятые в этом же году Правила асбестовой промышленности Англии утверждали, что воздействие асбеста может быть причиной доброкачественного заболевания легких.

В 1930-е гг. в США делаются попытки установить связь воздействия дозы асбестовой пыли с периодом экспозиции. В 1935 г. Лингом и Гиббоном асбест был назван причиной раковых заболеваний легких. Существенный вклад в доказательство канцерогенности асбеста внесли немецкие ученые, выполнившие в 1934-1942 гг. целую серию специальных исследований. Уже в то время ставился вопрос о влиянии асбестовой пыли на риск развития мезотелиомы, связи асбестоза и рака легкого. В 1943 г. правительство Германии декларировало рак легкого у рабочих асбестовой промышленности как профессиональное заболевание.

Широкие исследования влияния асбеста на людей (с использованием экспериментов на животных) развернулись после второй мировой войны. Работами К.Линга, Ч.Кеннона, П.Картиера и других исследователей было установлено, что кроме асбестоза у лиц, длительное время находившихся в контакте с ас-

бестовой пылью, наблюдается также усиленный рост соединительной ткани вплоть до кальциевых образований на плевре, т.е. гиалиноз и кальцификация плевры. В 1950-е гг. были проведены исследования, в том числе эпидемиологические, подтвердившие уже имеющиеся данные и показавшие, что асбест служит причиной неоплазии многих органов. В 1955 г. ведущий английский медицинский статистик Р.Долл опубликовал работу, в которой на основе результатов многочисленных вскрытий умерших от болезни людей убедительно показал, что асбест вызывает рак легкого. В 1959 г. И.Вагнер обосновал комплекс причин, вызывающих при воздействии асбестовой пыли мезотелиому, получивших уже в начале 1960-х гг. подтверждение многочисленными экспериментальными и эпидемиологическими исследованиями. В России (СССР) наиболее фундаментальные исследования влияния асбеста на человека выполнены Б.Т.Величковским и Ф.М.Коганом.

С 1964 г. в США на контейнерах с асбестом стала появляться предупреждающая маркировка, применяемая в настоящее время во многих странах. В 1970-х гг. асбест внесен в различных странах в национальные регистры канцерогенных веществ. Например, в 1971 г. он стал первым материалом, попавшим под регламентационные акты Администрации по профессиональной безопасности и здоровью США. В 1976 г. создана Международная ассоциация асбеста, членами которой являются более 40 стран мира. В эти же годы в ряде стран были приняты запреты на использование асбестосодержащих материалов в некоторых отраслях промышленности и в быту. Так, например, в Австрии применение асбеста в строительстве путем его разбрызгивания запрещено с 1978 г., а с 1984 г., за редким исключением, асбест не применяется для тепло- и звукоизоляции зданий. В Швеции с 1977 г. запрещено применение покрытий для полов на асбестовой основе. В 1980 г. в Дании принят закон о постепенном запрете использования асбеста в любых целях.

В 1983 г. Международная организация труда утвердила «Правила обеспечения безопасности при использовании асбеста», а Европейское региональное бюро ВОЗ включило асбест в список

приоритетных канцерогенов. В октябре 1984 г. Исполнительный комитет по здравоохранению и безопасности Великобритании опубликовал специальную «Инструкцию о работе с асбестом». Аналогичные инструкции и правила существуют во многих странах мира. В 1985 г. в ФРГ был подготовлен и издан каталог веществ, которые рекомендуются для замены асбеста, а в 1986 г. Международная организация труда приняла Конвенцию N 162 «Об охране труда при использовании асбеста», которую ратифицировали 10 и поддержали более 100 стран.

В середине 1980-х гг. в некоторых странах стали появляться требования общественности, исследователей и природоохранных организаций о запрете производства и использования любых изделий из асбеста. Это привело к тому, что, например, в Германии в 1993 г. вступило в силу законодательство, практически полностью запрещающее использование асбеста в производстве и строительстве. Еще раньше, в 1989 г., в США по рекомендации Агентства по охране окружающей среды был принят закон, по которому постепенно будет запрещено производство и сбыт изделий, содержащих асбест. С 1996 г. такой запрет должен вступить в силу в отношении асбестоцементных труб.

В настоящее время во многих странах, в том числе и в России, асбестоз и рак легких у лиц, имеющих длительный стаж работы в контакте с асбестом и асбестовой пылью, признается профессиональным заболеванием. По данным американских исследователей, в настоящее время 20% всех раковых заболеваний следует отнести за счет воздействия асбеста. В Германии, например, это составляет около 30 тыс. человек. Страховые выплаты по заболеваниям, связанным с асбестом, оцениваются по всему миру в сумму 180 млрд. долларов. Сегодня достаточно надежно установлено, что у лиц, контактирующих с асбестом, возможно развитие разных заболеваний, прежде всего, асбестоза, рака легких, мезотелиомы легких и брюшины, неоплазии других органов.

Примерно в начале 1970-х гг. стали появляться данные эпидемиологических исследований о вредном воздействии асбеста непосредственно в условиях окружающей среды, т.е. при загрязнении среды обитания асбестовой пылью. В настоящее время

во многих странах осуществляются специальные программы по изучению поведения асбеста в окружающей среде, публикуются многочисленные работы, проводятся практические мероприятия по снижению вредного воздействия асбестовой пыли.

*На синем куполе белеют облака,
И четко ввысь ушли кудрявые вершины,
Но пыль уж светится...*

Иннокентий Анненский

*...мельчайший полумиллиграм
пылинки...*

Пабло Неруда

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ВОЛОКНИСТОЙ ПЫЛИ

Атмосферный воздух всегда содержит твердые взвешенные вещества, в обиходе называемые пылью. Пыль попадает в атмосферу как естественным путем (природная пыль), так и в результате деятельности человека (техногенная пыль). Подсчитано, что в земной атмосфере одновременно присутствует около 20 млн. т взвешенных частиц [12]. По глобальным оценкам, искусственным путем может формироваться до 10% общего количества присутствующей в воздухе пыли [31]. Естественно, что в разных регионах соотношение природных и техногенных источников ее может быть самым разнообразным. Известно также, что ежедневно каждый человек пропускает через свою дыхательную систему около 12 м³ воздуха. При этом вместе с воздухом в его организм поступает определенное количество твердых взвешенных частиц, т.е. пыли.

Пыль - общий термин, которым, согласно определению Международной организации стандартизации (МОС), обозначают твердые частицы разного размера и происхождения, способные некоторое время оставаться в газе (воздухе) в виде суспензии [83]. Национальные стандарты могут дополняться конкретными размерами частиц. Не следует отождествлять пыль с аэрозолем. Аэрозоль - это, согласно стандарту МОС, суспензия в газовой среде твердых и/или жидких частиц, имеющих крайне низкую скорость осаждения. Твердые частицы (собственно пыль) дают

«аэрозоль твердых частиц», жидкие частицы образуют «аэрозоль жидких частиц» [83]. Если суспензированные в воздухе частицы образуются в результате измельчения твердых или жидких материалов или распыления порошков под действием тока воздуха или вибрации, они называются диспергационными аэрозолями. Если аэрозоли образуются при конденсации перенасыщенных паров или в результате химического взаимодействия газов с образованием нелетучего продукта, они носят название конденсационных аэрозолей [29]. Диспергационные аэрозоли твердых частиц и представляют собой типичную пыль. Пыли, вызывающие пневмокониозы, относятся к диспергационным аэрозолям [64;83]. Таким образом, следует считать синонимами термины «пыль» и «диспергационный аэрозоль твердых частиц». Конденсационные аэрозоли с твердой и смешанной дисперсной фазой называются дымами, а конденсационные и диспергационные аэрозоли с жидкой дисперсной фазой - туманами. Данная терминология применяется обычно независимо от размера частиц [29]. Во многих случаях трудно провести четкое разделение между дымом и туманом, поэтому для аэрозолей обоих типов используют часто общее название «дым».

Исследование пыли с эколого-гигиенических позиций включает ее количественную оценку (обычно по весовому содержанию, реже по количеству частиц, в определенном объеме воздуха) и качественную характеристику (химический состав, степень дисперсности, геометрические характеристики и т.п.). Как правило, определяют общую концентрацию пыли и концентрацию мелкодисперсной фракции пыли. Мелкодисперсной (респирабельной) называют ту часть пыли, которая при вдохе проникает вплоть до легочных альвеол и там задерживается (рис. 1; 2). Твердые частицы, входящие в состав конкретного аэрозоля, могут очень сильно различаться по размерам, форме и плотности, что сказывается на поведении их в условиях окружающей среды. Для характеристики поведения загрязняющих атмосферу взвешенных частиц, различающихся своими геометрическими параметрами, часто используют такое понятие, как аэродинамический (эквивалентный) диаметр, под которым понимают диаметр сфе-

рической частицы такой плотности, при которой она ведет себя так же как и исследуемая частица [29;83]. Частицы, характеризующиеся различными параметрами, могут иметь один и тот же аэродинамический диаметр, при котором они, например, способны улавливаться с одинаковой эффективностью [29]. По своему биологическому действию на человека пыль классифицируется на несколько категорий (табл. 1).

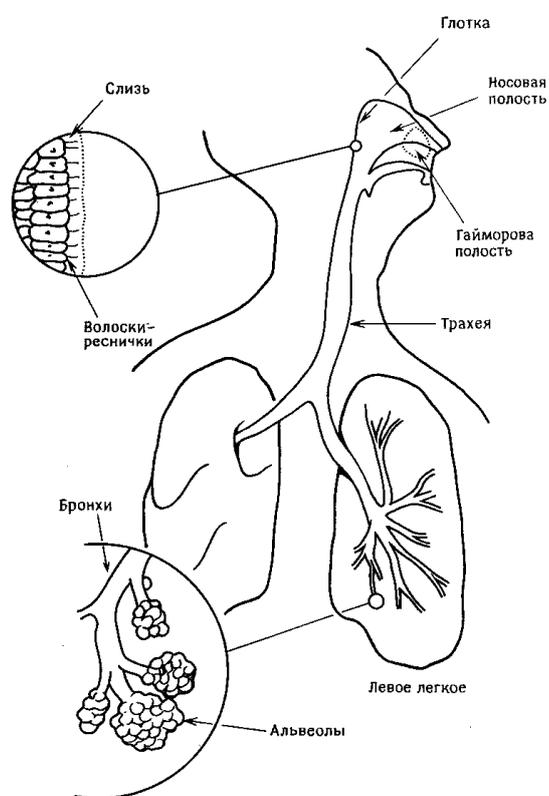


Рис. 1. Схематическая диаграмма системы дыхания человека [8а]

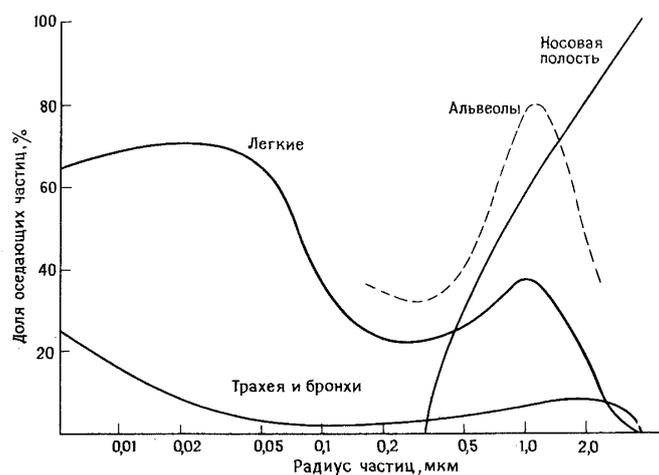


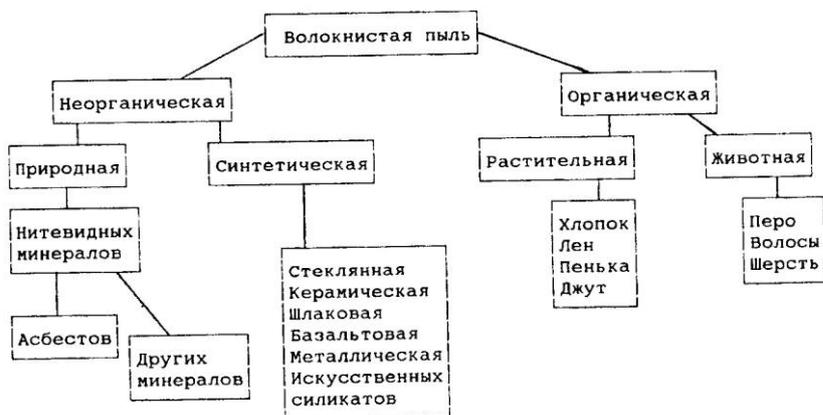
Рис. 2. Доля частиц различных размеров, оседающих в разных участках дыхательных путей [8а]

Среди различных видов пыли в зависимости от специфического биологического воздействия, гигиенической значимости, а также способов измерения выделяют так называемую волокнистую пыль, которая характеризуется игольчатой, цилиндрической, нитевидной или пластинчатой формой и у которой один размер - длина - в несколько раз превышает остальные размеры. В соответствии с международным соглашением «волокнистыми» считают частицы, длина которых «l» более 5 мкм, а отношение длины «l» к диаметру «d» составляет не менее 3. Частицы, имеющие отношение l/d менее 3, принимаются за фрагменты и не учитываются при измерениях. Волокна диаметром менее 3 мкм относятся к мелкодисперсным [94]. Волокнистая пыль классифицируется в зависимости от своего происхождения на несколько типов (разновидностей) - (рис. 3).

Главным фактором агрессивности волокнистой пыли является ее концентрация в воздухе. Важнейшими параметрами запыленности воздушной среды служат также дисперсность пы-

Таблица 1. Классификация пыли по биологическому воздействию

Категория	Основное воздействие	Примечание
Фиброгенная	Вызывает усиленный рост соединительной ткани в легких	Все виды пыли, содержащие свободный кристаллический кремнезем или асбест
Токсичная	Помимо локальных воздействий на легкие, обладает общетоксическим действием	Пыль, содержащая тяжелые металлы, металлоиды, имеются сведения о токсичности асбеста
Радиоактивная	Приводит к изменению и разрушению биологических и генетических структур	Пыль, содержащая радионуклиды
Аллергенная	Приводит к возникновению бронхиальной астмы и кожной экземы	Многие виды пыли, в том числе содержащая металлы
Канцерогенная	Вызывает злокачественный рост тканей	Пыль тяжелых металлов и асбеста
Инертная	Какие-либо воздействия не фиксируются	Существует обоснованная точка зрения, что безвредной пыли нет



Р и с. 3. Классификация волокнистой пыли

ли и ее физико-химические и геометрические свойства. Отличительной особенностью многих видов волокнистых частиц является возможность их присутствия не только в атмосфере, но и в других компонентах окружающей среды. Важнейшим видом волокнистой пыли (в эколого-гигиеническом отношении) являются асбестовые волокна (в дальнейшем будут использоваться названия «асбестовые волокна», «асбестовая пыль» или «асбест», причем - в зависимости от контекста - они могут быть, как правило, синонимами).

Для определения основных параметров запыленности воздушной среды - концентрации пыли, ее дисперсности и состава - известны десятки методов, приемов и приборов, достаточно детально описанных в литературе [4;29; 62;-64; 94;214].

С точки зрения современных гигиенических требований для всех видов пыли, в том числе и для волокнистой, достаточно эффективным является использование одноступенчатого метода гравиметрического определения общей концентрации взвешенных в воздухе частиц, выражаемой, как правило, в мг/куб.м воздуха (или в других весовых единицах на объем воздуха). Гравиметрические методы основаны на улавливании взвешенной в атмосфере пыли поверхностью оптимального фильтрующего материала (фильтра) или электрода электростатического осадителя (преципитатора). По разнице масс фильтра или электрода после отбора пробы и до него вычисляют массу собранной пыли в заданных весовых единицах и рассчитывают ее концентрацию в воздухе.

Гравиметрический метод с применением мембранных фильтров является одним из самых распространенных при измерении запыленности окружающего воздуха. К достоинствам его относятся, прежде всего, простота анализа, небольшое число приборов и абсолютная сравнимость результатов измерения общей концентрации пыли независимо от типа применяемого прибора (аспиратора) и вида фильтрующего материала (фильтра). Основным недостатком одноступенчатых гравиметрических методов связан с тем, что они могут несколько исказить конечные результаты за счет улавливания крупных частиц пыли. Однако

этот недостаток может быть устранен последующим анализом дисперсного состава пыли или применением двухступенчатого метода измерения запыленности воздуха.

Основным достоинством двухступенчатого гравиметрического метода определения пыли в воздухе является возможность разделения ее частиц уже в момент отбора на две фракции - мелкодисперсную (респирабельную) и крупнодисперсную, а также получение важнейших параметров, характеризующих распределение твердых частиц, к которым, прежде всего, относятся общая концентрация пыли (выражаемая, например, в $\text{мг}/\text{м}^3$ воздуха), концентрация мелкодисперсной пыли (в $\text{мг}/\text{м}^3$) и доля (в процентах) мелкодисперсной фракции пыли в общей пробе. Естественно, что проницаемость первой ступени аспиратора (т.е. первого фильтра) должна соответствовать проницаемости верхних дыхательных путей человека. В настоящее время во многих странах именно двухступенчатый отбор пыли принят за стандартный.

При исследовании волокнистой пыли возникает необходимость определения так называемой счетной (штучной) концентрации частиц, т.е. содержания волокон в единице объема воздуха. Обычно для этих целей выполняют микроскопический анализ с использованием специальных прозрачных мембранных фильтров, которые в свою очередь использовались для отбора проб пыли. Фильтры анализируются в проходящем свете оптического или электронного микроскопа. Как правило, при анализе асбестовых волокон применяют бинокулярный микроскоп с фазовым контрастом и круговым окулярным измерителем, который может быть заменен и обычным линейным измерителем. Результаты анализов зависят от многих факторов, что определяет вероятность появления погрешностей. В настоящее время известно достаточное количество современных микроскопов и оптических устройств [73а], которые несомненно с успехом могут применяться при изучении асбестового волокна.

Совершенствованию методов подсчета асбестовых волокон способствуют разработки стандартных образцов (стандартных стекол) для контроля разрешающей способности микро-

скопа с фазовым контрастом. Одновременно с подсчетом волокон в обзорном поле микроскопа, на микрофотографии или на матовом стекле микроскопа проводят измерение их диаметра и длины.

В настоящее время для подсчета асбестовых волокон применяют в основном три основных метода микроскопии [94]:

- оптическую микроскопию с фазовым контрастом и нижней разрешающей способностью для диаметра волокна около 0,25 мкм;

- сканирующую электронную микроскопию с нижним пределом около 0,1 мкм;

- трансмиссионную электронную микроскопию с высокой разрешающей способностью около 0,02 мкм.

Достоинство метода счетной концентрации асбестовых волокон в воздухе заключается в том, что при его применении не требуется дополнительного определения содержания асбеста в общей пробе пыли. Во многих странах предельно допустимые концентрации (ПДК) асбеста (асбестовой пыли, асбестовых волокон) выражены именно числом волокон в единице объема воздуха (без учета общей концентрации пыли и ее состава). К сожалению, простого и надежного метода определения доли асбеста в общей пробе пыли до сих пор не существует. В некоторых случаях, например, для ориентировочной оценки содержания асбеста рекомендуют использовать данные по количеству несгораемого остатка в общей пробе пыли, т.е. тогда, когда в пробе, кроме асбеста, заведомо присутствуют другие вещества. Например, в США для определения асбеста в пробах пыли применяют два физико-химических стандартных метода, предложенных Национальным Институтом профессиональной безопасности и здоровья, а именно - дифференциальный термический анализ и рентгеновский дифракционный анализ.

В последние годы под эгидой Всемирной организации здравоохранения и Международной ассоциации асбеста были разработаны референтные методы измерения и оценки содержания асбестовой пыли, целью которых является достижение максимальной сравнимости результатов измерений волокнистой пы-

ли при широких эпидемиологических исследованиях [94;122; 156;145]. На сегодня не существует приемлемых стандартизованных аналитических методов для измерения асбестовых волокон в пищевых продуктах, почвах, донных отложениях. В пробах воды счетную концентрацию асбестовых волокон рекомендуют определять с помощью электронной микроскопии [72;217].

Основные трудности, возникающие при измерении концентраций асбестовой пыли в воздухе, связаны также с тем, что при влажной и холодной погоде в промышленных районах, загрязненных оксидами серы, образуется много твердых частиц сульфата кальция, имеющих сходство с волокнами (так называемые гипсовые волокна)-[184]. Они осаждаются на поверхность фильтра и затрудняют определение асбестовых волокон. Авторы цитируемой работы нашли решение этой проблемы в нагревании фильтров и разработали схему специального устройства и принципы ее использования при различных погодных условиях. Известны также попытки использовать для идентификации асбестовых волокон их специфические свойства, такие как цвет, структура, химический состав [187].

Когда эти нити соткутся в блестящую сетку...

Александр Блок

*Не разрушит его дождь разъедающий,
Ни жестокий Борей, ни бесконечная
Цель грядущих годов...*

Гораций

3. ВАЖНЕЙШИЕ СВОЙСТВА АСБЕСТОВ

В практической деятельности обычно асбестами называют разновидности минералов волокнистого строения, которые состоят из кристаллических агрегатов нитевидной формы, способных расщепляться на очень тонкие волокна (в сечении вплоть до молекулярных размеров) - [3;20;44;50;71; 76;77;78]. В природе известно много минералов, образующих волокнистые агрегаты. В частности, в форме нитей и волокон кристаллизуется множество силикатов, сульфидов, сульфатов, фосфатов, галогенов, оксидов и гидроксидов, боратов и других химических соединений [6;40;48;66;93]. Однако не все минералы, имеющие форму нитей, можно классифицировать как асбестовые. Понятие «минеральное волокно» предполагает минимальную продольную морфологическую единицу, которая может быть отделена от пучка, и представляет собой самостоятельное волокнистое образование, имеющее своеобразные физико-механические свойства. Как отмечал В.И.Вернадский, «наименование асбест применяют к довольно большому числу минералов, отличных друг от друга как по химическому составу, так и по физическим свойствам, но имеющих один общий признак - длинно- и тонковолокнистое сложение кристаллических агрегатов. Этот термин не определяет собою самого минерала, а лишь форму его выделения. Поэтому, употребляя слово «асбест», необходимо прибавлять к нему прилагательное, указывающее на минерал, слагающий асбест...» [16, с. 181]. А.Е.Ферсман [89] подчеркивал, что термином «асбест»

обозначают ряд разнообразных магнезиальных силикатов, характеризующихся выраженным волокнистым строением. Он также указывал на некоторую неопределенность этого понятия в научном отношении, поскольку в разное время и разными исследователями это название присваивалось почти 20 минеральным видам.

По мнению В.П.Петрова и Ю.К.Андреева [63], «асбест» - это не какая-либо определенная минералогическая разновидность, а структурный термин, который объединяет ряд минералов, группирующихся в две большие группы серпентинового асбеста и амфиболовых асбестов. В «Минералогической энциклопедии» [54] указывается, что название «асбест» применяется к нескольким разновидностям шелковистых или тонковолокнистых, гибких, относительно жаростойких минералов; в «Минералогическом словаре» Г.Штрюбеля и З.К.Циммера [95] сообщается, что асбест представляет собой собирательное название минералов группы серпентинов и амфиболов; в «Геологическом словаре» [19] асбестом названы все волокнистые минералы, обладающие способностью расщепляться на тонкие и прочные волокна. В знаменитом словаре В.И.Даля под асбестом (асбестовик, амиант, горный лен, каменный лен) понимается «ископаемое упругое, волокнистого свойства, которое, по нужде, прядется и даже тчется, образуя несгораемую ткань».

М.В.Соболева [78], называя асбест самым удивительным минералом в природе, подчеркивает, что он по сути является кристаллоидом. «Волокно» асбеста - совокупность бесчисленного множества кристаллитов, размеры и расположение которых в волокне и обуславливают ценные технические свойства, присущие асбестам. Асбестовые волокна являются единственными природными нитевидными кристаллами, нашедшими широкое практическое применение. Промышленная ценность асбестовых минералов определяется именно их волокнистым строением и способностью при механическом воздействии расщепляться на тончайшие волокна, а также такими свойствами последних, как эластичность, высокая прочность на растяжение, способность выдерживать высокие температуры без существенного изменения

физических свойств, химическая стойкость, тепло- и электроизоляционные свойства, высокая адсорбционная активность распущенных асбестов, их хорошая смачиваемость водой и способность образовывать гомогенные асбестовые суспензии.

По химическому составу асбестовые минералы являются водными силикатами магния, железа, натрия, кальция; возможны примеси других катионов. Силикаты (и алюмосиликаты) представляют собой важнейшую и обширную группу породообразующих минералов, которые классифицируются в основном по типам их рентгеноструктур [10;23;24;46;47;53;76]. Установлено, что в структуре каждого силиката атом кремния (радиусом 0,039 нм) находится в центрах тетраэдров, вершины которых обозначены атомами кислорода (радиусом 0,132 нм), т.е. в основе всех силикатов лежат комплексные анионы в виде кремнекислородных тетраэдров $[\text{SiO}_4]^{4-}$, которые различно сочетаются друг с другом (рис. 4).

В природных условиях асбестовые минералы встречаются в виде амфиболовых и серпентиновых асбестов, принципиально различающихся по своей структуре. Амфибол-асбесты относятся к силикатам ленточной структуры; серпентиновый (хризотилковый) асбест - к слоистым, или листовым, силикатам [23;24;44;47;77;91]. Ленточные силикаты представляют собой образования с непрерывными обособленными лентами или поясами из кремнекислородных тетраэдров, имеющих вид сдвоенных цепочек, лент или поясов; радикал структуры $[\text{Si}_4\text{O}^{11}]^{16-}$. Листовые силикаты характеризуются непрерывными слоями кремнекислородных тетраэдров, которые обособлены друг от друга и связаны катионами; радикал такой структуры $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$. У амфиболовых асбестов волокно состоит из бесчисленного множества «пластинок», в то время как волокно хризотил-асбеста представляет собой комплекс плотно прилегающих друг к другу трубочек. Особенности структуры определяют своеобразие многих свойств асбестов.

В малых количествах асбестовые минералы широко распространены в природе и обычно существуют в тонких жилах шириной около 1 мм и длиной около 5 см, закрытых в основной

породе. Принято различать асбест поперечно-волокнистый (волокна которого расположены поперек жилок или под прямым

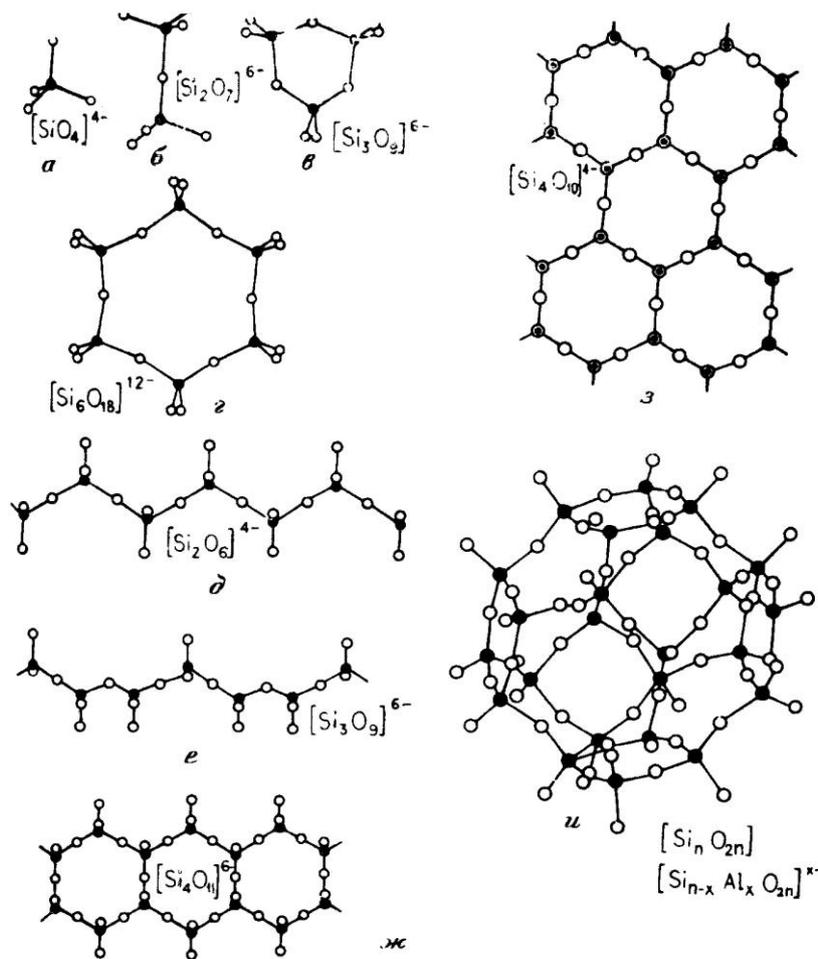


Рис. 4. Схемы расположения кремния и кислорода в силикатах. Силикаты: а-г - островные; д,е - цепочечные; ж - ленточные; з - слоистые или листовые; и - каркасные; и - каркасные; черный кружок - кремний; светлый - кислород.

углом к их стенкам), асбест продольно-волокнистый (волокна расположены вдоль стенок жилок) и асбест путано-волокнистый (порода, сплошь или частично состоящая из разнообразно расположенных пучков асбестовых волокон). Основную массу волокна хорошего качества дает именно поперечно-волокнистый асбест. В свое время А.Е.Ферсман [90] выделял так называемые пилотические разности нормальных асбестов, т.е. минеральные виды, по внешнему виду сближающиеся с амфиболовыми и серпентиновым асбестами, но имеющие спутанно-волокнистую структуру.

3.1. Хризотилковый асбест

Хризотил-асбест - водный силикат магния. Эмпирическая формула его $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. В целом для хризотил-асбеста различных месторождений характерен близкий химический состав, что обусловлено генетической связью их с ультраосновными породами [50]. Тем не менее, как правило, в природных условиях химический состав асбеста из-за явлений изоморфизма варьирует в широких пределах. Поэтому фактический состав его отличается от теоретического, прежде всего, содержаниями двух- и трехвалентного железа, замещающих катион магния, и алюминия, замещающего катионы магния и кремния (табл. 2). В хризотил-асбесте практически постоянно есть примеси кальция, магния, натрия, калия (доли процента, очень редко до 1% и более), а также никеля, ванадия, меди, хрома, фтора, марганца, цинка и др. (тысячные, сотые, реже десятые доли процента) - [7;16;20;28;32;38;40;50;52;53;76;90;94]. Как отмечает Б.Я.Меренков [50], железо может не только непосредственно входить в кристаллическую решетку хризотил-асбеста, но и присутствовать в виде железистых минералов, содержащихся в качестве механических примесей. Имеются сведения о содержании в асбесте полициклических ароматических углеводородов, в частности, бенз(а)пирена. Например, содержания последнего в асбестовых рудах Баженовского месторождения достигали 9,96 мкг/кг, увеличиваясь до 36,97 мкг/кг в коммерческом асбесте [7].

Т а б л и ц а 2. Химический состав основных типов асбестовых волокон, % [94]

Минерал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	H ₂ O
Хризотил	38-42	0-2	0-5	0-3	36-42	0-2	0-1	11,5-13
	43,3	-	-	-	43,7	-	-	13,0
Крокидолит	49-56	0-1	13-18	3-21	0-13	0-2	4-8	1,7-2,8
	51,3	-	17,2	23,0	-	-	6,6	1,9
Амосит	49-52	0-1	0-5	35-40	5-7	0-2	0-1	1,8-2,4
	50,4	-	-	41,4	6,3	-	-	1,8
Антофиллит	53-60	0-3	0-5	3-20	17-31	0-3	0-1	1,5-3
	61,5	-	-	-	36,2	-	-	2,3
Тремолит	55-60	0-3	0-5	0-5	20-25	10-15	0-2	1,5-2,5
	59,2	-	-	-	24,8	13,8	-	2,2
Актинолит	51-56	0-3	0-5	5-15	12-20	10-13	0-2	1,8-2,3
	57,0	-	-	8,5	19,1	13,3	-	2,1

Примечание: в числителе - вариации состава в природных условиях;
в знаменателе - теоретический состав.

Хризотил-асбест всегда содержит воду. Согласно исследованиям Ф.В.Сыромятникова [81], при 100°C происходит выделение гигроскопической воды (потери веса составляют 0,26-0,95%), при 400°C теряется адсорбционная вода (до 2,82%), при 700 - конституционная (11-19%), при 800°C наблюдается перестройка кристаллической решетки минерала. Предполагается, что способность к распушиванию и прочность асбеста зависят именно от содержания избыточной воды, часть которой, по видимому, заполняет пространство между элементарными волокнами и выполняет при распушивании роль смазки. Это, в частности, подтверждается тем, что при нагревании прочность асбеста уменьшается в зависимости от температуры и продолжительности прокаливания. Полностью прочность прокаленного асбеста восстанавливается только при нагревании до температуры не выше 200°C, частично - при нагревании до 220-240°C, а выше 420°C - не восстанавливается вообще. Понижение прочности связано с необратимыми явлениями в кристаллической структуре асбеста, обусловленных удалением воды.

Хризотил-асбест образуется в богатых магнием ультраосновных магматических породах и генетически связан с их перидотитовой формацией, локализуясь преимущественно в серпентинизированных гипербазитах. Таким образом, основные месторождения его приурочены к ультраосновным породам и образуются при их серпентинизации, т.е. в процессе гидротермального изменения горных пород, в ходе которого слагающие их безводные силикаты магния гидролизуются и преобразуются в минералы группы серпентина, а сами горные породы - в серпентиниты [24;26;32]. Серпентинит (змеевик) - горная порода, состоящая преимущественно из минералов группы серпентина, но включающая также хлорит, тальк, хромит, магнетит, гематит, реликты оливина. Серпентины - группа минералов подкласса слоистых силикатов, включающая различные структурные модификации и политипы состава $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$ [24;40;44]. Как отмечает Н.Д.Соболев [58], породообразующие серпентины имеют широкое распространение не только в ультраосновных породах, но и в других породах.

Среди серпентиновых минералов до середины настоящего столетия выделялось несколько десятков разновидностей (до 50). Рентгеноструктурные исследования позволили идентифицировать среди серпентинов три основные полиморфные модификации: хризотил, антигорит и лизардит. В каждой подгруппе выделяется несколько минеральных видов и разновидностей. В подгруппе хризотила различают три минеральных вида - клинохризотил, ортохризотил и парахризотил (а также несколько минеральных разновидностей)-[20;24;28;52; 58;77]. Кристаллы хризотил-асбеста существуют в трех указанных модификациях, но наиболее распространен клинохризотил, тонковолокнистая разновидность которого обычно и называется хризотил-асбестом.

Нормальный асбестоносный серпентинит представляет собой плотную породу, окрашенную в различные оттенки зеленоватого цвета, с занозистым изломом (рис. 5). Ромбический пироксен (составная часть перидотитов) при серпентинизации частично или полностью переходит в хризотил, образуя ясно различимые псевдоморфозы - кристаллы бастита, который резко выделяется на общем фоне своим бронзовым оттенком.



Рис. 5. Прожилки асбеста в змеевике, Баженовское месторождение [53]

Серпентинизация протекает в интервале температур от 400-500 до 90-100°C, причем при температуре выше 200°C образуется антигорит, ниже - лизардит и хризотил. При температурах выше 400-500°C серпентин переходит в тальк и форстерит, а при интенсивном химическом выветривании - в палыгорскит, сепиолит, монтмориллонит и затем в смесь опала с гидрооксидами алюминия [50]. С процессами серпентинизации связано образование большинства месторождений хризотил-асбеста. В осадочных магнезиально-карбонатных породах формируются контактово-метасоматические месторождения хризотил-асбеста, имеющие небольшие размеры, но представляющие промышленный интерес как источники безжелезистого асбеста.

Основу кристаллической структуры хризотил-асбеста составляют кремнекислородные анионы, связанные в непрерывные кремнекислородные цепочки, которые, в свою очередь, соединяясь попарно, образуют ленты или слои из указанных анионов, имеющих гексагональные ячейки [20;24;42;44;50;52;76;94]. В таком анионе три валентности тетраэдра $[\text{SiO}_4]^{4-}$ расходятся на связь с подобными себе тетраэдрами в ленте и только одна валентность остается свободной, при помощи которой (ионов кислорода) одна кремнекислородная лента может соединяться с другой подобной лентой (слоем). В конечном счете образуется слоистая структура, состоящая из плоских пакетов. Свободные ионы кислорода в двух смежных слоях обращены друг к другу и осуществляют связь двух кремнекислородных слоев в решетке кристаллов хризотил-асбеста через бруситовый слой. Брусит - $\text{Mg}(\text{OH})_2$ - характеризуется слоистой структурой, где каждый двойной слой гидроксильных групп включает слой атомов магния. Каждый атом магния находится в центре октаэдра из шести групп (ОН). Таким образом, хризотил-асбест представляет собой как бы комбинацию силикатных лент и бруситовых слоев. Бруситовый слой нейтрализует остаточные отрицательные валентности ионов кислорода кремнекислородных слоев. Такой своеобразный пакет представляет собой ионную структуру с прочными ковалентными связями, валентности ионов которой насыщены. Ионы кислорода на поверхности подобных пакетов не имеют свобод-

ных валентностей и связаны между собой лишь остаточными ван-дер-ваальсовыми силами. Именно поэтому слоистые гидросиликаты относительно легко расщепляются на отдельные слои.

Брэгг [9] со ссылкой на Уоррена подчеркивал, что самые тончайшие волокна хризотила состоят из индивидуумов, ориентированных во всех направлениях вокруг оси «с». Н.В. Белов (1956) отмечал, что хризотил-асбест имеет такую же атомную структуру, как и коалинит, но в асбесте ионы Al замещены ионами Mg, имеющего почти в 1,5 раза больший радиус, причем последний несколько «расталкивает» гидроксилы в основаниях магниевых октаэдров (наружных) по сравнению с укладкой атомов O₂ в основаниях кремнийтетраэдров (также наружных) - (рис. 6;7). Вследствие такого строения происходит изгиб - закручивание слоев (рис. 8;9). В большинстве случаев закручивание бывает полное, образуются своеобразные трубки, каждая из которых состоит из 9 пакетов. Считается, что при толщине более 10 слоев закручивание затруднено, хотя, судя по последним данным, вполне возможно. Поскольку рост хризотилового волокна вдоль трубки не ограничен, получается волокно, имеющее длину, во много раз превышающую толщину трубки.

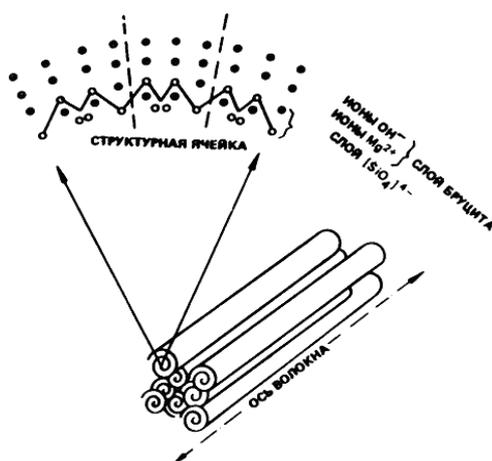


Рис. 6. Структура хризотилевых волокон (Уолтон, 1982) [94]

Таким образом, из всех гидросиликатов магния, имеющих слоистую структуру, только для кристаллов хризотил-асбеста характерна волокнистая морфология, обусловленная наличием так называемых главных асбестовых фибрилл с хорошей гибкостью. Фибрилла представляет собой самостоятельное волокно, которое уже не может быть разделено на меньшие составляющие без потери волокнистых свойств и изменения внешнего облика [4;94;214]. Как правило, большинство асбестовых волокон представляет собой фибриллы. Однако, некоторые волокна состоят из двух или более фибрилл, которые с трудом разделяются. Фибриллы хризотил-асбеста характеризуются трубчатым строением.

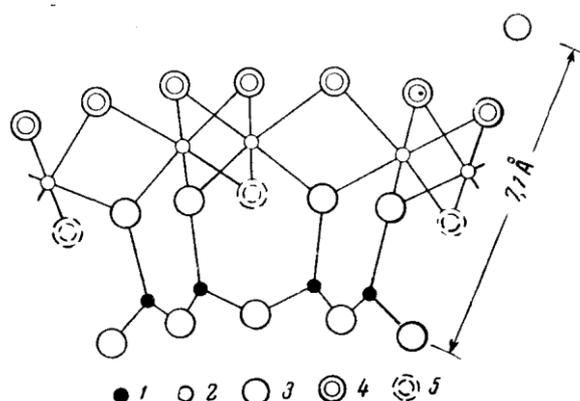
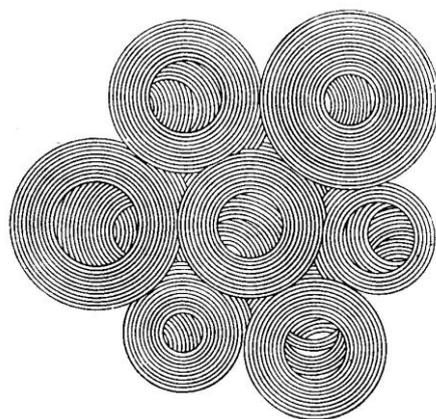


Рис. 7. Схема структуры хризотил-асбестового пакета.

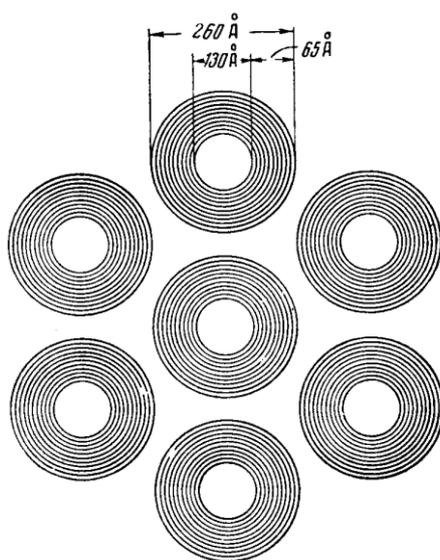
Изгиб пакета несколько преувеличен (по Н.В.Белову, 1965)

1 - атомы кремния; 2 - атомы магния; 3 - атомы кислорода; 4 - гидроксильные группы; 5 - гидроксильные группы, расположенные вне плоскости чертежа

Обычно форму трубочек имеют искривленные слоистые кристаллы, в соседних элементарных слоях которых размеры ячеек несколько различны, что в конечном счете и приводит к закручиванию кристалла в трубку. Стенка фибриллы асбеста об-



Р и с. 8. Упаковка трубочек и дуг в хризотил-асбесте
(по Е.И. Уиттекеру, 12957)



Р и с. 9. Изогнутые и сомкнувшиеся в трубки кристаллиты (волокна) хризотила в общей упаковке; поперечный разрез
(по Н.В. Белову, 1956)

разована концентрическими слоями, каждый из которых представляет собой элементарный серпентиновый пакет толщиной 0,73 нм. Наружный радиус фибрилл достигает 13-20 нм. Средняя толщина стенки элементарного волокна многих асбестов составляет 7-15 нм, т.е. соответствует укладке 10-20 слоев толщиной 0,73 нм. Радиус внутрифибрилярных пор практически одинаков для хризотил-асбеста различных месторождений и составляет до 5,5 нм.

Обычно в горных породах хризотил-асбест образует только жилы, в основном поперечно- и косоволоконистые, реже продольно-волоконистые; последние в некоторых генетических типах его месторождений могут преобладать. Мощность жил асбеста колеблется от долей мм до 8 см, редко до 15 см. В поперечно-волоконистых жилах длина волокна в лучшем случае равна мощности жил, чаще много короче в связи с наличием в них просечек магнетита и других минералов и вмещающих пород. Длина волокон хризотил-асбеста обычно составляет 0,5-2 мм, реже достигает 50 мм, очень редко - 150 мм. Как правило, содержание волокон длиной 20-30 мм не превышает 1%. Волокна асбеста делятся на твердые (с заполненными капиллярами) и мягкие.

Цвет хризотил-асбеста в куске изменяется от золотисто-желтого (хризос - золото, тилос - волокно) до зеленого, белого или серебристо-белого, редко красноватого и черного. Блеск шелковистый с переливами, излом неровный [44;52;53;78]. В распушенном состоянии волокна имеют белый цвет (именно поэтому хризотил-асбест в обиходе часто называют «белым асбестом»). Твердость хризотил-асбеста (вдоль волокна) по шкале Мооса 2-3, плотность 2,36-2,60 г/см³. В ультрафиолетовых лучах люминесцирует ярко-белым цветом. Иногда обнаруживает магнитность и полярный магнетизм [51;84;88].

Асбестовые волокна характеризуются большой удельной поверхностью. Так, полная расчетная величина удельной поверхности асбеста Баженовского месторождения составляет 50000 м²/кг [52]. Это, в свою очередь, предопределяет высокую адсорбционную активность волокон. Хризотил-асбест отличается также высокой способностью к набуханию, причем тем больше, чем

меньше длина волокон. При этом адсорбционная способность асбеста возрастает.

Хризотил-асбест в отличие от амфиболовых асбестов весьма щелочеустойчив, но сравнительно легко растворяется не только в сильных (например, в соляной), но и в слабых (уксусная) кислотах (табл. 3). При растворении железо и магний, входящие в состав асбеста, целиком переходят в раствор, а кремнезем остается в виде скелета, сохраняющего форму волокна [50;78].

Таблица 3. Растворимость асбестовых минералов [77]

Минерал	Потеря веса в % после обработки (с кипячением) в течение 2-х часов 255-ными растворами				
	HCl	CH ₃ COOH	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₄	NaOH
Хризотил	56,7	23,4	55,2	55,8	1,0
Актинолит	20,3	12,3	20,2	20,4	9,3
Тремолит	4,8	2,0	5,0	4,6	1,8
Крокидолит	4,4	0,9	4,4	3,7	1,4
Амозит	12,8	2,6	11,7	11,4	7,0
Антофиллит	2,7	0,6	3,2	2,7	1,2

Хризотил-асбесты по значениям электрокинетического потенциала на границе их волокон с дистиллированной водой разделяются на две группы. Волокно, не затронутое выветриванием, имеет положительный заряд. Так, асбест Баженовского и Актовратского месторождений имеет потенциал, равный +15 *mV*, а волокна Джетыгаринского и Киембаевского месторождений (с характерным нарушением за счет выветривания бруситового слоя) имеют потенциал -10 *mV* [52]. Хризотил-асбест обладает низкой электропроводностью, что, по-видимому, обусловлено степенью ионизированности низкотемпературной воды [78], тогда как определенная электропроводность его связана с наличием в нем примесей магнетита и магнитного оксида железа. Даже после механической очистки в асбесте остается небольшое количество сильно окисленного, равномерно диспергированного (в промежутках между элементарными волокнами) магнетита и

маггемита. На электропроводность влияет и FeO, изоморфно замещающий MgO [50].

Для хризотил-асбеста характерна плохая теплопроводность, он не горит, но высокая температура вызывает в нем необратимые процессы разложения. Обычно его основные свойства, прежде всего прочность и эластичность, сохраняются до 600-700°C. При температуре 1450-1550°C асбест плавится [51].

Важнейшая физико-механическая характеристика асбеста - прочность его на растяжение вдоль оси волокна. В зависимости от величины прочности на разрыв хризотил-асбест делится на три разновидности: а) нормальный асбест, б) полулomкий (или пониженной прочности), в) лomкий асбест (табл. 4).

Таблица 4. Прочность на разрыв волокна хризотил-асбеста, кг/мм² [51]

Тип асбеста	Характер люминесценции	Целое волокно	Волокно с одним изгибом
Нормальный	Ярко-белая	330-220	206-106
Полулomкий	Бледно-белая с желтым оттенком	215-189	92-43
Лomкий	Люминесценции нет	167-120	73-41

Лomкий и пониженной прочности асбесты образуются за счет изменения нормального хризотил-асбеста при воздействии на него высокотемпературных гидротермальных растворов. Они отличаются не только пониженной прочностью, но и некоторым снижением содержания оксидов магния и кристаллизационной воды, а также увеличением количества закисного железа. В зоне выветривания хризотил-асбест резко теряет свои первоначально высокие свойства и прочность.

Следует отметить, что в группе серпентина разными авторами выделяется целый ряд так называемых асбестовидных минералов, среди которых наиболее известны асбофит, ишкельдит, метаксит (подгруппа хризотила) и пикролит (подгруппа антигорита) - [10;28;44;52;77;90;91]. Асбофит выделен в 1946 г. Ф.В Лодочниковым и представляет собой разновидность жильно-

го хризотила. Метаксит («сырой шелк») отличается грубоволокнистой, шестоватой, иногда почти плотной структурой. А.Е.Ферсман относил его к асбестам, имеющим «структуру параллельно-волокнустую, невротическую... или просто волокнустую». Ишкельдит как самостоятельная структурная модификация (парахризотил) выделен в 1935 г. Ф.В.Сыромятниковым; внешне он похож на актинолит-асбест, по химическому составу близок к хризотил-асбесту, по оптическим свойствам - к антигориту. Пикролит, тесно связанный с месторождениями хризотил-асбеста, может образовывать самостоятельные скопления в виде линзовидных жил, примазок в трещинах. Ряд исследователей считают его волокнустой разновидностью антигорита.

В 1936 г. В.Н.Лодочников для обозначения большой группы разновидностей серпентина, встречающихся в литературе под различными названиями (офит, метаксит, пикролит и др.), предложил термин «серпофит». Общим для всех серпофитов является шестоватое строение с примерно параллельным расположением шестиков. Известны грубоволокнистые агрегаты, получившие название серпофит-асбест. Термин «офит», являющийся синонимом термина «серпентин», часто используется как собирательное название для жильных серпентинов.

3.2. Амфиболовые асбесты

Амфиболовые асбесты представлены минералами из группы амфиболов, наибольшее значение из которых имеют крокидолит-, антофиллит-, амозит-, режикит-, родусит-, рихтерит-, тремолит и актинолит-асбесты [3;4;23;47;53;54;57;63;69;71;73;77;78;94;95].

Амфиболы являются весьма распространенными породообразующими минералами метаморфических и изверженных пород с общим составом: $X_2Y_2[(OH,F)_4Z_4O_{11}]_2$, где $X=Ca, Na, K, Mn, Mg, Fe^{2+}$; $Y= Mg, Al, Mn, Cr, Li, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Ti^{3+}$, причем $Al:Si > 1:3$. По относительной распространенности в земной коре амфиболы занимают четвертое место и сравнимы с минералами груп-

пы пироксенов. Их среднее содержание в горных породах оценивается в 7-8%. Термин *amphibolos* (неясный), предложенный в 1801 г. Гаюи, очень удачно отражает разнообразие химического состава и внешнего вида минералов этой группы.

Существенной особенностью структуры амфиболов является присутствие кремне-алюмоокислородных тетраэдров $[(Si,Al)_4O_{11}]_n$, соединенных в двойные цепи, или ленты. Амфиболы - ленточные силикаты и алюмосиликаты (см. рис. 4). По составу среди них выделяют несколько изоморфных рядов: антофиллита-жедрита, куммингтонита-грюнерита, тремолита-актинолита, роговой обманки, рихтерита и арфведсонита, глаукофанарибекита, базальтической роговой обманки, холмквистита. Амфиболы, богатые натрием, называются щелочными. Как правило, амфиболы образуют удлиненные призматические кристаллы, шестоватые, игольчатые или тонковолокнистые агрегаты. Последние и представляют собой асбесты. Структура амфиболов допускает большое разнообразие ионных замещений, поэтому минералы данной группы очень изменчивы по химическому составу [3;21;23;28;46;54; 63;71].

Амфиболовые асбесты образуются в процессе амфиболизации в результате преобразования других минералов, преимущественно пироксенов. Амфиболизация осуществляется в осадочных, магматических и метаморфических породах вследствие региональных метаморфических преобразований или локальных, вызванных влиянием интрузии. В природе волокнистые разновидности амфиболов встречаются сравнительно редко; еще реже встречаются промышленные скопления, образующие месторождения. Последние принадлежат к типу гидротермально-метасоматических, образовавшихся в условиях умеренных и больших глубин, и приурочены к породам разнообразного состава.

Среди асбестовых минералов амфиболовой группы различают четыре класса: магнезиальные и магнезиально-железистые (антофиллит, куммингтонит); кальциевые (тремолит, актинолит); щелочесодержащие (рихтерит); щелочные (крокидолит, режикит, родусит)-[3;44;47;63]. Реальный химический состав

амфиболовых асбестов, также как и хризотил-асбеста, отличается от теоретического (табл. 2;5).

Минералы амфиболовой группы имеют 7 катионов в молекуле и отличаются прежде всего различными комбинациями катионов Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Ca, Na. Катионы Mg и Fe²⁺ взаимосвязаны. В качестве примесей амфибол-асбесты могут содержать фтор, марганец, титан, калий, цинк и другие элементы, а также определенное количество воды, характерной для силикатов [44;46;47;66;77;78]. В амфиболе обязательно присутствует летучее вещество, обычно гидроксил, который иногда в той или иной степени замещается фтором, хлором и другими ионами. Кристаллы амфиболов образуют широкий круг различных форм: от зерен правильной геометрической формы через иглы и волокна до асбестовых фибрилл.

Таблица 5. Амфиболы и их волокнистые разновидности [3]

Минерал	Химический состав	Волокнистые разновидности
Ромбические амфиболы		
Автофиллит	(MgFe) ₇ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	Автофиллит-асбест
Жедрит	(MgFe) ₆ (AlFe)[Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	
Безнатриевые моноклинные амфиболы		
Купферит	Mg ₇ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	Амозит-асбест Тремолит-асбест Актинолит-асбест
Куммингтонит	(MgFe) ₇ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	
Грюнерит	Fe ₇ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	
Тремолит	Ca ₂ Mg ₅ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	
Актинолит	Ca ₂ (MgFe) ₅ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	
Хольмквистит	Li ₂ Mg ₅ Fe(FeAl) ₂ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	
Натриевые моноклинные амфиболы		
Эденит	NaCa ₂ Mg ₅ [(SiAl) ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	Родусит-асбест и крокидолит
Кокшаровит	NaCa ₂ Mg ₃ Al[(SiAl) ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	
Роговая обманка	NaCa ₂ (MgFe) ₄ (AlFe)[Si ₄ O ₁₁](OH) ₂	
Гастингсит	NaCa ₂ (MgFe) ₄ (FeAl)[Si ₃ AlO ₁₁](OH) ₂	
Озаннит	NaFe ₆ Fe ₄ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	
Эккерманит	Na ₈ Mg ₄ Al ₂ Fe ₂ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	
Арфведсонит	Na ₃ Ca(FeMg) ₁₀ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	
Глаукофан	Na ₄ (MgFe) ₇ Al ₄ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	
Mg-рибекит	Na ₄ (MgFe) ₆ Fe ₄ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	
Fe-рибекит	Na ₄ Fe ₆ Fe ₄ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	
Кроссит	Na ₄ (MgFe) ₆ (FeAl) ₄ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	
Режикит	Na ₅ (MgFe) ₁₀ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	Режикит-асбест Рихтерит-асбест
Рихтерит	Na ₂ Ca ₂ Mg ₁₀ [Si ₁₆ O ₄₄](OH) ₄	

По кристаллографическим свойствам асбестовые амфиболы делятся на ромбические (антофиллит) и моноклинные (тремолит, актинолит, крокидолит и др.). В основе структуры амфиболов лежат, как уже отмечалось, бесконечные ленты алюмокремнекислородных тетраэдров, образующие шестичленные звенья. Основная решетка складывается из двух слоев тетраэдров кремния, разделенных слоем октаэдров с центральными катионами. Каждое отдельное звено в цепи содержит восемь тетраэдров кремния (по четыре с каждой стороны), связанных вместе общими кислородными атомами с семью центральными катионами. Две свободно размещенные гидроксильные группы внутри звена также связаны с катионами. Эти цепи боковыми сторонами в свою очередь связаны в ступенчатые образования. Боковые связи более слабые, чем связи внутренних цепей, что и обуславливает способность асбестов к расщеплению на волокна (рис. 10). Структурные причины возникновения асбестовых форм амфибола до конца ясны. Известно, что характерным свойством кристаллической структуры большинства волокнистых амфиболов является то, что отдельные атомные цепи повернуты вокруг своей оси на различные углы, образуя так называемые асбесты вращения. Есть мнение, что все амфиболовые асбесты являются асбестами вращения.

Амфибол-асбесты характеризуются поперечно-волокнистым или продольно-волокнистым расположением по отношению к стенкам трещин во вмещающих породах. Встречаются амфибол-асбесты, пучки волокон которых ориентированы в горной породе беспорядочно, в различных направлениях, образуя иногда радиально-лучистые скопления, что особенно характерно для антофиллит-асбеста. Среди амфиболовых асбестов встречаются каменистые разновидности, разновидности с грубой, шестоватой текстурой, волокна которых хрупкие и ломкие.

Волокна амфиболовых асбестов обладают хорошей химической стойкостью к кислотам и щелочам. Наиболее стойкий - антофиллит, наименее - актинолит-асбест. Супертонкие волокна крокидолита имеют диаметр менее 0,02 мкм, как и волокна хризотил-асбеста, а диаметр тончайших амоситовых волокон состав-

ляет 0,02-0,04 мкм. Волокна крокидолита отличаются высокой эластичностью, они более тонкие и упругие по сравнению с волокнами остальных амфиболовых асбестов. Антофиллитовые, актинолитовые и тремолитовые волокна сравнительно более слабые и хрупкие, из-за чего они все имеют незначительное промышленное применение. Волокна амфиболовых асбестов менее прочны на разрыв, нежели волокна хризотил-асбеста.

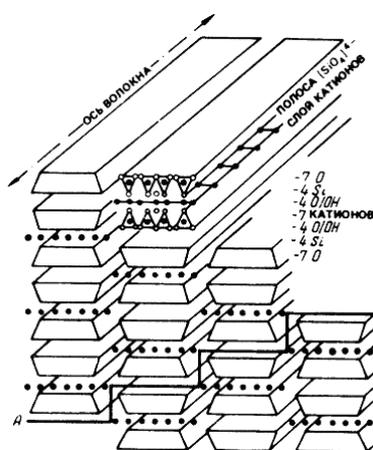


Рис. 10. Структура амфиболовых волокон (Уолтон, 1982)-[94]

Для обозначения мягких разновидностей амфибол-асбестов часто употребляют название «амиант»; термин «биссолит» (т.е. лен-камень) употребляется одними авторами в значении хрупкий амфибол-асбест, другими - в значении роговообманковый асбест [44].

Важнейшие особенности и свойства основных разновидностей амфиболовых асбестов, имеющих практическое значение, описаны в многочисленной литературе [3;10;16;23;28;34а;40;42;43;46;47;49;54;57;63;66;69;73;77; 78;88].

Антофиллит-асбест - единственный из всех амфиболовых асбестов обладает ромбической сингонией и встречается в виде радиально-лучистых и пучковатых агрегатов, реже в виде волок-

на, ориентированного параллельно стенкам вмещающей трещины. Он обладает желтовато- или коричневатого-серым, иногда зеленым и серовато-белым цветом; плохо расщепляется на тонкие волокна, поэтому прядильные свойства его хуже, чем у хризотил-асбеста. Сопротивление разрыву сравнительно слабое (1350-2600 МПа) и резко понижается при нагревании и деформации. Температура плавления 1300°C. Однако именно антофиллит-асбест отличается наибольшей кислотоустойчивостью. Достаточно устойчив он и против действия щелочей. Волокно асбеста обычно короткое, хотя и может достигать нескольких сантиметров. Обогащенный натрием антофиллит-асбест в свое время А. Винчеллом (1945) был назван антолитом. Известны железистые антофиллиты с содержанием FeO до 10,7%. По оптическим свойствам антофиллит-асбест полностью соответствует неволокнистым разновидностям антофиллита. Удельный вес 2,8-3,53, твердость 5,5-6. Месторождения этого асбеста связаны с оталькованными карбонатизированными серпентинитами, образовавшимися за счет пироксенитов, которые постепенно переходят в перидотиты. Изредка встречается антофиллит-асбест как контактовое образование на контакте гранитоидов с известняками. Название этого минерала происходит от латинского слова *anthophyllum*, т.е. гвоздика, что связано с характерным гвоздично-коричневым его цветом.

Тремолит- и актинолит-асбесты представляют собой тонковолокнистые минералы обычно серебристо-белого (тремолит) и зеленоватого (актинолит) цвета, как правило, отличающиеся длинным волокном (до десятков см). Вариации их состава определяются соотношением тремолитовой и ферротремолитовой частей. Тремолит, содержащий свыше 5% FeO, получил в практике название актинолита (актинолит-асбеста). Удельный вес тремолита 2,8-3,1, актинолита 3,1-3,3; твердость 5,6-6. Тремолит-асбест обладает высокой кислотостойкостью, актинолит более растворим в кислотах. Прочность волокон этих асбестов на разрыв невысокая. Тремолит-асбест характеризуется высокими диэлектрическими свойствами. Во вмещающих породах (амфиболитизированные перидотиты, тальк-карбонатные и вулканогенные породы, мраморы, медноколчеданные руды и др.) асбесты обра-

зуют скопления продольноволокнистых агрегатов, параллельных плоскостям скольжения, смещения, слоистости. Поперечно-волокнистые выделения тремолит-актинолитовых асбестов, по-видимому, редки. В коре выветривания эти асбесты теряют прочность волокна. Характерной особенностью их является довольно высокое содержание фтора: в тремолите-0,08-2,34%, в актинолите - до 1,2%. Название актинолит происходит от греческого слова *aktis*, т.е. луч (лучистый камень), а тремолит - от местности Вал-Тремолы в Швейцарии.

Минералы серии куммингтонита-грюнерита типичны для контактно и регионально метаморфизованных пород. Магнезиальные члены серии встречаются также в некоторых изверженных породах. Среди куммингтонит-асбестов наиболее известен амозит-асбест, который является коммерческим продуктом, состоящим преимущественно из грюнерита (отсюда другое его название - волокнистый грюнерит) с изменяющимся количеством тремолит-актинолита (название от фирмы «АМОЗА» в ЮАР). По химическому составу близок к крокидолиту, но отличается повышенным содержанием Al_2O_3 и отсутствием щелочей. Он характеризуется коричневатыми оттенками, поэтому его часто называют коричневым асбестом. Высококачественное амозитовое волокно получило торговое название «монтазит» (от название рудника «Монтаза» в ЮАР). Принято различать амозит эластичный и амозит неэластичный. Монтазит разделяют на белый мягкий (более прочный) и бурый мягкий (менее эластичный). Амозит обладает длиной волокон до 25 см, но отличается менее совершенной расщепляемостью на тонкие волокна. Температура плавления 1100°C. Прочность волокна высокая, но резко снижается после даже небольшой деформации, что ограничивает его использование в качестве пряжи. Амозит чаще всего встречается в виде продольно-волокнистых жил, иногда вместе с крокидолитом в тех же железисто-кремнистых вмещающих породах. Монтазит по своим оптическим свойствам, рентгеноструктурным характеристикам и химическому составу практически аналогичен амозиту, но обычно содержит несколько меньше кремнезема.

Крокидолит - волокнистая разновидность рибекита - обладает красивым голубым, даже синим цветом (отсюда синий асбест, его называют также рибекит-асбестом или капским асбестом). Удельный вес его 3,2-3,3. Этот минерал образует волокна, близкие по прочности к волокнам хризотил-асбеста нормальной прочности. При нагревании прочность волокон крокидолита снижается. Температура плавления 1150°C. Типичная длина волокон 15-30 мм, но иногда она достигает 75 мм. При выветривании крокидолит становится ломким; некоторые выветрелые разновидности его получили название грикваландита. Крокидолит встречается обычно в виде поперечно-волокнистых жил мощностью до 7-8 см в полосчатых железистых роговиках, песчаниках, кварцитах, яшмах.

Режикит-асбест (наряду с родусит-асбестом) иногда называют голубым асбестом (в связи с его серо-голубой окраской). Некоторые исследователи относят его к арфведсониту или к магнезиальной разновидности последнего (магнезиоарфведсонит-асбест). По механической прочности волокон различают прочный и ломкий режикит-асбесты. Обычно прочные разновидности отличаются более ярко выраженным шелковистым блеском и более интенсивной голубой окраской с зеленым или сероватым оттенком. Удельный вес асбеста 2,9-3,3, а у ломких разновидностей несколько меньше. Щелочеустойчивость и кислотоустойчивость его достаточно высокие. Режикит-асбест обладает очень сильной сорбционной способностью, легко поглощает жидкие и газообразные продукты и является прекрасным фильтрующим материалом. В воде он набухает, заметно увеличиваясь в объеме. В процессе поверхностного выветривания теряет прочность волокна. Характерная особенность режикит-асбеста - высокое содержание натрия, относительно высокое количество магния и сравнительно малое суммарное содержание железа. Этот тонковолокнистый асбест залегает обычно в виде продольно-волокнистых, реже косоволокнистых прожилков мощностью до нескольких см и длиной волокна до 70 см. Минерализация его приурочена к серпентинитам, к зоне контакта тальк-карбонатных пород с карбонатизированными змеевиками.

Родусит-асбест является волокнистой разновидностью магнезиального рибекита и по химическому составу представляет собой железисто-магнезиальный силикат натрия. В зарубежной литературе его нередко называют крокидолит-асбестом, хотя последний является железистым силикатом натрия и отличается от родусита как по составу, так и по свойствам. Свое название родусит получил от острова Родос, где он был впервые обнаружен. Родусит-асбест обладает голубовато-синим цветом, довольно легко распушивается на тонкие эластичные волокна, прочность которых около 1700 МПа; отличается высокой кислото- и щелочеустойчивостью. Удельный вес его 2,9-3,21. В воде набухает и обладает высокой сорбционной емкостью. В структурном отношении родусит соответствует режикиту. Месторождения родусит-асбеста имеют сравнительно широкое распространение и известны во многих странах мира. Особенно распространена родусит-асбестовая минерализация, приуроченная к маложелезистым известняково-доломитистым аргиллитам. По форме выделения родусит-асбеста различают два типа - жильный и вкрапленный. В общем случае жилы родусит-асбеста подразделяются на беспорядочно пучковатые мощностью около 0,5 см, поперечно-столбчатые до 0,5-1 см и спутанно-волокнистые. На отдельных месторождениях мощность жил может достигать 10-40 см. Вкрапленный тип минерализации родусита обычно представляет собой выполнение пустот выщелачивания минералов-вкрапленников. По текстурным особенностям и свойствам принято различать прочный родусит-асбест и ломкий родусит-асбест. Волокна родусита могут достигать длины 40 см и более.

Рихтерит-асбест принадлежит к серии моноклинных щелочноземельных амфиболовых асбестов. Как правило, натриевый рихтерит-асбест распространен шире, чем калиевый. Некоторые исследователи предлагают рассматривать рихтерит-асбест как тремолит-асбест, в котором часть атомов кальция замещена атомами натрия. Асбест имеет белую, светло-серую, иногда желтую, бурую и даже фиолетовую окраски. Известны в основном ломкие коротковолокнистые разновидности, реже прочные и эластичные. Удельный вес варьирует в пределах 2,93-3,01. Рихтерит-асбест

является достаточно кислото- и щелочеустойчивым минералом. Он встречается в некоторых термально метаморфизованных известняках и скарнах, в жилах в щелочных магматических породах, в авгитовых сиенитах, вблизи контактов их с магнезиальными карбонатными породами. По характеру выделения различают два типа: жильные выполнения и вкрапленный тип.

Считается, что среди амфиболовых минералов не исключено существование и других волокнистых разновидностей, которые, однако, представляют главным образом минералогический интерес [63]. Например, среди минералов серии экерманит-арфведсонит известен асбестовидный экерманит, или натровый асбест.

В последние десятилетия большое внимание уделялось искусственному синтезу амфиболовых асбестов, главным образом группы щелочных. Синтез их осуществляется преимущественно в гидротермальных условиях или из расплава [21;34а;65;88].

3.3. Товарный и распушенный асбест

Наибольшее промышленное значение имеет хризотил-асбест, на долю которого приходится до 96% мировой добычи асбестовых минералов. Из асбестов амфиболовой группы практическое значение представляют крокидолит и амозит, в меньшей степени антофиллит, добыча и производство остальных разновидностей в промышленных масштабах практически не осуществляются. Таким образом, именно с белым (хризотил), синим (крокидолит) и коричневым (амозит) асбестами и связываются основные эколого-гигиенические проблемы.

Горные породы, содержащие асбест, называются асбестовыми рудами. Единых требований к последним не существует. Как правило, на разрабатываемых месторождениях технические условия добычи устанавливаются в зависимости от технологических схем обогащения и заданного сортамента продукции [20;52;96]. Качество руд оценивается по содержанию асбеста и

составу волокна, определяемых механическим ситовым анализом на стандартных аппаратах (грохотах с соответствующими ситами). В свое время в СССР к промышленному асбесту относили волокно длиннее 0,5 мм, в некоторых странах - длиннее 0,25 мм.

Месторождения асбеста обычно разрабатываются открытым способом с применением массовых взрывов. Рудная масса поступает затем на обогатительные фабрики. Обогащение асбестовой руды основано на меньшей прочности связи жил асбеста с включающими породами по сравнению с прочностью самих пород и на большей удельной поверхности волокон асбеста по сравнению с удельной поверхностью раздробленной породы [7;10а;9б]. Переработка рудной массы на обогатительных фабриках включает: 1) предварительное дробление руды, 2) сушку, 3) вылеживание (4 суток), 4) многостадийное (4-6 раз) последовательное дробление с извлечением после каждой серии свободного волокна с качающихся грохотов отсасыванием и осаждением в циклонах. Многостадийность обеспечивает лучшую сохранность волокна. Обычно выход асбеста из руды составляет 3-8% по массе последней. В Канаде многостадийное дробление иногда осуществляют в мельницах типа «Аэрофол» с непрерывным удалением волокон асбеста. Средняя мощность обогатительных фабрик составляет 330 тыс. т/год.

Указанные «сухие» способы обогащения обладают определенным недостатком, та как одновременно с асбестом из руды отсасывается тонкодисперсный и мелкораздробленный материал («пыль» и «галя» соответственно). Поэтому приходится применять перечистку путем дополнительного просева полезного концентрата на качающихся грохотах с отсасыванием волокон асбеста. Очищенные волокна разделяются на сорта на специальных ситах и обычно упаковываются в четырех-шестислойные бумажные мешки или в синтетические мешки. В мешки асбест затаривается насыпным способом или в виде предварительно уплотненных брикетов. Мешок с асбестом имеет массу в 30 кг, брикет - 45 кг [7]. Асбест подлежит транспортировке в крытых, очищенных от ранее перевозимых грузов, транспортных средствах [10а]. Хранят его в закрытых складах или на открытых площадках в

синтетической таре, закрытой влагонепроницаемым материалом. Классификация товарного хризотил-асбеста по нормам, маркам и группам определяется характером его применения в различных изделиях. Например, в Канаде товарный асбест делят на 8 групп по результатам ситового анализа средних образцов. В СССР было установлено деление товарного хризотил-асбеста механического обогащения на 8 сортов (от 0 до 7) в зависимости от длины волокна и засоренности пылью и галей, а в зависимости от текстуры (степени сохранности агрегатов волокна, т.е. распушки) - на три группы: жесткую, полужесткую и мягкую (табл. 6). При маркировке асбеста буквы означают: АК - асбест кусковой, ДВ - длинноволокнистый, Ж - жесткая группа - асбест вырабатывается из отборной руды ручной сортировки, ПРЖ - промежуточная - асбест вырабатывается из руды селективной выемки, предварительно обогащенной в цехе дробильно-сортировочного комплекса, П - полужесткая - асбест вырабатывается из руд механизированной добычи, М - мягкая - асбест вырабатывается из руд механизированной добычи. Асбест мягкой группы, получаемый из продуктов осаждения пылеочистных сооружений, обозначается буквой К. На действующих ныне фабриках еще один сорт (8-й) практически не производится.

В зависимости от сочетания группы и сорта асбестовая промышленность СССР выпускала 39 марок асбеста, имеющих свою маркировку, например, П-3-70, где «П» - полужесткая группа, «3» - сорт, «70» - гарантирует минимальный остаток волокна, т.е. % для асбеста данной марки на основном сите контрольного аппарата, а для асбеста 7-20 сорта - средняя плотность. Асбест выше 3-го сорта относится к наиболее дорогим и дефицитным (так называемые текстильные сорта). Асбест 7 сорта содержит наиболее короткое волокно. В производстве асбестоцементных изделий обычно используют асбест 3-6 сортов полужесткой и мягкой групп и 23 марок.

Классификация амфиболовых асбестов в большинстве стран основана на длине волокна. Определение сортности их также производится на специальных контрольных аппаратах. Для антофиллит-асбеста в СССР был предусмотрен выпуск сортов

Таблица 6. Сорта и марки хризотил асбеста [77]

Сорта	Группы по степени распушки				Применение
	жесткая	промежуточная	полужесткая	мягкая	
	марки				
0	АК				Текстильные изделия
	ДВ-0-80				
	ДВ-0-55				
1	Ж-1-50	ПРЖ-1-75			
	Ж-1-38	ПРЖ-1-50			
2	Ж-2-20	ПРЖ-2-30	П-2-30		
		ПРЖ-2-15	П-2-15		
3	Ж-3-40		П-3-70 П-3-60 П-3-50	М-3-70 М-3-60	Асбестоцементные изделия
4			П-4-40 П-4-30 П-4-20 П-4-5	М-4-40 М-4-30 М-4-20 М-4-5	
	5			П-5-67 П-5-65 П-5-52 П-5-50	
			П-6-45 П-6-30	М-6-40 М-6-30	
6				К-6-45 К-6-30 К-6-20	Теплоизоляционные изделия и изделия для производства пластических масс
				К-6-5	Асбестосмоленные плитки
7				7-300 7-370	Теплоизоляционные изделия

АН-1-42 и АН-2-12, у которых остаток на сите 1,35 мм составляет соответственно не менее 42 и 12%, а массовая доля пыли (частиц размером менее 0,25 мм) - не более 10 и 20%. В антофиллит-асбесте сорта «смеска-42» остаток на сите 1,35 мм должен быть не менее 42%, а массовая доля пыли - не более 13% [71].

Товарный хризотил-асбест состоит из смеси волокон различной длины и их агрегатов, а также неволокнистых примесей. Агрегаты асбеста с недеформированными волокнами, имеющими в диаметре не менее 2 мм, условно называют «*кусковым асбестом*», а имеющие в диаметре менее 2 мм - «*иголками*». Асбест, в котором волокна деформированы и перепутаны, называют «*распушенным*» [7]. Обычно частицы товарного асбеста представляют собой грубодисперсные асбестовые иголки и пучки. Поэтому производят расщепление их на волокна, т.е. осуществляют распушку асбеста. Под распушиваемостью асбеста подразумевают способность агрегатов при физико-механическом и гидродинамическом воздействиях распадаться на тонкие волокна [7]. Среди российских асбестов наибольшей распушиваемостью обладает Баженовский хризотил-асбест. Цель распушки - увеличение количества волокон и уменьшение их толщины. Степень распушки обычно характеризуется средней величиной условного диаметра получаемых волокнистых частиц или их внешней удельной поверхностью. Условный диаметр - это диаметр круга, площадь которого равновелика площади поперечного сечения асбестового волокна. При распушке изменяется дисперсность и форма частиц, содержащихся в товарном асбесте. Диаметр волокон колеблется, как правило, от нескольких мкм до 40-50 мкм. В процессе распушки изменяются и некоторые физико-химические свойства самого асбеста. В частности, хризотил-асбест приобретает ярко выраженный белый цвет. Кроме того, происходит снижение прочности волокна. Поэтому принято различать прочность недеформированного, товарного и распушенного асбестов. Модуль упругости недеформированного волокна Баженовского хризотил-асбеста составляет 175-185 ГПа. Прочность недеформированного асбестового волокна длиной 2-10 мм - 3200-4300 МПа. Фабричное обогащение асбестовой руды приводит к снижению прочно-

сти при растяжении волокна до 800 МПа; обработка товарного асбеста в бегунах и голлендере - до 700 МПа. Тем не менее и эти величины прочности не уступают прочности лучших сортов арматурной стали [52].

По характеру применения и длине волокна коммерческий хризотил-асбест разделяют на три основные группы сортов [43]:

1) текстильный асбест (охватывает группу сортов 1-3 с длиной волокна более 8 мм) используется для производства асбестовой пряжи и тканей, которые применяются при производстве соответствующих изделий (защитные огнестойкие костюмы, брезенты, противопожарные занавеси, тормозные ленты, диски сцепления, различные набивки для машин, уплотняющие прокладки, электроизоляционные ленты и шнуры, фильтры, палладрированные и платинированные асбесты, которые используются в качестве катализаторов в химических производствах и др.);

2) шиферно-картонно-бумажный асбест (сорта 4-5 с длиной волокна 2-8 мм) используется при производстве огнестойкого, прочного и легкого кровельного материала, асбестоцементных труб, для получения асбестовой бумаги и картона, для изготовления различных тепло- и электроизоляционных смесей, в том числе теплостойких пластмасс;

3) цементный, или строительный, асбест (сорта 6-7 с длиной волокна 0,2-2 мм) используется в производстве различных асбестоцементных изделий, огнеупорных красок, теплоизоляционных смесей, асбошпал, асбесто-асфальтовых тротуаров.

Подобное разделение в значительной мере является условным, поскольку, например, в асбестоцементной промышленности используются сорта более высокого качества.

Амфиболовые асбесты применяются для тех же целей, что и хризотил-асбест, но главным образом для изготовления кислото- и щелочеупорных изделий и изделий, стойких к действию морской воды. Крокидолит-, режикит- и родусит-асбесты, обладающие высокой адсорбционной способностью, применяются для изготовления фильтров, удерживающих радиоактивную пыль и газы.

*Как лучше в мире не было творенья,
Так горше в мире не было печали...*

Микеланджело

Взгляни, как злобно смотрит камень...

Николай Гумилев

4. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ И ТОКСИЧНОСТЬ АСБЕСТА

К настоящему времени выполнены обширные работы по гигиенической оценке и изучению биологического влияния асбестовых волокон на организм человека, в основу которых положены исследования воздействия асбеста на человека в производственных условиях, а также эксперименты с лабораторными животными. Установлено, что при непосредственном контакте асбест может внедряться в эпидермис, который реагирует гиперкератозом и клеточной пролиферацией с гигантскими клетками. Образующиеся «асбестовые бородавки» чаще всего локализуются на сгибательных поверхностях конечностей [17]. Они наиболее распространены у рабочих асбестотекстильного производства. Есть данные о цитотоксичности асбеста, причем повреждающее действие хризотил-асбеста на клеточную культуру макрофагов либо на эритроциарную взвесь более выражено, нежели амфиболовых асбестов.

Экспериментальные и эпидемиологические исследования свидетельствуют о мутагенном и канцерогенном действии асбеста. При этом широко распространенные бытовые факторы - алкоголь, кофе, а также бенз(а)пирен в составе курительной смолы - обладают выраженным модифицирующим эффектом в отношении мутагенного действия асбеста [85].

Известен синергизм между бенз(а)пиреном и асбестом (генные мутации на клетках трахеи человека), а также синергизм между радиацией и асбестом (тест клеточной трансформации).

В общем случае у лиц, длительное время контактирующих с асбестом, вероятно возникновение асбестоза, гиалиноза и кальцификации плевры, рака легких, мезотелиомы легких и брюшины, заболеваний других органов.

4.1. Асбестоз

В условиях производственной деятельности минеральная пыль при длительном вдыхании может вызвать развитие хронического профессионального фиброза легких, известного под названием пневмокониоза, объединяющего все многочисленные виды фиброза легких [2;22;36;80]. Существующая классификация пневмокониозов основана на этиологическом принципе с учетом рентгенологической и клинической картины заболевания. В зависимости от вида производственной пыли различают следующие шесть групп пневмокониозов: силикоз (воздействие агрессивной пыли кремнезема), силикатозы (асбестоз, каолиноз, нефелиноз, оливиноз, талькоз и др.), металлокониозы (баритоз, станиоз, сидероз, бериллиоз и др.), карбокониозы (антракоз, графитоз и др.), пневмокониозы от смешанной пыли (сланцевый, огнеупорщиков, сталеваров, газорезчиков и др.), пневмокониозы от органической пыли (биссиноз и др.). По степени выраженности соответствующего процесса различают три стадии поражения - I, II и III, а также переходные формы - I-II и II-III.

Асбестоз относится к группе силикатозов, т.е. пневмокониозов, возникающих от вдыхания пыли силикатов - минералов, содержащих диоксид кремния в связанном состоянии (с оксидами кальция, магния, железа, алюминия и др.). Для силикатозов характерна, как правило, интерстициальная форма пневмокониоза. Обычно асбестоз описывается как хроническая воспалительная реакция в конечных бронхиолах и альвеолах легких с выраженным фиброзом, приводящая к растяжению и в конечном счете к закупорке альвеол [72]. Асбестоз как особая форма пневмокониоза характеризуется диффузным прорастанием соединительной ткани, особенно в нижние легочные доли. Данное про-

растание не особенно заметно, причем даже при анатомическом исследовании на срезе легких видно не очень ясно. Однако гистологические исследования убедительно показывают, что новообразования соединительной ткани закупоривают легочные альвеолы и ограничивают площадь, на которой происходит обмен газов, одновременно ухудшая эластичные свойства легочной ткани [94]. Обычно различают паренхиматозный и плевральный асбестоз. Имеются указания, что первый наиболее тесно коррелирует с кумулятивной экспозицией асбестом, а в развитии второго решающее значение имеют пиковые экспозиции и время пребывания асбестовых волокон в легких, а также время, прошедшее от первой экспозиции [130].

Асбестоз характеризуется только ему присущими клиническими, рентгенологическими и функциональными симптомами [15;37]. Как правило, он отличается медленным течением и чаще всего возникает после, по крайней мере, 5 лет работы с асбестом. В последние годы появились данные, указывающие, что латентный период может быть весьма продолжительным. Так, по данным чешских исследователей, он составляет 20 и более лет, иногда около 15 лет [94]. По другим сведениям, варьирует от 7 до 20 лет [72]. Анализ данных за 1947-1982 гг. о состоянии здоровья 7 тыс. рабочих крокидолитовых разработок в Зап.Австралии показал, что промежуток времени между началом работы и риском заболевания асбестозом составляет в среднем 17 лет [129]. Таким образом, длительность контакта с асбестом является одним из важнейших факторов в этиологии асбестоза. В то же время, имеются указания, что время, прошедшее с начала проникновения волокон асбеста в органы дыхания, играет более существенную роль, чем просто продолжительность контакта с асбестом [94]. При соблюдении нормальных гигиенических условий труда и поддержании низких уровней запыленности производственных помещений, как свидетельствуют данные английских медиков, время экспозиции, необходимое для возникновения признаков болезни может растягиваться до 40 лет, резко снижая риск поражения [30].

Волокна асбеста вместе с вдыхаемым воздухом попадают в дыхательные пути. Определенная часть их способна удерживаться на слизистых оболочках верхних дыхательных путей, часть - проникать в легочные альвеолы. В экспериментах на животных было установлено, что при ингаляционном поступлении в организм волокна асбеста могут перемещаться из легких или трахей в другие органы и ткани. Так, например, опыты на бабуинах показали, что асбестовые волокна способны довольно активно мигрировать в живом организме. В частности, было выявлено проникновение хризотил-асбеста в стенки желудка; существенные количества хризотила и крокидолита обнаруживались в сердце и селезенке; отмечено проникновение их в кровь [164]. Волокна асбеста были обнаружены в почках умерших от рака почек людей [216]. Исследования легких, печени и плаценты мертворожденных детей от женщин, имевших от 22 до 38 недель беременности, на наличие асбестовых волокон с помощью световой и электронной микроскопии, рассеивающего рентгеновского излучения и дифракционного анализа позволили обнаружить волокна хризотил-асбеста в образцах всех исследованных тканей [155]. В тканях людей, испытавших воздействие асбеста, волокна его были обнаружены в легких, лимфатических узлах, брюшине, селезенке и тонком кишечнике.

Асбестовые волокна отлагаются в дыхательном тракте или в результате простого оседания, или в результате интероцепции. При этом отложение путем оседания определяется главным образом диаметром волокна, а отложение путем интероцепции - его длиной. Таким образом, морфологические и морфометрические характеристики волокон являются важнейшим фактором возникновения асбестоза, т.е. определяют фиброгенность асбеста. Самыми опасными считаются волокна с длиной более 8 мкм и диаметром менее 0,5 мкм [147] или, по крайней мере, с диаметром менее 3 мкм [94]. Предполагается также, что наибольшей биологической активностью обладают волокна при соотношении длины и диаметра больше чем 5:1 [156]. Степень отложения зависит, кроме того, от различной способности волокон разных асбестов изгибаться и завиваться в спирали, проникать с лимфото-

ком в плевральную полость. Рекомендуется также учитывать химический состав волокон, их структуру, поверхностный заряд, т.е. те факторы, от которых зависит очищение легких от асбестовой пыли, а также те характеристики волокон, которые влияют на активность альвеолярных макрофагов. После вдыхания небольших количеств асбеста короткие волокна его поглощаются макрофагами и затем удаляются с помощью механизма мукоцилиарного транспорта. Длинные волокна обычно обволакиваются, а затем распадаются на фрагменты и исчезают в течение 18 месяцев. Однако, некоторые волокна обволакиваются и остаются в организме в виде асбестовых железистых телец [72].

Анализ эпидемиологических данных свидетельствует, что асбест, накопившейся в легких у людей, после прекращения экспозиции практически не элиминирует [17]. Так, исследование легочной ткани 85-летней женщины, которая 60 лет назад в течение 5 лет работала на асбестопрядильной фабрике, обнаружило в легких многочисленные интактные асбестовые тела величиной до 500 мкм с прямыми и сломанными инкорпорированными в них волокнами [146]. Исследователи справедливо делают вывод о высокой морфологической стабильности волокнистой пыли в легких человека.

Как показали эксперименты, первая реакция организма на проникновение асбеста бывает в основном защитной: около частицы асбеста происходит воспаление, сопровождающееся всеми известными защитными реакциями на уровне клетки и цитоплазмы [8;94]. Вредное влияние волокон выражается главным образом в стремлении их быть поглощенными защитными клетками. Как известно, фагоцитоз осуществляется с участием специализированных клеток - макрофагов. Однако в данном случае последние активны в основном в отношении только коротких волокон или фрагментов длиной менее 7-8 мкм. Более длинные волокна остаются в тканях и стимулируют незрелые клетки к усиленному росту соединительной ткани вплоть до образования рубцовой ткани. Таким образом со временем возникает типичный для воздействия асбеста диффузный фиброз. Его развитие стимулирует-

ся также высвобождаемой при расщеплении силикатов кремниевой кислотой [90].

Для патолого-анатомических изменений в легких при асбестозе характерен очаговый и главным образом диффузный фиброз легких, наиболее резко выраженный в средних и нижних отделах их, с существенными дистрофическими изменениями в стенках бронхов и сосудов, приводящих к деформации последних. Клинически процесс возникновения профессионального асбестоза характеризуется развитием хронического бронхита и эмфиземы. В числе первых симптомов, проявляющихся значительно раньше рентгеноморфологических изменений, - одышка, кашель, иногда приступы удушья, а с прогрессированием болезни фиксируется нарастание легочно-сердечной недостаточности. Наиболее частыми осложнениями асбестоза являются туберкулез, острые тяжело протекающие пневмонии, хроническая пневмония [17;80]. По данным Ф.М.Когана [37], удельный вес туберкулеза среди причин смерти больных асбестозом из числа работающих при добыче и обогащении асбеста, умерших за 1948-1967 гг., почти втрое выше, нежели для прочего взрослого населения, проживающего в изученном районе. Сравнительная опасность туберкулезного осложнения при асбестозе, вызванного различными асбестами, мало изучена. Предполагается, что амфиболовые асбесты в этом отношении менее опасны. Исследованиями финских авторов было установлено, что больные с явным прогрессированием асбестоза имели более высокие титры антинуклеарных антител, чем больные без признаков прогрессирования [162]. Это свидетельствует о нарушении аутоиммунных реакций и о патогенетической связи асбестоза с иммунологическими изменениями.

Рентгенологически важным отличием асбестоза от других видов пневмокониоза является преимущественное поражение нижних отделов дыхательных путей с преобладанием ячеистых, сетчатых образований при слабой выраженности или полном отсутствии узелковых элементов. Вокруг участков фиброзного уплотнения при микроскопическом исследовании обнаруживаются так называемые «асбестовые тельца» (измененные асбестовые

волокна), о которых уже упоминалось выше. Они расположены обычно группами и/или в одиночку, представляют собою частицу асбеста в капсуле из богатого железом белкового гелеподобного субстрата. Считается, что биологическая роль их заключается в изолировании агрессивной поверхности асбестового волокна. Асбестовые тельца имеют форму нитей со множеством перехватов наподобие четок с булавовидным утолщением на концах [19;80]. Есть данные, показывающие, что тельца могут выводиться из организма в результате различных процессов [94]. В частности, подтверждением этого является обнаружение их в мокроте. По имеющимся данным, минимальный размер асбестовых телец составляет 7,3 мкм, при этом преобладают образования длиной более 27,5 мкм, составляющие около 75% общего количества. Максимальная длина их может достигать 120 мкм [160]. Белковая оболочка, состоящая из железосодержащего белка ферритина, играет важную роль, нейтрализуя патогенетический потенциал стержня, т.е. волокнистой частицы [189]. Железистые тельца оказались также менее токсичными для альвеолярных макрофагов. Установлено, что концентрация телец в бронхоальвеолярном лаваже повышается с увеличением стажа работы в условиях воздействия асбеста, особенно антофиллит-асбеста [168]. Недавно было показано, что железо, связанное с тельцами, ответственно за образование однократных разрывов определенной спирали ДНК [180]. Следует отметить, что образования, подобные асбестовым тельцам, были обнаружены в легких умерших людей, никогда не имевших контакта с асбестом. Таким образом, не каждое «тельце» является асбестовым. Важен стержень, т.е. минеральная основа частицы, вокруг которой формируется защитная оболочка [94].

В настоящее время считается доказанным существование тесной положительной корреляции между совместным действием сигаретного дыма и вдыхаемых с воздухом частиц асбеста и возникновением фиброза легких [10а;94]. При этом, во-первых, этиологическая роль сигаретного дыма в возникновении асбестоза сводится к тому, что он способствует накоплению частиц асбеста в легочной паренхиме; во-вторых, темпы прогрессирования

заболевания у курильщиков выше, нежели у некурящих; в-третьих, взаимодействие дыма и асбеста носит скорее аддитивный, чем синергический характер. Тем не менее, существует точка зрения, что каких-либо связей между сигаретным дымом и действием асбеста не существует [102]. Однако, вероятно, следует иметь в виду, что при проведении эпидемиологических исследований не учитывалось, что многие некурящие (составляющие контрольные группы) могли являться «пассивными курильщиками».

Сравнительная оценка фиброгенности различных асбестосодержащих материалов (пыли этих материалов) показала, что практически все из них (например, асбокартон, вулканит, асбовермикулит) обладали выраженным фиброгенным действием и острой токсичностью при интратрахеальном введении подопытным животным [35].

Исследования Х.Возняк и др. [231], посвященные изучению влияния термически обработанного хризотил-асбеста на подопытных животных, показали, что он оказался более агрессивным, чем нативный асбест. Авторы цитируемой работы полагают, что, например, возрастание нейротоксичности и фиброгенности асбеста после термообработки обусловлено изменением его кристаллической структуры.

4.2. Гиалиноз плевры

Асбестовая пыль при длительном контакте приводит не только к усиленному росту и изменению легочной ткани, но и вызывает такую же реакцию на плевре - так называемый гиалиноз, который характеризуется образованием твердой гиалиновой рубцовой ткани или кальцинированием ее при заполнении солями кальция [94]. Возникновение гиалиноза плевры до сих пор не получило полного объяснения. Во многом это объясняется недостаточным вниманием исследователей к данному заболеванию. Имеющиеся теории исходят из значительного и длительного по времени перемещения асбестовых тел в соединительной ткани

легких под влиянием лимфы ткани в направлении к поверхностным слоям под плевру, где непосредственно в процессе дыхания происходят постоянные раздражения и реакции с образованием тонкой, а затем и твердой клетчатки.

Многочисленные находения таких «узелков» кальцификатов в местах трения ребер или мышц грудобрюшной преграды с прилегающей плеврой подтверждают этот процесс. Со временем гиалиноз интенсивно прогрессирует, охватывая все новые области, и способствует хроническому нарушению функций дыхания. Иногда выделяют так называемый тонкий гиалиноз, без отложения солей кальция, который при рентгенологических исследованиях не фиксируется. В подобных случаях для диагностики рекомендуют использование томоденситометрии [140].

Имеются предположения, что гиалиноз плевры в большинстве случаев не влияет на общее состояние здоровья и только при разрастании соединительной ткани ограничивает вентиляционную выносливость легких. В то же время, у определенного числа больных по неизвестным до сих пор причинам вдруг наступало резкое ухудшение, проявляющееся в экссудате. Считается, что причиной этого ухудшения может быть наличие туберкулеза или другого инфекционного заболевания, что, однако, не доказано. Очень часто у пациентов происходил дальнейший усиленный рост соединительной ткани в легких. Все больные с такой осложненной формой гиалиноза умирали через два года. Как правило, соотношение осложненных гиалинозов с простыми составляет 7:28 [94].

В последнее время незлокачественное поражение плевры стало считаться наиболее часто встречающимся эффектом воздействия асбеста. При этом различают утолщение плевры (диффузное или в виде бляшек), доброкачественный экссудативный плеврит и округлые ателектазы («псевдоопухоли»), объединяя все перечисленные формы термином «плевральный асбестоз» - [210]. Как правило, при сочетании плеврального асбестоза с интерстициальным пневмофиброзом каждой стадии последнего соответствуют более тяжелые формы, нежели при отсутствии первого.

Эпидемиологические исследования среди рабочих, занятых в производстве асбестового волокна, показали, что поражение плевры является фактором риска в нарушении дыхательной функции [172]. В частности, у рабочих с поражением плевры обнаружили уменьшение жизненной емкости легких, снижение показателя пневмотахометрии, одышку.

4.3. Рак легкого

Многочисленные факты убедительно свидетельствуют, что асбестовая пыль является главным фактором возникновения рака легких у людей, имеющих (имевших) с асбестом профессиональный контакт. Однако, причины и механизм канцерогенного действия асбеста изучены недостаточно полно. Известно, что наибольшей канцерогенностью обладают волокна крокидолита, далее следуют амозит и хризотил. Меньшая канцерогенность хризотил-асбеста, возможно, обусловлена более высокой растворимостью его волокон в биологических жидкостях, что, в частности, подтверждается исследованиями [190;200;217].

В настоящее время считается, что канцерогенность асбестовых волокон связана главным образом с их геометрическими характеристиками, прежде всего, с отношением длины к диаметру [94;114]. Наибольшей агрессивностью отличаются волокна диаметром порядка 0,25-3 мкм и длиной около 20 мкм [171]. В.Эйхлер [97] приводит данные о том, что волокна длиной от 5 до 250 мкм и диаметром менее 3 мкм (особенно менее 1 мкм) способны проникать в легкие и оказывать канцерогенное действие. По другим сведениям наивысшим канцерогенным потенциалом обладают волокна диаметром 0,1-0,3 мкм и длиной более 20 мкм [156]. Вероятно, можно утверждать, что в общем случае опухолеобразованию особенно способствуют волокна длиной более 5 мкм и диаметром менее 1 мкм.

Эксперименты на животных показывают, что канцерогенные потенциалы асбеста во многом зависят и от природы минерального волокна, т.е. от его физико-химических характеристик,

в первую очередь, от поверхностных свойств и наличия активных областей на поверхности волокна [114;145]. Известна гипотеза, согласно которой, канцерогенность асбеста объясняется наличием природных масел в асбестовых минералах, однако надежного подтверждения она не получила. В то же время, установлено, что многие асбесты содержат довольно значимые количества явных канцерогенов, таких, как бенз(а)пирен и хром [17;37;38;224]. Волокна асбеста обладают, к тому же, способностью активно сорбировать и переносить многие другие полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), обладающие канцерогенными свойствами [171]. Изучалась возможная канцерогенность некоторых металлов, содержащихся в асбестах (Ni, Cr, Co, Mn и др.), но конечные результаты были мало убедительными. Существует точка зрения, что в возникновении рака при контакте с асбестом химические элементы играют активную роль, а непосредственно асбест - пассивную, являясь носителем металлов, а критическая роль медиатора принадлежит поступающему из окружающей среды бенз(а)пирену или родственному ему ПАУ [136;224]. В ряде экспериментов было установлено, что совместное действие асбестовых волокон и ПАУ отличается выраженным синергизмом и может быть причиной развития опухолей [166]. Согласно одной из моделей [148], большое количество даже инертной пыли, поступающей в легкие, может усилить задержание ПАУ, которые адсорбируются или осаждаются на частичках пыли. Эксперименты с синтетическими амфибол-асбестами показали, что содержащиеся в них металлы (Co, Mg, Ge, Ni), обладали определенной онкогенной активностью [225].

Как известно, склонность разного типа нерастворимых в воде металлосодержащих соединений к фагоцитозу является фактором первостепенной важности с позиций определения их канцерогенности [56]. Канцерогенные ионы металлов в частичках металлосодержащих соединений способны входить в клетки-мишени вслед за медленно образующимися водорастворимыми соединениями путем частичного внеклеточного растворения или же путем фагоцитозного клеточного внедрения частиц как тако-

вых. Именно поэтому присутствующие в асбестах металлы могут оказывать канцерогенное действие.

Экспериментально было установлено, что на поверхности асбестовых волокон при фагоцитозе происходит активное образование гидроксильных групп, которые могут играть важную роль в активации ПАУ (прежде всего, бенз(а)пирена), сорбированных на асбесте, а также непосредственно вызывать необратимое повреждение клеток [142;144;145]. Асбест способен вступать в определенные взаимодействия с ДНК клеток и тем самым, по мнению некоторых исследователей, вызывать злокачественные изменения [118], а также оказывать влияние на синтез ДНК и рост эмбриональных фибробластов легких человека [175] и на белковые и липидные структуры мембран эритроцитов [4;214]. Волокна асбеста хорошо сорбируют белки сыворотки крови и особенно активно альбумин. Можно считать доказанной, установленную экспериментально на животных, токсичность асбестовых волокон для альвеолярных макрофагов, культуры ткани диплоидных фибробластов и культуры ткани трахеи [18;145;189; Троицкая,1993], причем цитотоксичность хризотил-асбеста, судя по всему, оказалась более высокой [232]. Асбест не только изменял клеточные контакты, но и взаимодействовал с клеточной поверхностью. Считается, что это может играть важную роль в клеточной пролиферации, нарушении контактного торможения клеток, ведущего к дальнейшей трансформации их. Было также высказано предположение, что в механизме биологического действия асбеста принимает участие переход поверхностных электронов волокон в биологические структуры [145]. По-видимому, приведенные факты позволяют предположить, что физико-химические характеристики и свойства асбестового волокна провоцируют в тканях реакцию отторжения. Все попытки исключить и обезвредить инородное тело в этот провокационный момент ведут к изменению клетки и образованию злокачественной опухоли.

По данным Международного агентства по изучению рака легких, болезнь может развиваться длительное время (30 и более лет) после воздействия асбеста [83]. Специальные исследования

на одном из асбестоцементных заводов в г.Лондоне показали, что рабочие, оказавшиеся под сильным, но не долгим (мене 2 лет), воздействием асбестовой пыли, подвергались большому риску возникновения рака легких, который проявлялся спустя 15 лет [30]. Воздействие оказывалось еще более сильным на тех, кто проработал на заводе свыше двух лет, при этом для мужчин и женщин были получены одинаковые данные.

Окончательно еще не установлено: вызывается ли рак легкого непосредственно воздействием асбеста или почва для возникновения опухоли подготавливается асбестозом? Многочисленные, но далеко не все данные свидетельствуют о том, что и без клинически выраженного асбестоза возможно развитие рака легких [4;210;214]. Исследования, выполненные в ЮАР, показали, что рак легких, как правило, характерен для 50% всех больных асбестозом. По другим данным, рак легких обнаруживался только у 20% больных асбестозом [213]. Таким образом, рак легких, вызванный действием асбеста, может развиваться и без асбестоза. Более того, в последние годы в литературе появились утверждения, что именно вдыхание асбеста, а не асбестоз вызывает рак легкого [101;208]. Авторы цитируемых работ убеждены, что асбест дает толчок развитию рака легкого в местах оседания волокон в эпителии бронхов, т.е. рак вызывается непосредственно асбестом, а не рубцами, характерными для асбестоза. Тем не менее все же следует признать, что риск заболевания более велик при наличии асбестоза, нежели без него, хотя имеющихся данных для надежного утверждения пока не достаточно. Это, кстати, не позволяет в целом ряде стран включить рак легкого, возникающий при контакте с асбестом, в список профессиональных заболеваний без одновременного наличия асбестоза или заболеваний плевры.

Установлено, что у больных асбестозом чаще развиваются аденокарциомы, нежели другие виды опухолей [167]. От 14 до 50% больных асбестозом умирали от бронхиальной карциомы [72].

Между действием асбеста и реакцией организма фиксируется логлинейная зависимость, однако недействующего порога

(пороговой концентрации) не установлено. Предполагается, что риск возрастает с увеличением кумулятивной экспозиции. Результаты эпидемиологических исследований показали, что у рабочих асбестоцементной промышленности риск смерти от рака легких повышен уже при кумулятивной экспозиции более 11 волокон в одном миллилитре воздуха (далее в тексте - вл/мл), а среди рабочих, добывающих асбест, при 2,8 вл/мл [152]. При оценке риска заболеванием раком легких огромное значение имеет также возраст при первом контакте с волокнами асбеста и курение [201]. Этиологическая роль курения в развитии рака легких считается доказанной [221]. Предполагается, что попадающие с вдыхаемым воздухом в легкие частицы асбеста потенцируют действие канцерогенов, присутствующих в табачном дыме [205]. Хотя, вероятно, можно предположить и обратное действие. Сигаретный дым, как упоминалось выше, способствует также накоплению асбестовых частиц в легочной паренхиме. Высказано также предположение, что риску заболеванием раком легких способствует одновременное злоупотребление никотином и алкоголем [195;196]. По некоторым данным, для рабочих, имеющих дело с асбестом, но не курящих, степень риска возникновения рака легких невелика (табл. 7).

Таблица 7. Сравнение наблюдаемого и ожидаемого числа смертей от рака легких [30].

Отношение к курению	Число наблюдаемых смертей от рака легких среди рабочих асбестовых предприятий	Число ожидаемых смертей от рака легких среди широкого населения данного района (того же возраста и пола)
Мужчины:		
а) никогда не курившие	0	0
б) бросили курить	1,6	0,2
в) курящие	25,5	9,9
Женщины:		
а) никогда не курившие	1,7	0,2
б) курящие	15,5	1,4

Предполагается, что курение препятствует очистке легких от волокон, а постоянное курение в течение длительного времени способствует развитию процесса отмирания реснитчатых клеток, что снижает общую эффективность механизма очищения легких. По заключению Королевской комиссии по асбесту штата Онтарио (Канада), у курящих рабочих, постоянно пребывающих в «асбестовой» атмосфере, вероятность заболевания раком легких повышается в 5 раз [10а]. Расчеты, выполненные на основе данных Американского общества по изучению рака, показали, что курение десятикратно повышает вероятность заболевания раком легких, а вдыхание асбестовой пыли - пятикратно.

4.4. Мезотелиома

Опухоль плевры - мезотелиома - очень редкое смертельное заболевание, диффузная форма которой встречается в единичных случаях [94]. В настоящее время возникновение таких опухолей, выходящих из эпителиальной ткани плевры, доказано для рабочих, имеющих контакт с асбестом. Считается, что латентный период между первоначальным воздействием асбеста и появлением опухоли составляет от 20 до 40 лет [72]. По последним данным максимальное число мезотелиом возникает при латентном периоде от начала воздействия в 31-40 лет [229]. Именно поэтому во многих случаях они обнаруживаются у очень пожилых людей (пенсионеров), ранее работавших в асбестовой промышленности. Чешские исследователи приводят сведения по разным странам, показывающие, что в 60-70% всех случаев заболевания мезотелиомой у больных был обнаружен профессиональный контакт с асбестом в прошлом [94]. Например, в Великобритании до 80-90% всех случаев мезотелиом связаны с воздействием асбеста [150]. При этом заболеваемость мезотелиомой в стране составляет у мужчин 17,5 случаев на 1 млн. жителей, у женщин 3,3 случая на 1 млн.; в США аналогичные показатели составляют соответственно 7-13 и 1-2.

В таблице 8 приведены результаты исследований, выполненных на асбестоцементных предприятиях г.Лондона. Как следует из данных указанной таблицы, опасность возникновения мезотелиомы тем выше, чем больше степень и продолжительность воздействия.

По частоте возникновения мезотелиома может не уступать асбестозу и даже превышать рак легкого. Например, в рамках национального предварительного мониторинга производственных заболеваний легких, выполненного в Британской Колумбии, было установлено, что в 1991 г. общее количество новых случаев заболеваний составило 246 или 181 случай на 1 млн. работающих [128]. Из нозологических форм доминировала астма - 50,4%, на долю пневмокониозов приходилось 17,8% (в том числе, 14,6% на асбестоз), на долю мезотелиомы - 12,2, рака легкого 2,8%.

Таблица 8. Частота возникновения мезотелиомы* на 100 000 человек при сроке наблюдения свыше 10 лет [30]

Продолжительность работы	Степень воздействия		
	низкая или умеренная	сильная	среди лаггеров**
Мужчины:			
а) до 2 лет	25	71	157
б) свыше 2 лет	102	154	261
Женщины:			
а) до 2 лет	-	84	-
б) свыше 2 лет	-	141	-

* Число случаев, ожидаемых на 100000 человеко-лет воздействия. Степень воздействия асбеста на одного человека в год составляет 1 человеко-год.

** Рабочие, покрывающие трубы слоем асбеста или асбестосодержащего материала.

Установлено, что риск развития мезотелиомы при воздействии хризотил-асбеста в 7 раз ниже, чем при воздействии амозита и на 50% ниже, чем при воздействии крокидолита [103]. При этом в случае с хризотил-асбестом для развития опухоли требуется просто большие дозы волокон, поскольку этот вид асбеста

более активно выносятся из легких по сравнению с прочими асбестами. Так, у лиц, умерших от мезотелиомы, в легких были обнаружены волокна крокидолита, амозита и хризотила, количество которых соответственно составляло 1,5 млн вл/г сухой массы, 0,54 млн и 0,064 млн вл/г [103]. Имеются указания на то, что экспозиция к хризотил-асбесту при его средней дозе примерно в 1 вл/мл воздуха в год уже повышает риск развития мезотелиомы [228]. В общем случае, среди различных характеристик и свойств поверхности минеральных волокон в индукции опухолей плевры для частиц одной и той же природы канцерогенная активность определяется соотношением длины и диаметра, а для волокон одного и того же размера - плотностью и силой донорских электронных точек на их поверхности [114]. Курение, как правило, интенсифицирует возникновение мезотелиомы [229]. Например, среди 503 работников обогатительной фабрики и рудника по добыче антофиллит-асбеста, умерших до 1991 г., зарегистрировано 4 случая смерти от мезотелиомы. Они работали от 13 до 31 года, курили, страдали асбестозом. В легких их с помощью сканирующего электронного микроскопа было обнаружено от 270 до 1100 вл/г сухого вещества [168]. В то же время, имеются данные, показывающие, что при учете производственного контакта людей с асбестом статистически достоверной разницы между лицами с разным режимом курения по степени пораженности их мезотелиомой не обнаруживается [109].

Исследованиями последних лет обосновано понятие о канцерогенных волокнах, согласно которому все минеральные волокна, имеющие отношение длины к диаметру не менее 5, квалифицируются как канцерогенные независимо от их минерального состава (если диаметр менее 1 мкм, длина более 3 мкм, а продолжительность воздействия на организм составляет более 3 лет)-[214]. Предложены также индексы риска воздействия асбестовых волокон дифференцированно для асбестоза, рака легких и мезотелиомы в диапазоне диаметра частиц 0,1-2,0 мкм и длины 2-10 мкм при соотношении длины к диаметру, равного 3. Для дифференцированной оценки волокон используются 5 характеристических параметров: средняя длина, средний диаметр, стандартное

геометрическое отклонение диаметра и длины, отношение диаметра к длине. Последний параметр считается наиболее информативным.

4.5. Неоплазии других органов и общий механизм биологического действия асбеста

По имеющимся данным у лиц, профессионально контактирующих с асбестом, существует прямая связь между продолжительностью воздействия асбестовой пыли и частотой возникновения неоплазии других органов. По мнению Я.Шимечека и В.Штохла [94], опухоли различных органов в таких случаях встречаются не чаще, чем случаи неоплазии у лиц, не имеющих контакта с асбестом. Тем не менее, в последние годы стали появляться сведения о том, что прямое воздействие асбестовых волокон увеличивает риск заболевания раком полости рта, глотки, гортани, пищевода, желудка, толстой и прямой кишки, печени, поджелудочной железы, груди, матки, почек, мочевого пузыря [13;72;173;188;216;220;224;234]. В Германии, например, обсуждается вопрос о признании карциомы гортани профессиональным заболеванием, вызванным воздействием асбестовой пыли [110;219]. К настоящему времени известно около 40 случаев рака гортани, обусловленного, как полагают, воздействием асбеста. Принципиальным является тот факт, что в возникновении этих заболеваний особую роль играет не только ингаляционное поступление асбеста в организм, но и пероральное, прежде всего с водой. Несмотря на то, что возникновение выше названных заболеваний во многих случаях подтверждено эпидемиологическими, клиническими и экспериментальными исследованиями, для окончательного решения вопроса необходимы дальнейшие углубленные исследования, тем более, что имеется значительное количество случаев, когда явной связи между заболеваемостью и профессиональным воздействием асбеста не установлено.

Индийские исследователи [10a], обобщив имеющиеся данные, указали, что опасность воздействия волокон асбеста на

здоровье человека при вдыхании зависит главным образом от следующих факторов: проникания - способности волокон попадать в дыхательную систему; отложения - поверхности оседания волокон внутри дыхательной системы; задержки - степени удержания волокон в месте отложения; удаления - степени очистки дыхательной системы от асбестовых частичек; перемещения - миграции волокон в организме человека; устойчивости - способности волокон сохраняться в течение некоторого периода времени до момента их растворения или разложения в ткани; биологического воздействия волокон. При этом с точки зрения воздействия на дыхательную систему главнейшими можно признать три фактора: диаметр волокон (чем тоньше волокна, тем легче и глубже они могут проникать в дыхательную систему), длина и форма волокон (например, вьющееся хризотилевое волокно не сможет проникнуть так далеко в легкие, как прямолинейное игольчатое амфиболовое волокно).

Как отмечалось выше, механизмы фиброгенного и онкогенного действия асбеста окончательно не выяснены. В последние годы появились данные, показывающие, что ключевую роль в развитии любого вида пневмокониоза играет альвеолярный макрофаг (АМ), роль которого заключается в поглощении бактерий, посторонних частиц и в осуществлении функции иммунного наблюдения [15;82;105;113;139;209;218]. Он активируется после поглощения неорганических пылевых частиц и вследствие этого может высвобождать ряд медиаторов, вызывающих поражение легких.

Сегодня известно, что не только пневмокониозы характеризуются легочным фиброзом; этой стадии предшествует воспаление альвеол и альвеолярных структур, которое называется «альвеолитом» и которое является ключом для понимания заболеваний пылевой этиологии. Альвеолиты характеризуются повышенным числом воспалительных и иммунных эффекторных клеток, сдвигом в их количественном соотношении, так что один или более из этих типов клеток начинают преобладать над другими. Наблюдается также активация одного или нескольких типов эффекторных клеток. В экспериментах на животных было

обнаружено изменение поверхностной структуры активированных АМ после поглощения частиц асбеста. В условиях *in vitro* пыль цитотоксична для АМ, в условиях *in vivo* большинство АМ остается жизнеспособными и поэтому более вероятно, что в модуляции процесса большую роль играют медиаторы, выделенные до гибели АМ, нежели ферменты, выброшенные после их гибели. Прямое повреждение клеток паренхимы осуществляется при освобождении токсических продуктов кислорода (супероксидного аниона, перекиси водорода и пр.). Предполагается, что образование ОН-радикалов в процессе фагоцитоза асбеста может играть важную роль в активации ПАУ, сорбированных на поверхности волокон, и также вызвать повреждение клетки [142]. Экспериментально показано, что асбест в присутствии перекиси водорода и некоторых органических перекисей вызывает повреждение ДНК намного более сильное, нежели повреждение, вызванное только одними перекисями [182].

Способность фиброгенной пыли стимулировать избыточное образование в легких активных форм кислорода считается ведущей причиной патогенного действия асбеста. Существуют достаточно убедительные данные, свидетельствующие, что вся совокупность патологических изменений в ходе развития профессиональных заболеваний легких пылевой этиологии определяется количеством, скоростью образования и природой активных форм кислорода, которые возникают при взаимодействии фагоцитов с пылевыми частицами, в результате каталитической трансформации их на поверхности пылевых частиц, вследствие «рабочей» гипертрофии кониофагов. При этом различные формы активного кислорода являются молекулярной основой повреждения биологических структур вдыхаемой пыли и определяют специфику патологических изменений и клинических проявлений пылевых заболеваний. Активные соединения кислорода обладают выраженной агрессивностью в связи с их резорбтивно-токсическим действием. Возможно, что острое токсическое действие является лишь начальной фазой более общего процесса фиброгенеза и канцерогенеза. Острое токсическое действие может быть связано с мембраноразрушающим действием волокон

асбеста и гемолизом эритроцитов. В исследованиях на животных было установлено, что после воздействия асбеста АМ высвобождает нейтрофильный хемотоксический фактор. Нейтрофилы скапливаются в альвеолярном пространстве и альвеолярных структурах, что приводит к выделению повреждающих протеаз. В результате этого происходит повреждение паренхимы легких, за которым следует ее восстановление и развивается фиброз, причем альвеолит является как бы начальной стадией фиброза. При этом может проявляться иммунологическое расстройство. По мнению С.В.Кашанского и др. [35], первичным звеном «асбестовой» патологии, по-видимому, является нарушение клеточных мембран с релизом лактатдегидрогеназы, глюкокоронидазы и др. Считается, что из всех видов асбеста именно хризотил быстрее всех разрушается, фрагментируется и довольно быстро фагоцитируется. Несомненно, что решение вопроса о механизме фиброгенного и канцерогенного действия асбестовой пыли во многом зависит от углубленных исследований клеточных и молекулярных основ «асбестовых» заболеваний.

4.6. Гигиенические нормативы асбеста

В соответствии с существующим законодательством асбест во многих странах мира отнесен к категории высокоопасных загрязняющих веществ [4;11;29;70;92;214]. В России асбест, а также тальк, содержащий асбестовые волокна, совместным решением Комиссии по канцерогенным веществам при Госкомсанэпиднадзоре и Проблемной комиссии «Научные основы медицины труда» отнесены к канцерогенным веществам [60]. При этом для асбеста учитывается как ингаляционный, так и пероральный путь поступления в организм, а для талька только ингаляционный путь поступления.

В настоящее время не известны надежные зависимости «воздействие-ответная реакция организма» как в отношении фиброгенности, так и канцерогенности асбеста. Поэтому имеющиеся ПДК асбестовых волокон во многом носят ориентировоч-

ный характер. Наиболее детально они разработаны для воздуха рабочей зоны (табл.9;10).

Как видим, в большинстве стран используется счетная концентрация волокон, причем величина в 2 вл/см^3 является наиболее типичной ПДК для всех форм асбеста, исключая крокидолит, для которого применяются более «жесткие» нормативы. Различают средние значения ПДК (экспозиция допускается в течение длительного периода времени, чаще всего в течение рабочей недели) и предельные кратковременные ПДК (как правило, в течение 15 минут).

В бывшем СССР и некоторых странах недавней социалистической ориентации нормировалось общее содержание пыли при определенной доле асбеста в общей пробе последней. Аналогичный показатель имеется и в США. В Китае значения ПДК для пыли с содержанием асбеста более 10% составляет 2 мг/м^3 . В Польше при относительном содержании асбеста в общей пробе пыли 40% составляет 1 мг/м^3 , при 10-40% - 2, при 10% - 4 мг/м^3 (или 2 вл/см^3). В Индии концентрация 2 вл/см^3 установлена в качестве максимального предела содержания волокон хризотил-асбеста при использовании его для производства асбестоцементных изделий.

В последние годы стали разрабатываться ПДК асбеста в воздухе для условий окружающей среды, а также для жилых помещений. Например, в Канаде (по рекомендации Королевской комиссии) ПДК асбеста в атмосферном воздухе составляет $0,001 \text{ вл/мл}$; в США $0,004 \text{ вл/мл}$, в штате Коннектикут допустимая суммарная концентрация асбестовых частиц равна 30 нг/м^3 (в течение месяца) - [107;119]. Краткосрочная экспозиция допускается при уровне $0,5 \text{ вл/мл}$ [132].

Согласно исследованиям ВОЗ, в условиях экспозиции при 500 вл/м^3 прогностический риск на весь период жизни человека составляет $5:100000$ для мезотелиомы (диапазон 0,2-13) и $2:100000$ для рака легких у курящих (диапазон 0,8-3,2). При концентрации в воздухе 100 вл/м^3 риск развития мезотелиомы и рака легких оценивается $1:100000$. Для курящих тот же риск достигается при концентрации асбеста 70 вл/м^3 [11].

Т а б л и ц а 9. Нормативы асбеста в воздухе рабочей зоны

Страна	Концентрация	Размерность	Примечание	
1	2	3	4	
Австралия	2	вл/см ³	Счетная концентрация в виде среднего значения при измерении в течение 1 часа	
Англия	0,2	вл/мл	Для амфибол-асбестов, при длине частиц более 5 мкм	
	0,5	то же	Для хризотил-асбеста, при длине частиц более 5 мкм	
Израиль	1	то же	Рекомендована Техническим комитетом по асбесту, при длине частиц более 5 мкм	
	0,5 млн	вл/м ³	Рекомендована Организацией здравоохранения и т/б, при длине частиц более 5 мкм и при 40-час. рабочей недели	
Италия	2	вл/см ³		
Нидерланды	2	то же	При среднем значении общей концентрации пыли= 30(A+3) мг/м ³ , где А - относительное содержание асбеста в пробе	
США	0,5	то же	Амозит Хризотил Крокидолит Прочие	Решение Американской правительственной ассоциации промышленных гигиенистов
	2	то же		
	0,2	то же		
	2	то же		
	2 10	то же то же	Средняя Предельная кратковременная за 15 мин.	Рекомендованы Администрацией профбезопасности и охраны труда
0,1 0,5	то же то же	Средняя Кратковременная за 15 мин.	Рекомендованы Национальным Институтом по профбезопасности и здоровью	
2		мг/м ³	Пыль с содержанием асбеста	

Продолжение табл. 9.

1	2	3	4
Финляндия	5	вл/см ³	Среднее при измерении в течение 1 часа
ФРГ	1	то же	Для пыли с содержанием асбеста в общей пробе > 2,5%
	0,05	мг/м ³	То же, концентрация в респираторной фракции пыли
	2	то же	Для пыли с содержанием асбеста не более 2,5%, среднее значение концентрации респираторной фракции пыли
Швейцария	2	вл/см ³	Среднее значение
Швеция	2	то же	За исключением крокидолита
Япония	2	то же	За исключением крокидолита
	10	то же	Предельная кратковременная - 15 мин., за исключением крокидолита

Т а б л и ц а 10. Гигиенические нормативы асбеста в воздухе рабочей зоны производственных помещений, (в бывшем СССР) [17]

Вещество	мг/м ³	Класс опасности
Асбест природный и искусственный	2,0	4
Асбестопородные пыли:		
при содержании асбеста > 10%	2,0	4
при содержании асбеста < 10%	4,0	4
Асбестоцемент	6,0	4
Асбестобакелит (волокнит), асбесторезина	8,0	4

Примечание: В 1989 г. Минздравом СССР была утверждена ПДК в воздухе рабочей зоны (среднесменная - ССК) 0,5 мг/м³ при содержании асбеста в общей пробе пыли более 20%, максимально-разовая (МРК) - 2 мг/м³. Соответственно при содержании асбеста в пыли 10-20% МРК - 2 мг/м³, ССК - 1 мг/м³, при содержании асбеста менее 10% МРК - 4 мг/м³, ССК - 2 мг/м³. Все пыли отнесены к III классу опасности и имеют пометки "К" и "Ф", что предупреждает о фиброгенности и канцерогенности асбеста [10а;25].

Считается, что средняя фоновая величина асбестовых волокон в атмосферном воздухе в условиях окружающей среды колеблется в пределах 0,0004-0,0005 вл/мл [201].

Агентство по охране окружающей среды США разработало национальные стандарты по выбросам асбеста различными источниками, причем во всех случаях мутность видимых выбросов должна составлять 0% [15]. Как известно, определение мутности является наиболее простым методом, используемым в США для оценки и измерения аэрозольного выброса какого-либо загрязняющего воздуха вещества от стационарного источника и основанного на применении шкалы (диаграммы) плотности дымовой струи. В Израиле стандарт на промышленный выброс асбеста составляет 0,1 мг/м³. При удалении асбестосодержащих изоляционных материалов концентрация волокон в воздухе соответствующих помещений не должна превышать 0,012 вл/мл [203]. Канадскими федеральными нормами установлено, что в воздухе, выбрасываемом из рудников и обрабатывающих предприятий в атмосферу, концентрация асбеста не должна превышать 2 вл/см³ в место выброса [10a]. Аналогичные нормы должны быть установлены в ближайшее время и для заводов по производству асбестовых и асбестосодержащих изделий.

В Австралии существует ПДК асбеста для помещений, не связанных с его производством, равная 500 вл/м³; в Германии ориентировочный максимальный уровень асбеста для воздуха жилых помещений составляет 1000 вл/м³, в Австрии - 500 вл/м³ [124;198], в США - 2 вл/мл [147].

В июне 1991 г. принята директива ЕЭС (в развитие директивы 1983 г.) о защите рабочих от асбеста [143], которой установлены следующие требования к содержанию асбестовых волокон в воздухе производственных зон. По хризотил-асбесту - не более 0,2 вл/см³ для 8-часового периода и/или кумулятивная доза не более 12 вл/см³ в день для 3-месячного периода. По другим формам асбеста - не более 0,1 вл/см³ для 8-часового периода и/или кумулятивная доза не более 6 вл/см³ в день за тот же период. Дополнительные требования директивы введены в действие с 01.01.93 г. и распространяются на все страны ЕЭС.

Согласно материалам ВОЗ, имеющиеся на сегодня данные не позволяют рекомендовать предельную величину содержания асбестовых волокон в воде и пищевых продуктах. Отсутствуют и рекомендации для других компонентов (почва, донные отложения). В Германии в качестве ориентировочного уровня асбеста в питьевых водах предложена величина в 10 тысяч вл/л, при этом поступление с питьевой водой в организм человека не должно превышать 20 тысяч волокон в сутки. По данным ВОЗ, средние величины фоновых содержаний асбестовых волокон в природных водах колеблются в пределах 0,2-2 млн. вл/л [201], хотя содержания, превышающие 1 млн. вл/л, уже могут свидетельствовать о техногенном загрязнении [72].

В настоящее время асбест является причиной смерти значительного числа рабочих, экспонированных к нему. В последние годы повышенный риск смерти установлен для многих профессиональных групп, имеющих косвенное отношение к асбесту. В частности, описаны случаи патологии легких среди ювелиров, использующих асбестосодержащие плитки для защиты от пламени при пайке [141]. Известны многочисленные случаи заболевания асбестозом и мезотелиомой у рабочих вагоностроительной и вагоноремонтной промышленности, у железнодорожников (машинисты, котельщики, кузнецы, слесари, сварщики и др.), контактирующих с асбестом [197;226]. Например, из 266 случаев заболеваний мезотелиомой, зафиксированных у цюрихских рабочих за период с 1961 по 1992 гг., 60 случаев связаны были с работой на вагоностроительных и вагоноремонтных заводах. Воздействию асбеста подвергаются автомеханики (при ремонте тормозов и механизмов сцепления), кровельщики, штукатуры, слесари-сантехники, изолировщики, жестянщики, рабочие сталелитейных предприятий, судоверфей и многих других специальностей [131;176;206].

В Германии в 1986 г. было зарегистрировано 1320 случаев профессиональных заболеваний легких, вызванных воздействием асбеста, и более 200 случаев смерти от рака легких [191]. По данным на 1982 г. в Германии ежегодно умирало от рака, причиной которого являлся асбест, не менее 4000 человек. В це-

лом же по стране профессиональному воздействию подвергается более 110 тыс. человек [229]. Считается, что пик числа онкозаболеваний среди них ожидается только в будущем. В Израиле более 5 тыс. рабочих подвергаются воздействию асбеста в различных отраслях промышленности. Обследование выборочной группы в 650 человек показало, что 24 из них страдали асбестозом, 5 - мезотелиомой, 3 - раком легкого (Richter et al., 1984).

Спора нет - саламандры не могли бы распространиться в таких невиданных масштабах, если бы наш век, век техники, не подготовил для них столько рабочих задач и такого обширного поля для постоянного их использования.

Карел Чапек

Необходимость есть бедствие, но нет никакой необходимости жить с необходимостью.

Эпикур

5. ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ АСБЕСТА В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В общем случае можно различать природные и антропогенные (техногенные) источники поступления асбестовых волокон в окружающую среду. К первым относятся горные породы, содержащие асбестовые минералы, которые под воздействием экзогенных процессов могут высвобождаться в окружающую среду. Среди антропогенных источников логично выделить следующие основные группы: 1) источники, связанные с добычей и переработкой асбестовых руд и асбестосодержащих пород; 2) источники, связанные с производством асбестосодержащих материалов, изделий и т.п., а также материалов и изделий, содержащих асбест в виде нежелательных примесей; 3) вторичные источники, в роли которых выступают различные асбестосодержащие (по американской терминологии к асбестосодержащим относятся материалы и изделия с содержанием асбеста более 1%) материалы, изделия, конструкции, а также материалы, изделия и конструкции, в которых асбест присутствует в виде случайных примесей.

Количественные оценки различных групп источников, к сожалению, отсутствуют. Тем не менее, можно утверждать, что

наиболее значимыми с точки зрения локального загрязнения окружающей среды являются антропогенные источники. В то же время в отдельных районах существенную роль могут играть природные источники волокнистой пыли. Более того, не исключено, что в глобальном масштабе природная поставка асбеста заметно превышает его поступление от антропогенных источников.

5.1. Природные источники

Значимость природных источников может быть особенно велика в районах развития асбестосодержащих пород, к которым в первую очередь относятся так называемые асбестоносные площади (провинции, области, зоны, поля), пространственные закономерности размещения которых установлены достаточно надежно [28;32].

Наиболее крупной асбестоносной площадью, объединяющей асбестоносные провинции, региональные пояса, зоны и асбестоносные поля, являются планетарные асбестоносные пояса (табл. 11), которые пространственно и генетически связаны с соответствующими гипербазитовыми поясами земного шара, локализованными в зонах глубинных разломов [32]. Внутри планетарных поясов выделяются асбестоносные провинции, в пределах которых, в свою очередь, различают несколько главных типов. Следующей важной таксономической единицей районирования являются асбестоносные пояса, соответствующие по своему положению рудным поясам, пространственно и генетически приуроченные к гипербазитам различного формационного типа и возраста. Внутри асбестовых поясов выделяются асбестоносные зоны и поля.

В общем случае пространственные закономерности размещения асбестоносных площадей почти всех категорий заключаются в приуроченности асбестоносных гипербазитов к вполне определенным структурно-тектоническим зонам складчатых областей, а асбестоносных полей, кроме того, во взаимном сочета-

нии различных локальных факторов, контролирующих асбестовое оруденение в пространстве [32].

Месторождения асбестов, особенно связанные с ультраосновными породами, распространены в складчатых областях всех возрастов.

Таблица 11. Главные типы асбестоносных площадей [32]

Порядок размера асбестоносных площадей	Типы асбестоносных площадей	Характерные примеры
Планетарные	Планетарный асбестоносный пояс	Урало-Тянь-Шанский, Тихоокеанский, Средиземноморский (пояс Тетис) и др.
Весьма крупные	Асбестоносная провинция	Уральская, Алтае-Саянская, Казахская, Аппалачская и др.
Крупные	Асбестоносная область	Серовско-Маукский пояс месторождений хризотил- и амфибол-асбестов в интрузиях габбро-перидотитовой формации на стыках структур различной мобильности (в Уральской провинции)
Средние	Асбестоносный район	Асбестовско-Алапаевская зона месторождений хризотил-асбеста баженковского подтипа в массивах габбро-перидотитовой формации, испытавших воздействие более молодых гранитоидов сиалического типа
Небольшие	Асбестоносное поле	Баженовское, Красноуральско-Луковское и др.

5.1.1. Месторождения асбеста

В мире зарегистрировано, по-видимому, несколько тысяч месторождений и проявлений асбеста. Значительная часть их связана с ультраосновными породами, меньшая - с доломитизированными известняками. Многие массивы гипербазитов содержат явно непромышленные асбестопроявления, когда содержание волокна не превышает 1%. К тому же значительная часть таких массивов с позиций асбестоносности практически не изучена, поэтому можно ожидать, что реальные площади распространения асбестосодержащих пород могут быть намного более значительными. Имеющиеся данные свидетельствуют, что масштабы распространения таких пород и собственно месторождений довольно велики (табл. 12;13; рис. 11). Месторождения и проявления асбеста известны во многих странах мира.

В Австралии обнаружены месторождения практически всех разновидностей асбеста, а наиболее крупные (хризотил-асбеста) - приурочены к серпентинитам шт. Новый Южный Уэльс (Барраба, Шерлок, Асбестос-Пойнт и др.). Незначительные месторождения хризотил- и актинолит-асбестов найдены в Новой Зеландии и на некоторых островах Полинезии.

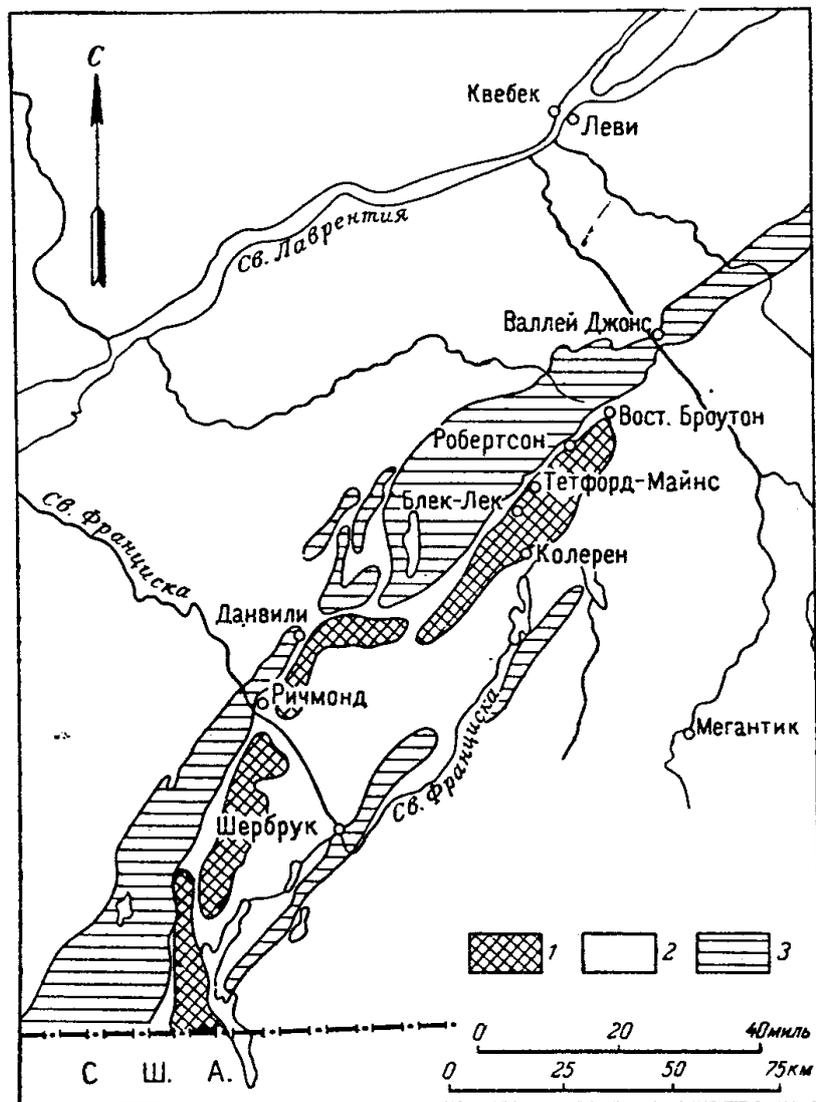
В Азии асбестовые месторождения и проявления известны в Азербайджане (серпентиниты Лысогорского перевала), Армении (Севанский гипербазитовый пояс), Афганистане (встречаются во многих районах, прогнозные запасы оцениваются более чем в 1550 тыс. т), Грузии (небольшие проявления), Индии (довольно крупные месторождения в штатах Андхра-Прадеш, Мадрас, Бихар, Раджастхан, Карнатака, Майсур; в стране функционирует около 200 рудников), Иране, Ираке (на севере страны, производство асбестоцементных труб в г.Киркук), Казахстане (ныне ведущая держава Азии по добыче и производству асбеста, известны многочисленные, достаточно крупные месторождения всех видов асбеста, среди которых выделяется Джетыгаринское месторождение хризотил-асбеста, в свое время второе по величине в СССР, расположенное в Кустанайской области), Киргизии (небольшие, но довольно многочисленные месторож-

Т а б л и ц а 12. Площади месторождений хризотил-асбеста и ультрафиитовых массивов в некоторых асбестоносных зонах [32а]

Зона	Площадь, кв. км.		Отношение 3:2, %
	массивов	месторождений	
1	2	3	4
Западно-Тувинская	38,0	0,66	1,73
Куртушибинская	480,0	0,46	0,092
Полтавско-Киенбайская	247,0	0,55	0,22
Джетыгаринско-Аккаргинская	442,0	0,60	0,13
Асбестовско-Алапаевская	750,0	19,6	2,6
Паранско-Келянская	205,0	0,27	0,13
Ильчирская	248,0	0,41	0,16

Т а б л и ц а 13. Площади месторождений асбеста и асбестоносных комплексов [32а]

Месторождение	Площадь, кв. км.		Отношение 3:2, %
	месторождений	массивов	
1	2	3	4
Баженовское	19,6	70	28
Джетыгаринское	0,6	27	2,2
Киенбайское	0,55	48	1,14
Молодежное	0,27	1	27
Саянское	0,46	180	0,26
Ильчирское	0,41	2	20,5



Р и с. 11. Асбестовые месторождения провинции Квебек [77]
 1 – асбестосодержащие породы; 2 – палеозой; 3 - докембрий

дения хризотил-асбеста, в меньшей степени распространены проявления амфиболового асбеста), Китае (асбестовые месторождения известны, по крайней мере, с первых веков нашего времени; основные проявления и месторождения расположены в полосе, протягивающейся от прибрежных районов пров. Ляонин через Внутреннюю Монголию на север до юго-западного Китая; функционирует 12 крупных горнодобывающих предприятия), Монголии (известны небольшие месторождения хризотил-асбеста, связанных с гипербазитовыми массивами), Таджикистане (Северо-Памирская и Южно-Памирская зоны), Турции (известно около 30 месторождений асбеста, расположенных в различных районах страны), Узбекистане (небольшие месторождения хризотил-асбеста и мелкие проявления амфиболового асбеста), Филиппинах (крупное разрабатываемое месторождение хризотил-асбеста в пров. Пангасинан - Агилар, а также ряд мелких месторождений амфиболового асбеста), Северной Корее, Южной Корее (в 1970-1983 гг. добыча и производство асбеста в стране увеличились почти в 10 раз), Японии (ресурсы известных 10 месторождений оцениваются в 1500 тыс. т), Тайване (осуществляется добыча). Небольшие месторождения и проявления асбеста имеются на островах между Индийским и Тихим океанами.

В Африке месторождения и проявления асбеста обнаружены в Ботсване (юго-восток страны), Замбии (район г. Лусаки), Зимбабве (один из ведущих мировых производителей хризотилового асбеста, особенно известны месторождения Шабани и Машаба), Египте (небольшие месторождения и проявления антофиллит-асбеста, известные, видимо, с давних пор), Кении (месторождение Киньики), Марокко (месторождение Агбар), Мозамбике (антофиллит-асбест в месторождениях группы Мавита), Нигерии (месторождение Чафе), Свазиленде (знаменитый рудник Хэвлок, приуроченный к серпентинитовой полосе Восточного Трансвааля), Судане (запасы до 16 млн. т), Танзании, Намибии, Уганде, Эфиопии (в Абиссинии), на острове Мадагаскар, в ЮАР (имеются месторождения всех основных промыш-

ленных разновидностей асбеста, причем по добыче амозита и крокидолита стране принадлежит ведущее место в мире).

В Европе месторождения асбеста известны в Австрии (Тироль, Зальцбург, Штирия), Албании (во Внутренних Албанидах), Болгарии, Германии (Бавария), Греции (крупнейшее и наиболее важное месторождение Зинданион, известны, в том числе с античных времен, месторождения асбеста и в других районах страны), Испании (амфиболовый асбест), Италии (в свое время, один из европейских центров добычи и производства асбеста; наиболее крупные месторождения расположены близ г.Сан-Витторе), Кипре (древнейший производитель асбеста; асбест страны ассоциируется главным образом с серпентинитами плутонического комплекса Троодос), Португалии, Польше (небольшие месторождения и проявления, связанные с серпентинитами Нижней Силезии и древними сланцами Качавских гор), Румынии (месторождение Эйбенталь в Банате), Словакии, Украине, Финляндии (антофиллит-асбестовое месторождение в Паккиле), Франции (небольшие месторождения актинолит-тремолитового асбеста в Альпах, Пиринеях, Савойе, на о.Корсика, хризотил-асбеста - в Верхних Альпах и на о.Корсика), Чехии (Чешский массив), Швейцарии (кантон Граубюнден, хризотил-асбест), Швеции (антофиллит-асбест в Чеукискеро), в бывшей Югославии (многочисленные небольшие месторождения и проявления в разных районах).

В Северной Америке крупнейшие месторождения мира расположены в Канаде (хризотил-асбест, пров. Квебек, 6 основных асбестодобывающих центров - Асбестос, Колрейн, Блек-Лейк, Тетфорд, Майнз, Робертстон, Ист-Броутон; месторождения хризотилового и других асбестов известны в пров. Ньюфаундленд, Брит. Колумбия, Онтарио, Зап. Квебек); большая часть добываемого и производимого асбеста экспортируется. Достаточно крупные месторождения хризотил-асбеста известны в США, в основном сосредоточенные на западе (Кордильеры) и на востоке (Аппалачи) страны. Месторождения как хризотилового, так и амфиболового асбестов имеются и в других районах; в стране известно крупное месторождение маложелезистого длинново-

локнистого хризотил-асбеста (шт. Аризона). Незначительные месторождения и проявления асбеста установлена на Кубе (хризотил-асбест) и в Мексике (антофиллит- и тремолит-асбесты).

В Южной Америке месторождения асбеста найдены в Аргентине, Боливии (крокидолит-асбест, запасы 70 тыс. т), Бразилии (более 80% всех запасов в Юж.Америке), Венесуэле (серпентиниты Карибских Анд), Колумбии (месторождение Лас-Брисас и др.), Чили, Уругвае.

В настоящее время выявленные мировые ресурсы асбестового волокна (извлекаемое волокно) всех разновидностей оцениваются в 300 млн. т, причем общие запасы хризотил-асбеста составляют 97,2%, амозит-асбеста - 1,1%, крокидолит-асбеста - 0,9% [54а]. Крупнейшие запасы асбеста сосредоточены в России (47,4% подтвержденных запасов мира), Канаде (18,0%) и Казахстане (13,3%). Крупными запасами обладают Китай (4,7%), Зимбабве (2,6%), ЮАР (2,4%), Италия (2,2%), США (1,9%), Бразилия (1,7%), Греция (1,7%).

Существующие классификации месторождений асбеста основываются на разнообразных признаках, главными из которых являются морфологические, минералогические и генетические. Поскольку генетический признак отражает различные условия формирования месторождений, то именно он положен в основу многих известных классификаций. В свою очередь, как отмечает К.К.Золоев [32], в большинстве генетических классификаций предпочтение отдается петрографическому составу вмещающих оруденение горных пород и условиям образования месторождений. Дополнительными классификационными признаками служат минеральный вид асбеста, формы жилкования, морфология асбестовых залежей и характерные ассоциации минералов. Иногда учитывается структурно-тектоническое положение месторождений и рудных полей.

Все месторождения хризотил-асбеста пространственно и генетически связаны с серпентинитами. В общем случае главными разновидностями горных пород, слагающих крупные и средние месторождения хризотилового асбеста, являются гипербазиты и продукты их метаморфизма (упомянутые серпентиниты,

дуниты, перидотиты, пироксениты, листвениты, тальковые, тальк-карбонатные и др.), габбро, граниты, гранодиориты, плагиограниты, теналиты, известково-силикатные породы, а также жильные породы и продукты их метаморфизма. Согласно известной и общепризнанной классификации П.М.Татарина [20;28;43;52], выделяется два основных генетических типа месторождений хризотил-асбеста: гидротермальные среднетемпературные месторождения, образовавшиеся на умеренных глубинах в массивах ультраосновных пород (апоультрамафитовый тип), и скарновые (контактово-метасоматические) месторождения, возникшие в гидротермальную среднетемпературную стадию контактового метасоматоза магнезиально-карбонатных пород (апокарбонатный тип).

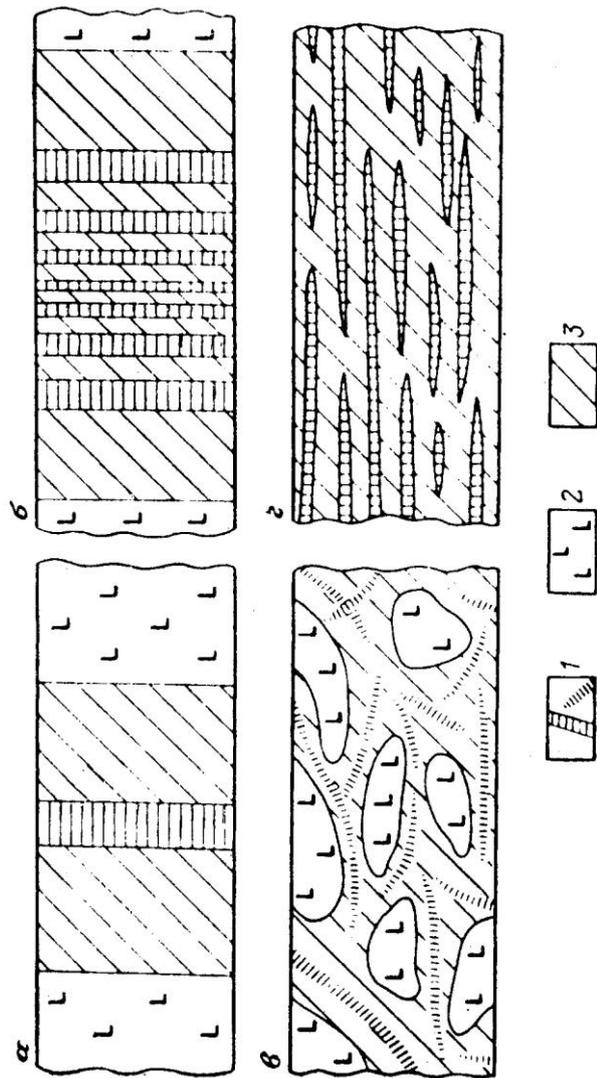
В месторождениях обоих типов хризотил-асбест образует прожилки среди массивных серпентинитов. Обычно жилы асбеста (мощностью до 10 см, редко выше) характеризуются определенным расположением волокон относительно стенок вмещающих пород. При этом различают [52]:

1) поперечно-волокнистый асбест (*cross-fiber*) - волокна протягиваются перпендикулярно к простиранию жилы под прямым углом к ее стенкам; такие агрегаты дают основную массу прочного, эластичного и легко расщепляющегося волокна;

2) продольно-волокнистый асбест (*slip-fiber*) - волокна располагаются вдоль простирания его жил; данный тип имеет небольшое практическое значение;

3) волокно массы (*mass-fiber*) - микроскопические жилы хризотила, почти нацело слагающие хризотилитовые массивные серпентиниты.

Иногда выделяют также косо-слоистые агрегаты хризотил-асбеста, которые близки поперечно-волокнистому асбесту. Установлены определенные закономерности зонального расположения специфических типов жилкования. Кроме того, по расположению жил хризотил-асбеста в пространстве и относительно друг друга различают (рис.12):



Р и с. 12. Типы жил хризотил-асбеста (по П.М.Татарину)

а - простые отороченные жилы; б - сложные отороченные жилы;
 в - сетчатый асбест; г - "мелкопрожил"; 1 - хризотил-асбест;
 2 - перидотит; 3 - массивный серпентинит.

1) простые отороченные или зальбандовые жилы (с ними связан наиболее длинноволокнистый асбест - до 4-40 мм и более, но выход его из горной массы составляет лишь 0,5-2%);

2) сложные отороченные жилы (содержание асбеста до 2-12%);

3) сетчатый тип (жилы типа крупной сетки и жилы типа мелкой сетки с длиной волокна в среднем 6-8 мм и выходом из горной массы до 4-8%);

4) мелкопрожилый тип, или мелкопрожил (длина волокна 1-3 мм, редко 5-6 мм, выход из горной массы достаточно высок);

5) асбестоносность типа просечек, или «волосовик» (просечками в жилах хризотил-асбеста называют те места в них, где наблюдается разделение волокнистых агрегатов поперек на одну, две или несколько частей, что обуславливает прерывность волокна по его длине);

6) одиночные жилы (содержание асбеста в руде до 10-15%, выход из всей горной массы до 1-2,5%);

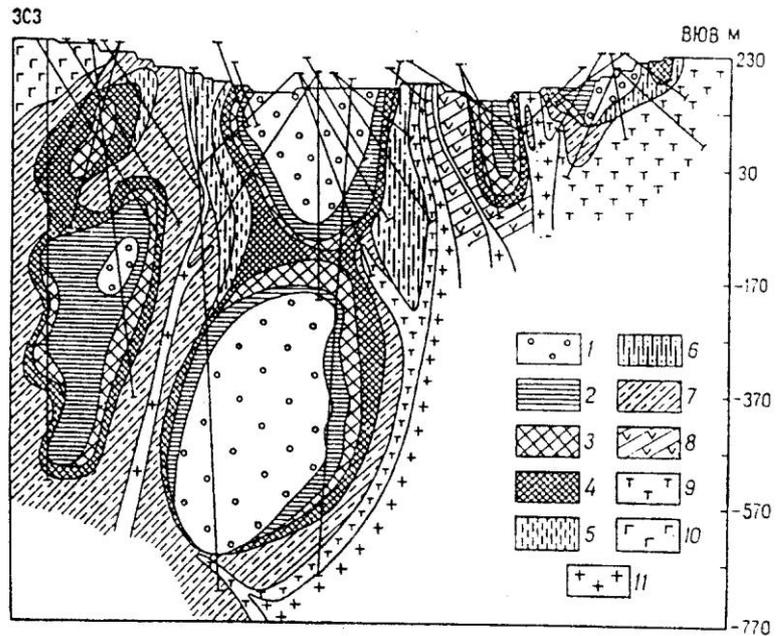
7) продольно-волокнистые жилы (длинноволокнистый асбест с содержанием в руде до 1,5-8%).

Гидротермальные (апоультрамафитовые) месторождения хризотил-асбеста, возникающие в процессе серпентинизации в ультраосновных породах, являются наиболее крупными и важными в промышленном отношении [26;28; 32;42;43;52; 57;58;69;71;77]. Серпентиниты с хризотилом формируются в результате аутометаморфической серпентинизации ультрабазитов, которые внедряются по глубинным разломам в начальные стадии складчатости. Среди указанного типа в зависимости от строения жил асбеста и их взаимного расположения (способа жилкования) выделяются месторождения трех подтипов: баженовского, лабинского и карачаевского. В последние годы В.Р.Артемовым [52] был выделен еще один, четвертый, так называемый брединский подтип месторождений хризотил-асбеста.

Месторождения баженовского подтипа приурочены к крупным массивам гипербазитов, сложенных в основном серпентинизированными перидотитами. В пределах указанных масси-

вов зоны асбестовых руд представляют собой полосы различной мощности, фиксирующие пространственное положение тектонических разломов. Обычно присутствует несколько асбестовых залежей линзовидной и/или эллипсоидальной формы мощностью до 400 м и протяженностью до 3 км. Глубина распространения отдельных залежей может достигать нескольких сотен метров. Они отличаются крайне неравномерной насыщенностью асбестом при среднем содержании волокон (сорта 0-5) в рудах от 1,5 до 8%. На асбестовых залежах не исключено развитие коры выветривания мощностью от нескольких сантиметров до 50 м и более. Для месторождений данного подтипа характерно зональное строение асбестоносных зон (рис. 13), которое, однако, не всегда фиксируется. Большой частью асбестоносность в месторождениях баженовского подтипа представлена мелкосетчатыми рудами, несколько реже крупной сеткой и отороченными жилами. К рассматриваемому подтипу относятся многие самые крупные в мире месторождения хризотил-асбеста, запасы которого в них насчитывают от нескольких сотен тысяч до десятков миллионов тонн. Среди них - Баженовское, Актовратское, Молодежное (Россия), Джетыгаринское (Казахстан), Джеффри, Блек-Лейк, Кассиар (Канада), Шабани и Машаба (Зимбабве). На долю месторождений этого подтипа приходится более 95% учтенных мировых запасов всех разновидностей асбестов; они в настоящее время обеспечивают до 95% добычи и производства товарного асбеста в мире.

Месторождения лабинского подтипа характеризуются преимущественно небольшими размерами. Они представляют собой жилообразные полосы серпентинитов, пронизанных параллельными жилами асбеста, что очень напоминает участки сложных отороченных жил в залежах месторождений предыдущего подтипа. Асбест в основном поперечно-волокнистый с длиной волокон до 60 мм, относящихся к высококачественным разновидностям со сравнительно высокой долей текстильных сортов. Среднее содержание асбеста в горной массе не превышает 2,5%, хотя в отдельных жилах доходит до 10-50%. На долю месторождений данного подтипа приходится около 1% учтенных мировых



Р и с. 13. Схематический геологический разрез Центрального участка Баженовского месторождения хризотил-асбеста (по М.М. Трапезниковой)

1 - перидотиты; 2 - перидотиты с жилами асбеста; 3 - перидотиты и серпентиниты с мелкой сеткой жил асбеста; 4-8 - серпентиниты (4 - с мелкой сеткой жил асбеста, 5 - с мелкопрожилом; 6 - с просечками и единичными жилами асбеста; 7 - рассланцеванные с асбестом, 8 - рассланцеванные); 9 - оталькованные породы (серпентиниты, карбонатные и хлоритовые образования); 10 - габбро; 11 - диориты, гранодиориты, диорит-аплиты, кварцевые порфиры.

запасов асбеста и около 2% мировой добычи его. Наиболее известные месторождения - Лабинское (Россия), Нью-Амиантус (ЮАР), Хавелок (Свазиленд).

Месторождения карачаевского подтипа приурочены к ультрамафитам, образующим интрузивные тела незначительных размеров. Асбест в основном продольно-волокнистый с длиной волокна до 30-50 мм, иногда более, непостоянного качества. Его содержания в рудах находятся в пределах 1,5-8%; преобладают, как правило, низкие сорта. На многих месторождениях асбест тесно сростается с нематолитом (волокнистым бруситом), а также ассоциируется с карбонатами (кальцитом, анкеритом), что резко снижает промышленную ценность подобных месторождений. Обычно запасы асбеста в месторождениях данного подтипа составляют несколько десятков или сотен тысяч тонн, редко больше. На долю этих месторождений приходится около 2% учтенных мировых запасов хризотил-асбеста и около 2% мирового производства его. Примерами месторождений могут служить Карачаевское (Россия), Ешкеольмесское (Казахстан), Ист-Броутон (Канада), Вермонт (США).

Руды месторождений брединского подтипа сложены в основном мелкосетчатым и мелкопрожилковым асбестом и просечками в нацело серпентинизированных гипербазитах. Месторождения этого подтипа изучены недостаточно полно и практически не имеют в настоящее время промышленного значения. В России они представлены Наследницким (Юж.Урал) и Оспин-Дабанским (Вост. Саяны) месторождениями.

Месторождения хризотилового асбеста, связанные с магнезиальными карбонатными породами (скарновые, контактово-метасоматические, или месторождения апокарбонатного типа), наблюдаются в различных районах земного шара и связаны с полосами и линзами серпентинитов, образовавшихся при замещении толщ доломитов и доломитизированных известняков, обусловленного воздействием на них магматических пород, которые рассекают карбонатные толщи в виде жил основного состава, либо внедряются или контактируют с ними [20;42;43;52;57;69;71;77]. Среди месторождений данного типа обычно выделяют

аспагашский подтип месторождений, связанный либо с жилами основного состава, рассекающими доломитовые породы, либо с контактным воздействием на доломитовые породы кислых гранитных интрузий. Как правило, месторождения данного типа отличаются небольшими размерами. Асбестоносность, имеющая промышленное значение, проявлена в форме незначительных пласто- и жилкообразных тел серпентинитов с жилками хризотил-асбеста. Асбест в основном поперечно-волокнистый с длиной волокон до 10, реже до 50 мм; содержание его в рудной массе составляет около 3%, хотя непосредственно в телах асбестоносных апокарбонатных серпентинитов может достигать 30%. Асбест этих месторождений, несмотря на существенно низкую прочность, отличается малым содержанием железа, что обуславливает его использование преимущественно в электронной, электротехнической и приборостроительной промышленности. Еще совсем недавно маложелезистый хризотил-асбест апокарбонатных месторождений относился к разновидности стратегического сырья. С данным типом месторождений связано около 1,5% учтенных мировых запасов хризотил-асбеста и около 1% его мировой добычи. Наиболее известные месторождения - Аспагашское (Россия), а за рубежом месторождения Аризоны (США), Трансвааля (ЮАР), Укокское (Киргизия).

В общем случае для месторождений баженовского подтипа наиболее характерны первые пять из выше названных типов жилкования; для месторождений лабинского подтипа типичны одиночные жилы; для месторождений карачаевского и брединского подтипов - продольно-волокнистые жилы [43].

В настоящее время условия серпентинизации и асбестообразования трактуются по-разному, спорны вопросы об источниках гидротерм, механизме и способах возникновения жил и соответственно волоконистых разностей хризотила. Наиболее любознательные читатели могут ознакомиться с существующими гипотезами и точками зрения различных исследователей в соответствующей литературе [10;26; 32;42;43;50;52;58;90;91;93].

Месторождения амфиболовых асбестов, как уже отмечалось, имеют подчиненное промышленное значение и изучены

недостаточно полно. Большинство исследователей относит их к гидротермальным образованиям различных температур и фаций глубинности [20;42;43;57;63;6977;78]. Наиболее известной для месторождений амфибол-асбестов является классификация Ю.К. Андреева и И.И. Волчка [43], в основу которой в качестве главного признака положен петрографический состав горных пород, вмещающих оруденение, а в качестве второстепенного - минеральный состав асбестов. Выделяются следующие типы месторождений:

1) месторождения амфиболового асбеста, связанные с ультраосновными породами и их метаморфическими производными (включают сысертский, шиловско-анатольевский и абдулкасимовский подтипы);

2) месторождения, связанные с измененными вулканогенными породами (горбуновский и белореченский подтипы);

3) месторождения, связанные с железисто-кремнистыми метаморфическими породами (криворожский подтип);

4) месторождения, связанные со слабо измененными глинисто-доломитовыми породами (боливийский подтип).

Сысертский подтип месторождений в качестве полезного ископаемого содержит антофиллит-асбест. Месторождения приурочены к серпентинитам и тальк-карбонатным породам, сформировавшихся при метаморфизме ультрамафитов. Залежи руды имеют в большинстве случаев неправильную форму и крайне невыдержанные размеры, отличаясь постепенным переходом к вмещающим породам. Содержание волокна в рудах колеблется в пределах 0,4-17% (в среднем около 4-5). Запасы асбеста оцениваются в десятки тысяч тонн. Типичным примером являются месторождения Сысертской антофиллит-асбестовой провинции на Урале.

Шиловско-анатольевский подтип месторождений в качестве полезного ископаемого содержит магнезиоарфведсонит-асбест. Месторождения приурочены к линзовидным зонального строения залежам тальково-хлоритово-карбонатных пород, образовавшихся при метасоматическом изменении углекислыми растворами апогарцбургитовых серпентинитов. Асбест встречается

только на контакте тальк-карбонатных пород с карбонатизированными серпентинитами в виде узкой зоны до 0,5-1 м. Асбестизация залежей (в форме небольших жил, линз, гнездоподобных тел) носит неравномерный характер. Среднее содержание асбеста около 4-5%.

Месторождения абдул-касимовского подтипа (актинолит- и тремолит-асбестов) приурочены к зонам тальково-карбонатных пород в серпентинитах. Пространственно и генетически они тесно связаны с месторождениями талька и талькового камня. Участки асбестизации образуют зоны, размеры которых колеблются от нескольких метров до десятков и даже сотен метров по простиранию и при мощности в несколько метров. Содержание асбеста обычно невелико, а масштабы известных месторождений незначительны.

Асбестовые жилы (актинолит- и тремолит-асбестов) в месторождениях горбуновского подтипа залегают в метаморфизованных пироксеновых порфиритах и в образовавшихся по ним зеленых сланцах, слагающих мощные дайки или пластовые интрузии. Асбест ассоциируется с карбонатом, кварцем, полевыми шпатами, эпидотом и аксинитом и образует поперечно-, косо-, продольно- и спутанно-волоконистые агрегаты. Месторождения располагаются в областях древней складчатости и регионального метаморфизма (Зеленокаменный синклинорий Урала, Кокчетавская глыба) и отличаются незначительными масштабами, хотя, по-видимому, районы их развития обширны.

Белореченский подтип месторождений актинолит-асбеста пространственно и, по-видимому, генетически связан с месторождениями горбуновского подтипа; встречается в колчеданных месторождениях, приуроченных к зеленокаменной формации Урала (Белореченское колчеданное месторождение). Жилы асбеста тяготеют к зонам дробления и тектонических подвижек в колчеданных линзах. Асбест обычно продольно-волоконистый и характеризуется высокой механической прочностью.

Криворожский подтип месторождений щелочного асбеста (крокидолит и магнийрибекитовый асбест) приурочен к железорудным свитам (например, Кривого Рога и Курской магнитной

аномалии). Жилы асбеста тяготеют к сериям дизъюнктивных нарушений сбросо-сдвигового характера; образование их связывается с явлениями щелочного метасоматоза, вызванного гидротермальными растворами щелочных гранитов. Известные проявления асбеста, как правило, практического значения не имеют. Однако, именно с древними формациями железистых кварцитов связаны крупнейшие месторождения крокидолита Южной Африки и Западной Австралии, имеющие несколько иной характер.

Боливийский подтип месторождений в качестве полезного ископаемого содержит родусит-асбест. Месторождения данного подтипа предположительно термального генезиса и тяготеют к дислоцированным толщам пестроцветных глинисто-песчано-мергелистых мелководных отложений лагунного типа. Мощность родуситоносных отложений для различных районов колеблется от 80-120 до 300-400 м, а мощность отдельных пачек - от 2-8 до 10-30 м. Родуситовая минерализация прослеживается во всей толще пестроцветных свит. Наиболее крупные месторождения родусит-асбеста известны в Боливии в провинции Чочобамба (в зарубежной практике это месторождение относят к крокидолитовому в силу существующей там коммерческой традиции).

В качестве самостоятельного подтипа иногда выделяют месторождения амфиболового асбеста, связанные с контактным воздействием гранитоидных интрузий на магнезиальные карбонатные породы в условиях малой глубинности. Примером таких месторождений служат Вангырское месторождение на Полярном Урале и некоторые асбестовые проявления Алданского района.

В последние годы при прогнозировании месторождений асбеста широко применяется группировка их на формационной основе, которая учитывает генетическую и пространственную связь тех или иных минеральных типов асбестов и морфологических групп рудных залежей с характерными геологическими формациями [57]. Последние, как известно, присущи определенным геологическим структурам земной коры. Подобная классификация учитывает закономерные связи разных групп месторождений асбестов с конкретной геотектонической обстановкой, а также с проявлениями конкретной геологической формации. При

этом каждому из формационных типов месторождений свойственны определенные горные породы, которые являются материнскими для образования специфической минеральной ассоциации.

По запасам волокна среди месторождений асбеста обычно выделяют: хризотил-асбест (в млн. т) - крупные (>5), средние (0,5-5) и мелкие (<0,5); антофиллит-асбест (в тыс. т) - крупные (>50), средние (5-50) и мелкие (<5) - [71].

Асбестовые минералы достаточно широко распространены в природе и не ограничены только месторождениями асбеста. Как парагенетический минерал хризотил-асбест и некоторые другие разновидности асбестов присутствуют в тальковых залежах, в мыльном камне, вермикулите, в пиррофиллитовых рудах. Дж. Уотсон [86] указывает на присутствие амфиболовых асбестов в кристаллических сланцах и основных изверженных породах, подвергшихся гидротермальному метаморфизму, а также в полосчатых железистых кварцитах (крокидолит-асбест), образующих мощные стратиформные залежи, значительные по площади и широко распространенные в мире.

Асбестовая минерализация типична для некоторых рудных месторождений, связанных с серпентинизированными породами, среди которых, например, хромитовые месторождения [45]. Выше отмечалась связь актинолит-асбеста с колчеданными месторождениями.

Асбестовые минералы присутствуют также в горных породах, не включающих какого-либо оруденения. Например, одним из источников поступления асбестового волокна в озеро Мичиган является эрозия береговых горных пород [158].

В одном из районов Польши источником поставки асбестовых частиц в атмосферу являются разрабатываемые залежи дорожного камня [230].

В прибрежных россыпях тяжелых металлов, развитых вдоль Адриатического побережья, также обнаружены асбестовые частицы.

5.1.2. География и краткая характеристика российских месторождений и проявлений асбеста

В месторождениях России сосредоточено свыше 70% запасов асбеста бывшего СССР; в свое время ей принадлежало около 60% общесоюзной добычи этого минерала, а Советский Союз, начиная с 1958 г., прочно занимал первое место в мире по добыче и производству асбестового волокна.

Российские месторождения и проявления асбеста, которых известно несколько сотен, представлены различными генетическими и минералогическими типами, но наибольшее промышленное значение имеют месторождения хризотил-асбеста. Самые крупные месторождения его связаны с гипербазитами и расположены на Среднем Урале (Баженовское), Южном Урале (Киембайское), в Туве (Актовратское), Восточном Саяне (Ильчирское, Молодежное). Среди месторождений маложелезистого хризотил-асбеста, связанных с доломитизированными известняками, крупнейшим является Аспагашское месторождение (Красноярский край). Наиболее крупные залежи амфиболовых асбестов (антофиллит-асбеста) сосредоточены в разрабатываемых месторождениях Сысертской группы на Урале. Подавляющая часть асбеста долгое время добывалась на одном из наиболее крупнейших в мире Баженовском месторождении. В пределах бывшего СССР выделяется несколько крупных асбестоносных провинций, подавляющая часть которых расположена в азиатской части (рис. 14). Значительная часть месторождений асбеста достаточно детально разведана, изучена и описаны в многочисленных работах [3;20;28;32;43;49;52;57; 58;63;69;71;77;91].

Месторождения хризотил-асбеста

Важнейшим асбестоносным и основным асбестодобывающим районом России является Урал, где большинство месторождений и проявлений хризотил-асбеста связано с серпентинитами и серпентинизированными гипербазитами и относится к



Р и с. 14. Асбестоносные провинции на территории быв. СССР [57]

1 – асбестоносные провинции: I – Карело-Кольская, II – Карпатская, III – Украинского щита, IV – Воронежского щита, V – Уральская, VI – Большого Кавказа, VII – Малого Кавказа, VIII – Казахстанская, IX – Памиро-Тяньшаньская, X – Алтае-Саянская, XI – Байкальская, XII – Становая, XIII – Амурско-Охотская, XIV – Ханкайско-Буреинская, XV – Сихотэ-Алинская, XVI – Камчатско-Сахалинская, XVII – Алазейско-Чукотская; 2 – месторождения хризотил-асбеста: 1 – Красноуральское, 2 – Джетыгаринское, 3 – Кiemбайское, 4 – Ешкеульмесское, 6 – Актоврацкое, 7 – Саянское, 8 – Ильчирское, 9 – Молодежное; 3 – месторождения антофиллит-асбеста: 4 – Бугетыйское, 10 – Сысертское

классу гидротермальных месторождений (Баженовское, Алапаевское, Лесное, Красноуральское, Режевское, Таловское и др.). К месторождениям контактово-метасоматического типа относятся проявления хризотил-асбеста в доломитизированных известняках западного склона Урала, широко распространенные на Полярном Урале (Вангырское, Сураизское, Скалистое и др.).

Практически все промышленно значимые месторождения хризотил-асбеста, известные на Урале, принадлежат к баженовскому подтипу. Минерализация лабинского подтипа изредка встречается в месторождениях баженовского подтипа и иногда образует небольшие самостоятельные месторождения (например, Устейское). Еще реже встречаются месторождения карачаевского подтипа (Мойвинское).

Крупнейшее в мире Баженовское месторождение хризотил-асбеста является главной сырьевой базой асбестовой промышленности нашей страны. Расположено оно в Асбестовском районе Свердловской области на водораздельной гряде, отделяющей бассейн реки Пышмы от бассейна левого притока ее - реки Бол. Рефт, и приурочено к одноименной интрузии гипербазитов, вытянутой в меридиональном направлении на 30 км при ширине до 3,5 км. Указанная интрузия является частью восточной полосы габбро-перидотитовых интрузий Среднего Урала, которая протягивается в близком к меридиональному направлению на протяжении примерно 180 км вдоль Асбестовского синклинория в западном крыле Восточно-Уральского прогиба. В состав полосы входят (с севера на юг): Алапаевский, Останинский, Режевский, Мало-Рефтинский, Малышевский и Баженовский массивы. Ультраосновные породы последнего представлены перидотитами, пироксенитами и возникшими за их счет серпентинитами и другими метаморфическими производными. Все промышленные залежи асбеста приурочены к перидотитам и апоперидотитовым серпентинитам. В пироксенитах и апопироксенитовых серпентинитах известны лишь непромышленные асбестопроявления. За пределами массива ультраосновных пород асбестовые жилы вообще не встречены, а внутри массива среди

жильных пород кислого или основного состава обнаруживаются крайне редко.

Залежи хризотил-асбеста в Баженовском районе обнаруживают отчетливую пространственную связь с разломами и зонами разломов. В рудном поле центральной части массива отчетливо выделяются три широкие меридиональные полосы ультраосновных пород - Восточная, Главная и Западная асбестоносные площади. В Главной полосе сосредоточено подавляющее большинство наиболее важных в промышленном отношении асбестовых залежей. В настоящее время на месторождении выявлено 34 залежи асбеста. Асбестоносность прослежена до глубины 1000 м. Разведанные запасы руды по категории В+С410 на 1986 г. оценивались в 3 млрд. т; запасы асбеста в 40,2 млн. т; среднее содержание его в рудах составляет 2,6% (1-6 сорта). Месторождение разрабатывается с 1889 г.; по 1965 г. включительно было добыто около 15 млн. т асбеста. В настоящее время оно эксплуатируется 3 карьерами, которые предполагается объединить в один длиной 11,5 км, шириной до 2,5 км и глубиной до 700 м. Вмещающие породы и руды отрабатываются уступами высотой 15 м с применением буро-взрывных работ. В 1988 г. добыто свыше 191 млн. т горной массы. Ежегодно на обогатительных фабриках перерабатывается более 33 млн. т руды. Извлечение асбеста из руд составляет примерно 85,7%, что дало, например, в 1988 г. около 1,16 млн. т волокна. Из отходов обогащения вырабатываются строительные материалы. Отходы также используются в качестве балласта для железнодорожных путей. В г.Асбесте расположен крупный завод асбестотехнических изделий.

К Алапаевской группе месторождений хризотил-асбеста относятся собственно Алапаевское (Курмановское) месторождение с многочисленными разрозненными залежами, месторождение Лесное и ряд мелких асбестопроявлений. Они расположены в центральной и северной частях Алапаевского габбро-перидотитового массива, в 25 км к юго-западу от г.Алапаевска Свердловской области. Вблизи Алапаевского месторождения находится поселок Асбестовский. Месторождение было открыто

местными жителями в 1906 г. и эксплуатировалось с 1907 г. по 1962 г. (добыто около 125 тыс. т асбеста). Среднее содержание асбеста в рудной массе (в основном 4-6 сортов) колеблется в пределах 0,89-1,78%, достигая иногда 2,35%. Основная масса представлена волокном с длиной 5-10 мм, встречается и более длинное волокно (до 30-40 мм).

Режевское (Останинское) месторождение расположено в Режевском районе Свердловской области. Оно было открыто в 1909 г. и периодически эксплуатировалось до 1941 г. (добыто более 13 тыс. т асбеста). Месторождение приурочено к Останинскому массиву гипербазитов; в пределах его (на площади 29 кв. км) выявлено 14 залежей хризотил-асбеста, максимальная длина которых достигает 260 м, минимальная - 50 м, ширина составляет от 25 до 80 м. Асбестоносность прослежена до глубины 100 м, хотя в большинстве случаев выклинивания залежей не установлено. Среднее содержание асбеста в рудах колеблется в пределах 0,78-1,62%, иногда до 4. Преобладает асбест 1-6 сортов.

Красноуральское (Невьяновское) месторождение хризотил-асбеста, открытое в 1908 г. местными жителями, расположено вблизи поселка Новоасбест Свердловской области. С 1908 г. по 1941 г. оно периодически разрабатывалось (добыто около 48 тыс. т асбеста). В 7 км к юго-западу от этого месторождения расположено Луковское месторождение хризотил-асбеста, также открытое в 1908 г. местными жителями; здесь до 1941 г. добыто несколько тысяч тонн асбеста.

На западном склоне Северного Урала в пределах Североуральского района Екатеринбургской области находится, приуроченное к серпентинитам, Кривское месторождение хризотил-асбеста. Содержание асбеста в рудах составляет в среднем 0,79%.

Вторым по разведанным запасам хризотил-асбеста месторождением России является Киёмбайское, открытое в 1936 г. и расположенное в Южном Урале на территории Светлинского района Оренбургской области (промышленный центр - г. Ясный, где расположен крупный горно-обогатительный комбинат). Месторождение приурочено к одноименной интрузии гипербазитов, разорванной более молодыми гранитоидами на Южный и Север-

ный массивы. Основная асбестоносность связана с северной частью массива, сложенной главным образом серпентинизированными перидотитами и частично дунитами. Промышленная минерализация в пределах Южного массива практически отсутствует. На залежах Северного массива выделяются зоны с крупной сеткой асбеста, мелкой сеткой, с редкими единичными жилками и просечками асбеста. Основные запасы асбеста связаны с залежью Главная, вытянутой в меридиональном направлении до 2 км. Асбестоносность прослежена до глубины 800 м. Среднее содержание асбеста 1-6 сортов - 5,25%, 1-7 сортов - 9,79%; в целом по месторождению - 4,8%; преобладает волокно 3-6 сортов. Интенсивная эксплуатация месторождения началась в 1980 г. Разработка осуществляется открытым способом с глубиной карьера первой очереди до 170 м. Отходы производства используются для приготовления щебня, песка и крупнозернистой посыпки для мягкой кровли, а рядовые отходы - как балласт для железнодорожных путей.

В Таловских горах Южного Урала месторождения и проявления хризотил-асбеста связаны с одноименным массивом ультраосновных пород. В пределах его известно несколько асбестопроявлений и два месторождения асбеста. Таловское месторождение находится в Миасском районе Челябинской области. Оно разрабатывалось еще в 1908-1910 гг. (добыто около 500 т асбеста), однако из-за нерентабельности дальнейшая эксплуатация была прекращена. В средней части Таловского массива в 7 км к северу от Таловского месторождения известно месторождение хризотил-асбеста горы Карымка, где преобладает мелкосетчатый тип асбестоносности при среднем содержании асбеста в рудах 1,55%.

В пределах Южного Урала известен еще целый ряд, в основном мелких, месторождений и проявлений асбеста. По структурному положению они подразделяются на две группы, одна из которых приурочена к гипербазитовым поясам, тяготеющим к зоне Уралтау (Абзаковское, Актушевское и др.), другая - к Восточно-Уральскому синклинию и Верхне-Тобольскому прогибу (Успенское, Брединское и др.). В северо-восточной части Магни-

тогорского прогиба расположены Беловское и Куликовское асбестопроявления. Абзакское месторождение (Башкирия) приурочено к серпентинитам; в 1905-1917 гг. оно разрабатывалось (добыто около 220 т асбеста). Среди других месторождений можно отметить Актушевское (общие запасы преимущественно низкосортного асбеста составляют 0,5 млн. т), Янтыкбашское, Уразовское, Псянгинское (эксплуатировалось в 1907-1911 гг., добыто 1,5 тыс. т асбеста), Успенское, Брединское, Аккаргинское, а также многочисленные асбестопроявления (Сухой-Узян, Кухтарское, Халиловское, Ишкинское, Аккермановское и др.). Имеются проявления продольно-волокнистого асбеста карачаевского подтипа в Оренбургской области (Ишкильдинское) и в Челябинской области (Чебаркульское).

Вторым крупнейшим асбестоносным районом России является Тува и Западный Саян. Подавляющее большинство месторождений хризотил-асбеста здесь связано пространственно и генетически с интрузиями серпентинизированных ультраосновных пород, образующими несколько гипербазитовых поясов. Самое крупное месторождение - Актоврацкое - приурочено к одноименному массиву гипербазитов, залегающему среди эффузивно-осадочной толщи кембрия и входящему в Западно-Тувинский гипербазитовый пояс. Это месторождение, по-видимому, было известно местным жителям еще в прошлом веке. Морфология асбестовых залежей типична для месторождений баженовского подтипа, а по своим физико-химическим свойствам волокно Актоврацкого месторождения не уступает Баженовскому. Запасы асбеста на месторождении оцениваются в более чем 2 млн. т. Активная промышленная добыча началась в 1964 г. В 1988 г. было добыто 13 млн. т горных пород; переработано 4,5 млн. т руды (коэффициент извлечения при обогащении составлял в среднем 80,5%) и произведено 144,6 тыс. т асбеста 0-6 группы.

В пределах Западно-Тувинского гипербазитового пояса обнаружено еще несколько месторождений и проявлений хризотил-асбеста, наиболее интересным из которых является открытое в 1948 г. Кедровское (Мало-Аянчатинское) месторождение. Оно приурочено к восточной оконечности Кодейского массива гипер-

базитов. Морфология асбестоносных зон, их строение и распределение в них жил асбеста те же, что и на Актоврацком месторождении. Хризотил-асбест образует жилки поперечно-волокнистого строения с длиной волокна от долей мм до 50-60 мм. По качеству волокно не уступает актоврацкому.

По перспективности на хризотил-асбест вслед за гипербазитовыми интрузиями Западно-Тувинского пояса стоят гипербазитовые интрузии Южно-Тувинского пояса, общая длина которого составляет 100 км. В его пределах известно довольно крупное Кускунугское месторождение, представляющее промышленный интерес. Все остальные проявления хризотил-асбеста, известные в пределах этого пояса, значительно уступают по масштабам оруденения этому месторождению (асбестопроявления в гипербазитах Агардаг-Тайги, Карашат, Сольджер, Улор и др.). Наименее перспективны в отношении асбестоносности интрузии гипербазитов Каахемского и Восточно-Тувинского поясов, в пределах которых лишь в некоторых районах отмечены признаки асбеста.

Массивы ультраосновных пород в Западном Саяне слагают два крупных пояса, северный из которых известен как Западно-Саянский (Борусский), а южный - как Куртушубинский. В Борусском гипербазитовом массиве выявлен ряд месторождений и проявлений асбеста. Среди них наиболее значительным является Енисейское месторождение, включающее 4 линзовидных рудных тела с ориентировочными запасами асбеста в 185 тыс. т. В пределах Куртушубинского хребта также обнаружены многочисленные проявления хризотил-асбеста (Иджимское, Каратинское, Ашпанское и др.).

Следующими по своей асбестоносности регионами России, по-видимому, являются Восточный Саян и Забайкалье. Наиболее известное из расположенных здесь месторождений - Ильчирское (Окинский район Бурятии; открыто в 1835 г.), которое в период с 1905 по 1919 гг. разрабатывалось (добыто 606 т асбеста). Оно приурочено к Ильчирскому перидотито-серпентинитовому массиву, имеющему длину более 2 км и ширину около 1 км. Асбестоносность прослеживается до глубины 400 м. Ме-

сторождение - баженовского подтипа, а по качеству руды и асбеста не отличается от него.

Саянская перидотито-серпентинитовая полоса гипербазитов, являясь частью крупнейшего Монголо-Саяно-Алтайского пояса, в целом характеризуется многочисленными проявлениями хризотил-асбеста, особенно в пределах Остинско-Китойского массива. Известны два месторождения - Самаргинское (в 15 км к северу-востоку от Ильчирского) и Боксонское (в 65-70 км к западу от Ильчирского), считающиеся в промышленном отношении перспективными. Самаргинское месторождение и Арлык-Гольское проявление образуют вместе с Ильчирским месторождением так называемый Ильчирский асбестоносный район Восточного Саяна.

На северном склоне Южно-Муйского хребта в Баунтовском районе Бурятии расположено Молодежное месторождение хризотил-асбеста, открытое А.А.Мальшевым в конце 1950-х годов. Оно приурочено к одноименному массиву гипербазитов. Руды этого месторождения отличаются исключительно высоким, даже уникальным содержанием текстильных сортов асбеста. Несколько асбестопроявлений обнаружено в пределах Северо-Муйского хребта.

В отношении асбестоносности другие регионы азиатской части России изучены менее детально. Тем не менее, по имеющимся данным, многие из них достаточно перспективны по хризотил-асбесту. Так, в Кузнецком Алатау известен ряд проявлений, приуроченных к отдельным гипербазитовым массивам (Федеровское, Северное и Николкинское в Кемеровской области). С ультраосновными породами Салаира связаны асбестопроявления (Уксунайское и др.) и небольшие месторождения (Мартыновское, Шалапское). В пределах Горного Алтая установлены мелкие месторождения (Казнахтинское в верховьях р.Катуни) и проявления хризотил-асбеста. Кроме того, небольшие месторождения и проявления этого асбеста, связанные с гипербазитами, известны в Приморье (в районе хребта Синего) и на Северо-Востоке (Анадыро-Пенжинский, Корякский, Камчатский гипербазитовые пояса).

В настоящее время на Кавказе не выявлено крупных месторождений хризотил-асбеста. Тем не менее, именно на примере расположенных здесь небольших месторождений в свое время было выявлено два подтипа их, связанных с гипербазитами - лабинский (по Лабинскому месторождению в Беденском массиве) и Карачаевское (месторождение Шаман-Беклеген в верховьях р.Кубани). Лабинское месторождение находится в Псебайском районе Краснодарского края. Оно известно примерно с 1913 г.; в 1930-1932 гг. здесь производилась опытная эксплуатация и было добыто 1514,5 т асбеста.

Карачаевское (Шаман-Беклегенское) месторождение расположено в самых верховьях реки Кубани. Хризотил-асбест в жилах ассоциируется с немалитом, образуя с ним тесные сростания. Длина волокна достигает 7 см, но обычно значительно меньше. Запасы асбеста оцениваются в 30 тыс. т. В начале 1930-х гг. проводилась пробная разработка месторождения, показавшая его перспективность.

Наряду с указанными месторождениями в гипербазитах зоны Передового хребта Большого Кавказа известен целый ряд проявлений хризотил-асбеста, которые не представляют промышленного интереса (Белореченское, Бзыш, Анерота, Малкинское и др.).

В пределах Северо-запада России установлены мелкие непромышленные месторождения и проявления хризотил-асбеста в четырех районах: в Печенгском районе Мурманской области; в пределах Ветреного пояса (запад Архангельской области и часть Карелии); в Восточной и Юго-Западной Карелии, где асбест приурочен серпентинитам, залегающим среди метаморфизованных осадочно-эффузивных образований протерозоя. Печенгское месторождение связано пространственно и генетически с никеленосными ультраосновными интрузиями. Оно считается малоперспективным. Запасы волокна до глубины 50-100 м оцениваются в тысячи, в лучшем случае в десятки тысяч тонн. Весь асбест ломкий и полуломкий. Особый интерес (с экологических позиций) могут представлять асбестопроявления Ветреного пояса, разбросанные на площади 200x40 км, т.е. примерно на 8000 кв. км.

Контактово-метасоматические месторождения хризотил-асбеста в осадочных магнезиально-карбонатных породах имеют безусловно меньшее промышленное значение и представляют главным образом интерес как источники маложелезистого асбеста. Среди них наиболее известно Аспагашское месторождение, расположенное на Асбестовой горке в южной части Минусинской котловины (Красноярский край). Это самое крупное и наиболее изученное месторождение подобного типа в России. В 1907-1914 гг. оно разрабатывалось иностранными предпринимателями. В последующем эксплуатировалось в 1923-1931 гг., а также в 1933 г. (до 100-200 т в год). Считается, что запасы хризотил-асбеста здесь составляют не менее 38 тыс. т.

Месторождения, подобные Аспагашскому, известны также в периферийной восточной части Кузнецкого Алатау и расположены в кембрийских карбонатных отложениях, прорванных гранитоидами и дайками спессартитов и диабазов (Бистагское, которое разрабатывалось в начале века, Биджанское, Уйбатское). Они отличаются незначительными масштабами оруденения. Асбестопроявления подобного типа обнаружены в Алтае-Саянской области (Батеневский кряж), в Туве (р.Байсут), на Полярном и Приполярном Урале. Среди уральских - месторождения ручья Ош-Кьян-Шор (хризотил- и тремолит-асбесты), Вагырское (то же самое) и др. Проявления маложелезистого хризотил-асбеста открыты на Дальнем Востоке в Приморье (хр. Синий), в Биробиджане (карбонаты Розовых Скал), на Алдане (метаморфизованные карбонатные породы архея), а также в Восточном Саяне в районе Онотского талькового месторождения, на Среднем Урале в районе Медведевского месторождения офикальцитов.

Месторождения амфиболовых асбестов

Наиболее крупные месторождения антофиллит-асбеста расположены на Урале, среди которых К.К.Золоев [32] различает два генетических типа. Первый тип - собственно метаморфогенно-метасоматический - связан с вторичными оливин-энстатитовыми и энстатитовыми породами. Рудные тела данного типа

месторождений имеют небольшие размеры, лентообразную, линзовидную и гнездообразную форму и зональное строение. К этому типу относятся большинство Сысертских месторождений, Савекульское, Бугетысайское и др.

Второй тип месторождений и проявлений антофиллит-асбеста представлен контактово-реакционными образованиями в метаморфизованных гипербазитах на границе их с силикатными породами кислого состава. Асбест присутствует здесь в виде вкрапленности спутанно-волоконистых и звездчатых масс, иногда мощных жил продольно- и поперечно-волоконистого строения. В ассоциации с антофиллит-асбестом нередко встречается тремолит-асбест. Промышленного значения они не имеют. Помимо самостоятельных проявлений (Мурзинское, Алабашевское, Кочневское и др.), месторождения встречаются в породах околodayкового изменения в Сысертском районе.

Сысертская группа месторождения антофиллит-асбеста представляет собой меридионально вытянутую полосу длиной 48 км и шириной до 28 км. Собственно Сысертское месторождение расположено среди гранитного массива в 20 км к западу от г.Сысерть. В пределах указанной полосы известно 8 месторождений и 49 проявлений антофиллит-асбеста. Асбестоносными являются антофиллит-талек-магнезитовые породы. Считается, что весь Сысертско-Ильменский мегантиклинорий перспективен на антофиллит-асбест.

Савекульское месторождение антофиллит-асбеста расположено в северо-западной части Ильменского заповедника. Асбест приурочен к линзовидным залежам ультраосновных пород. В 50 км от г.Миаса находится Кочневское месторождение, разрабатывавшееся в 1920-х гг.

Среди уральских месторождений тремолит-актинолитовых асбестов Ю.С.Соловьев (1958) выделяет 4 основных группы:

- 1) Месторождения в зеленокаменной полосе Урала, связанные с дайками пироксеновых порфиритов. Наиболее типичным является Горбуновское месторождение. Аналогичные асбестопроявления известны в эффузивах Северного, Среднего и Южного Урала.

2) Месторождения в трещинах медно-колчеданных руд, залегающие в сланцах и альбитофитах (например, в Белореченском медно-колчеданном месторождении, а также в некоторых других).

3) Месторождения в оталькованных серпентинитах и тальк-карбонатных породах, например, Абдул-Касимовское месторождение в Башкирии. Подобные месторождения и проявления известны на Среднем и Южном Урале.

4) Месторождения в мраморизованных, доломитизированных и мергелистых известняках и тальк-хлоритовых сланцах в Приполярном Урале (Вангырское месторождение), а также проявления в Башкирии, где развиты жилы с продольно- и косо-волокнустым асбестом. Кроме того, месторождения данного типа широко распространены в ультраосновных массивах Урала (Коркодинское, Черемшанское, Верхне-Тагильское и др.), но промышленного значения они не имеют.

На Урале встречены проявления крокидолит-асбеста, приуроченные к сиенит-эгириновым пегматитам среди сиенитовых гнейсов Ильменского кристаллического комплекса (Карабалыкское асбестопроявление). Асбестовая минерализация, сходная с крокидолитом, обнаружена также в районе р.Мойвы (минерал чернышеевит, представляющий собой волокнистую разновидность рибекита). Его находят и в оталькованных железистых кварцитах на Нижне-Чувальском железорудном месторождении. Аналогом этих асбестопроявлений является Мезенское в Коми. На Среднем Урале известны магнезиоарфведсонитовые асбестоподобные образования (в пределах Тагило-Невьянского и Алапаевского гипербазитовых массивов).

В Карело-Кольском регионе проявления антофиллит-асбеста обнаружены в серпентинитовом поясе Кольского полуострова и в ультраосновных щелочных породах массива Лесная Варака (вкрапленный асбест сысертского подтипа). В Карелии антофиллит-асбест установлен как в валунах, так и в коренном обнажении в небольших сильно метаморфизованных ультраосновных телах, залегающих в гнейсах. Проявления актинолит- и тремолит-асбестов известны на Кольском полуострове в районах

развития ультраосновных пород, а в Карелии - в областях распространения шунгитовых сланцев и диабазовой формации. Есть сведения о наличии на Кольском полуострове проявлений родуцит-асбеста.

В пределах Воронежского кристаллического щита асбест-амфиболовая минерализация (Mg-крокидолит и железистый куммингтонит-асбест) связана с железорудной формацией (железистыми кварцитами курской серии). Асбест в основном имеет минералогическое значение, однако проявлен на значительной площади (Криворожско-Курская асбестоносная провинция).

Месторождения тремолит-актинолитового асбеста известны на Кавказе, главным образом, в пределах зоны Передового хребта, в меньшей степени - в зоне Главного хребта. Наиболее крупным является Кизыльчукское месторождение, приуроченное к ультраосновным породам, залегающим на водоразделе рек Кизыльчук и Большой Зеленчук. Асбестоносность связана с карбонатизированными и рассланцеванными серпентинитами, тальково-хлоритово-карбонатными породами и листовниками. К вулканогенной толще Передового хребта приурочен еще ряд месторождений актинолит-асбеста (Хацавитая, Краснореченское, Власейчихинское), размеры которых невелики.

В Алтае-Саянском регионе обнаружены незначительные месторождения и проявления актинолит-асбеста и тремолит-асбеста, связанные как с ультраосновными, так и с вулканогенными породами. К первым относятся незначительные проявления в Салаирском кряже, в Сольджерской группе массивов Южно-Тувинского пояса, в отдельных массивах Китойско-Окинского пояса. Месторождения в вулканогенных породах известны в пределах Чарышо-Теректинской зоны (в бассейне р.Катуни).

В ультрабазитовых массивах Саяна и в эгириновых сиенитах Бурятии (южный склон хр. Хамар-Дабан) найдены проявления крокидолит-асбеста. В юго-восточной части Тувы к ультраосновному массиву приурочено Сольджерское месторождение антофиллит-асбеста, а в Тункинской долине Бурятии на границе

известняков с гранитами известны проявления антофиллит-асбеста.

Асбестовая минерализация тремолит-актинолитового ряда достаточно широко развита в авгитовых сиенитах и в скарнированных карбонатных породах Алдана. Именно в этом районе в свое время был впервые обнаружен рихтерит-асбест, пополнивший список известных минералогических разновидностей амфиболовых асбестов.

Месторождения и проявления родусит-асбеста обнаружены также в некоторых районах Сибири, а также в бассейне реки Камы, где они приурочены к осадочным или метаморфическим породам. Асбест встречается в виде жил и вкрапленников до 1 см. Подавляющая часть месторождений и проявлений амфиболовых асбестов России изучена недостаточно полно.

5.2. Антропогенные источники асбеста

Среди антропогенных источников поступления асбеста в окружающую среду особое место принадлежит так называемым первичным, которые связаны с добычей и производством асбеста и соответствующих изделий из него. Как известно, подавляющая масса волокна производится из хризотил-асбеста. Примерно до 1964 г. мировая добыча хризотил-асбеста была сосредоточена в основном на 3-х месторождениях - Баженовском (Россия), Тетфорд (Канада) и Шабани (Южная Родезия, ныне Зимбабве). В последствие география асбестодобывающей промышленности заметно расширилась, прежде всего, за счет разработки месторождений Азии, Австралии, Юж.Америки. В середине 1980-х гг. в мире ежегодно добывалось около 4 млн. т асбеста.

В 1993 г. добыча асбестовых руд в мире осуществлялась в 17 странах, причем около 95% асбеста добыто на 35 горнодобывающих предприятиях Канады, США, Бразилии, Зимбабве, Свазиленда, Китая, Казахстана и России [54а]. В Италии и Греции в связи с запрещением использования асбеста во многих отраслях промышленности добыча его была приостановлена. В на

Т а б л и ц а 14. Динамика производства асбеста (64а)

Континенты и страны	Вид асбеста	Производство асбестового волокна, тыс. т				
		1989	1990	1991	1992	1993
Европа	Хризотил	2415,0	2063,1	1512,6	1232,1	1001,4
Болгария	-//-	0,3	2,0	1,3	1,5	1,4
Греция	-//-	73,3	66,0	4,8	28,6	-
Италия	-//-	44,3	3,9	-	-	-
Россия	-//-	2290,0	1984,6	1500,0	1200,0	1000,0
Югославия	-//-	7,1	6,6	6,5	2,0	-
Азия	Все виды	574,9	568,2	811,7	860,4	839,2
	Хризотил	542,7	574,4	777,9	823,9	806,2
	Прочие виды	32,2	20,8	33,8	36,5	33,0
Индия	Все виды	37,2	26,0	38,8	41,5	38,0
	Хризотил	5,0	5,2	5,0	5,0	5,0
	Прочие виды	32,2	20,8	33,8	36,5	33,0
Иран	Хризотил	60,0	60,0	54,7	55,0	55,0
Казахстан	-//-	310,0	315,4	500,0	500,0	500,0
Китай	-//-	160,0	160,0	213,0	232,0	240,0
Пакистан	-//-	0,3	0,3	0,2	0,1	-
Южная Корея	-//-	2,4	1,5	-	2,3	1,5
Африка	Все виды	390,0	358,8	316,7	329,9	278,3
	Хризотил	329,9	300,4	257,2	299,9	266,3
	Амозит	26,1	26,6	27,4	5,1	-
	Крокидолит	23,7	31,5	31,6	24,5	11,6
	Прочие виды	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4
АРЗ	Прочие виды	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4
Зимбабве	Хризотил	187,1	161,1	141,7	150,2	140,0
Свазиленд	-//-	27,3	35,5	13,9	46,0	33,9
ЮАР	Все виды	165,3	161,5	160,5	133,3	104,0
	Хризотил	115,5	103,4	101,6	103,7	92,4
	Амозит	26,1	26,6	27,4	5,1	-
	Крокидолит	23,7	31,5	31,6	24,5	11,6
Америка	Хризотил	940,9	952,2	956,0	790,2	841,7
Аргентина	-//-	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
Бразилия	-//-	206,3	232,3	233,1	170,4	230,0
Канада	-//-	701,2	685,6	686,0	587,0	580,0
Колумбия	-//-	15,8	16,0	16,5	17,0	16,5
США	-//-	17,4	18,0	20,1	15,6	15,0
В с е г о	Все виды	4310,8	3942,3	3597,0	3212,6	2960,6
	Хризотил	4228,5	3863,1	3503,7	3146,1	2915,6
	Амозит	26,1	26,6	27,4	5,1	-
	Крокидолит	23,7	31,5	31,6	24,5	11,6
	Прочие виды	32,5	21,1	34,3	36,9	33,4

Примечание: 1993 г. - оценка.

стоящее время во многих, особенно развитых странах, прослеживается тенденция снижения объемов добычи асбеста и производства асбестового волокна, что во многом обусловлено экологическими факторами. Мировое производство асбестового волокна в 1993 г. составило 2 960,6 тыс. т (на 7,8% меньше, чем в 1992 г.), из которых 704,0 тыс. т (23,8%) было произведено в развитых капиталистических странах, 515,2 тыс. т (17,4%) - в странах с плановой или переходной экономикой и 1741,4 тыс. т (58,8%) - в развивающихся странах (табл. 14).

Длительное время, как отмечено выше, важнейшим производителем и потребителем асбеста был СССР, причем до 60% добычи приходилось на долю России (табл. 15).

Таблица 15. Добыча асбеста в России, тыс. т [20]

Год	1913	1940	1950	1960	1970	1980	1986
Добыча	25	143	243,8	1085,8	1702,9	1748,5	2040,1

Уже в 1913 г. в России было добыто около 25 тыс. т асбеста (около 17% мировой добычи), из которых 12,4 тыс. т экспортировано. В 1967 г. экспорт асбеста составлял 285,2 тыс. т, в 1992 г. - 87,4 тыс. т, в 1993 г. - 69,9 тыс. т. В 1993 г. в мире основными продуцентами асбестового волокна являлись Россия (33,8% суммарного производства), Канада (19,6%), Казахстан (16,9%), Китай (8,1%), Бразилия (7,8%), Зимбабве (4,7%) и ЮАР (3,5%), на долю которых приходилось 94,4% асбеста, произведенного в 1993 г. [54а]. Основная часть (98,5%) произведенного волокна приходится на хризотил-асбест, 0,4% - на крокидолит, 1,1% - на прочие асбесты.

Мировое потребление асбестового волокна в 1993 г. по сравнению с 1992 г. снизилось на 5% и составило 2639 тыс. т (табл. 16). Это отразилось также и на уменьшении объемов внешней торговли. По-видимому, за всю историю мировой асбестовой промышленности было добыто (произведено) несколько десятков миллионов тонн асбеста (асбестового волокна).

Т а б л и ц а 16. Динамика потребления асбестового волокна [54а]

Группа стран, страны	Потребление асбестового волокна, тыс. т				
	1989	1990	1991	1992	1993
В с е г о	3577	3256	2911	2779	2639
в том числе:					
Развитые страны	544	492	481	477	474
Япония	260	264	266	264	266
Франция	75	70	70	70	65
Италия	44	4	-	-	-
США	55	41	35	33	33
Бельгия	30	32	30	30	30
Великобритания	30	30	30	30	30
Развивающиеся страны	536	531	514	497	525
Бразилия	188	178	165	150	158
Индия	85	85	85	85	95
Таиланд	80	82	80	80	80
Южная Корея	60	62	62	60	60
Турция	51	50	50	50	60
о.Тайвань	42	43	42	42	42
Малайзия	30	31	30	30	30
Страны с плановой или переходной эконо- микой	2497	2233	1916	1805	1640
Россия	2000	1700	1200	1113	930
Казахстан	310	315	500	500	500
Китай	160	192	190	170	190
Югославия	7	6	6	2	-
Болгария	7	7	7	7	7
Румыния	7	7	7	7	7
Куба	6	6	6	6	6

Примечание: 1993 г. - предварительные данные.

Масштабы воздействия асбестовых горнопромышленных предприятий на окружающую среду чрезвычайно велики. Например, в 1980-х гг. в бывшем СССР ежегодно перерабатывалось около 47-49 млн. т асбестовой руды [61]. При этом среднее извлечение полезного компонента из перерабатываемого сырья составляло 87,2-88,2%. Несомненно, что наиболее ярко техногенное влияние проявляется на крупнейших разрабатываемых месторождениях асбеста, представляющих собой значительные по площади и сложные по функциональному строению горнопромышленные районы, как правило, включающие крупные населенные пункты. Примерами асбестовых горнопромышленных районов могут служить австралийские месторождения в шт. Новый Южный Уэльс (Барраба, Шерлок и др.), Джетыгаринское месторождение в Казахстане, китайские месторождения в провинциях Сычуань и Цинхай, месторождения Шабани и Машаба в Зимбабве, асбестоносная полоса Свазиленда, амозитовый пояс ЮАР, асбестовые провинции Канады, Баженовское месторождение в России и др.

Безусловно, добыча асбеста сопровождается многими негативными явлениями, типичными для горнопромышленных территорий [100]. Однако, характернейшей особенностью в таких районах является чрезвычайно интенсивное поступление в окружающую среду взвешенных веществ (пыли) и прежде всего асбестовых волокон. Как правило, отработку асбестовых месторождений осуществляют открытым способом с использованием крупных взрывов. Так, как указывалось ранее, на Баженовском месторождении в 1988 г. переработано более 33 млн. т руды. Поскольку извлечение асбеста из руд в среднем составляло 85,7%, то его потери только при обогащении могут быть оценены в 200 тыс. т. По имеющимся данным за период 1949-1962 гг. потери асбеста на месторождении составили: в отвалы бедных руд - 850,2 тыс. т, в пустопородные отвалы - 333,7 тыс. т. Использование отходов в производстве строительных материалов или в качестве балласта при дорожном строительстве еще более способствует рассеянию асбестового волокна в окружающей среде.

В 1988 г. в целом для СССР вскрышные породы, образующиеся при разработке асбестовых месторождений, использовались на 40% годового объема отходов. Остальная часть их складировалась в отвалы [61]. В обоих случаях не исключена вероятность поступления минеральных волокон в окружающую среду. В настоящее время в России ежегодное извлечение горной массы на асбестовых комбинатах составляет примерно 280 млн. т, а переработка руды на обогатительных фабриках - 50 млн. т [10а]. Ежегодно используется в различных сферах примерно 21,5 млн. т отходов обогащения асбеста, содержащих до 0,5% и более асбеста.

Ориентировочные расчеты показывают, что в 1980-х гг. в мире при добыче и переработке (обогащении руд) асбестовых руд ежегодно терялось не менее 500-700 тыс. т волокна.

В литературе имеются сообщения о том, что в результате загрязнения асбестом в горнопромышленных районах могут формироваться экстремальные экологические ситуации. Так, австралийские исследователи приводят данные о чрезвычайно высоком уровне загрязнения окружающей среды асбестом в районе горняцкого поселка Уиттернум, что привело к развитию у рабочих и жителей асбестоза, рака легких и мезотелиомы [192]. Авторы расценивают историю этого поселка как самое тяжкое индустриальное бедствие, когда-либо имевшее место в Австралии.

Важнейшим источником выделения асбестовой пыли являются обогатительные фабрики [224]. По некоторым данным, концентрация пыли в выбросах колеблется в пределах 4-11,5 г/м³, а часовой выброс воздуха, например, на одной крупной асбестовой обогатительной фабрике достигал 1,6 млн. м³, что может обуславливать выброс асбестовой пыли в несколько десятков тысяч тонн в год. Асбестовая пыль в концентрациях выше допустимых значений прослеживается на расстоянии в несколько километров от обогатительных фабрик.

Значительные массы асбестовой пыли могут поступать в окружающую среду при разработке месторождений талька и талькового камня, пиррофиллитовых и тальк-магнезитовых руд, при добыче мыльного камня, вермикулита, а также при освоении

и разработке некоторых рудных (например, медноколчеданных) месторождений, дорожного камня и других строительных материалов. К сожалению, какой-либо информации по данному вопросу в доступной литературе не имеется. Тем не менее, эта проблема может быть достаточно актуальной, поскольку асбест может также входить и в состав конечной продукции.

На основе асбеста или с его использованием вырабатывается до 3500 изделий, применяемых в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве, в быту (табл. 17) и являющихся вторичными источниками загрязнения среды обитания асбестовым волокном. По существующим оценкам, около 65% всего потребления асбеста приходится на производство асбестоцемента и изделий из него. Асбестоцемент занимает первое место в мире как материал для производства кровельных покрытий [67]. В ФРГ в 1991 г. до 70% всего потребляемого асбеста использовалось в производстве асбестоцементных строительных материалов и изделий, а остальная часть - для производства асбестотекстильных изделий, асбобумаги и асбокартона, а также как добавка в битумную массу при строительстве дорог [171]. Для США (конец 1970-х - начало 1980-х гг.) приводится следующая структура потребления асбеста: фрикционные материалы - 21%, плитка для пола - 20, асбестоцементные трубы - 15, различные покрытия и смеси, изготовленные с применением асбеста 7-й группы - 10, уплотнители и прокладки - 6, различные асбестоцементные листы - 4, кровельные материалы - 3, асбобумага - 1, текстильные материалы - 0,6, электро- и термоизоляторы - 0,3, пластмассы - 0,3, прочие изделия - 18,8% [20]. В свое время в СССР асбестоцементная промышленность использовала до 83,4% асбестового волокна; 7,8% его шло на различные асботехнические изделия и 8,8% применялось в других целях [52]. Важной областью применения является использование асбеста в производстве фрикционных материалов: различных тормозных или передаточных механизмов (тормозные колодки и диски сцепления автомобилей, вагонов и т.п.). Содержание асбеста колеблется в них от 25 до 50% [98]. Транспорт может являться источником поступления асбестовой пыли в окружающую среду.

Т а б л и ц а 17. Основная номенклатура асбестовых изделий [35]

Группа	Важнейшие изделия
Асбестовые текстильные материалы и изделия	Огнезащитные ткани: костюмы, перчатки, шлемы; ремни для конвейеров и трансмиссии; тормозные ленты диски сцепления, колодки, прокладки; термоизоляционные ленты, шнуры, трубки, прокладки, уплотняющие набивки и прокладки для тепловых двигателей; "85% магнезия"; электроизоляционные ленты, материал для обмотки, прокладки; асбестопластики - термоизоляционные покрытия металлических изделий
Асбестоцементные изделия	Листы (плоские, волнистые, рифленые) и плиты, применяемые в строительстве; фасонные изделия для устройства вентиляционных каналов и т.п.; трубы и устройства для водо-, нефте-, газопроводов, канализации, воздухопроводов; несущие строительные детали
Асбестовые листы, картон, изделия из них, термоизоляционные материалы	Картон и бумага, используемые в строительстве для огнезащитных обивок; формованные тормозные колодки, прокладки и диски сцепления для автомашин; чисто асбестовые термоизоляционные материалы; асбестовая гофрированная бумага, из которой вырабатывают термоизоляционные платы и сегменты; асбестодиатомовые и асбестомагнезиальные материалы
Асбестовые резиновые листы	Уплотняющие прокладки во фланцах трубопроводов, паровых машин и аппаратов
Асбестопластмассовые материалы	Асбестобакелитовые материалы и изделия из них; кислотостойкие прокладки и аппаратура для химической промышленности; плитки на базе асбеста и синтетических смол; асбестовиниловые плитки и линолеум; термоизоляция
Асбестобитуумные материалы	Рубероид, гидроизоляционные материалы, асбестобитуумные плитки, дорожные покрытия
Асбестовые цементы	Композиции огнезащитных и термоизоляционных покрытий, применяемые в строительстве (эти соединительные цементы вырабатываются из сильно распушенного коротковолокнистого асбеста в смеси с цементом); специальные лаки и краски

Определенную роль в поставке асбеста, особенно в жилую и производственную среду, могут играть различные электротехнические и радиотехнические изделия, содержащие материалы из асбестового волокна, в том числе электроизоляция.

Асбест широко использовался в железобетонных шпалах во втулках для винтовых креплений и костылей. Например, в Англии уже к 1960 г. было уложено более 2,5 млн. таких железнодорожных шпал. В годы 2-й мировой войны в стране из всего количества военных построек (90 тыс.) около 60 тыс. было сооружено с применением асбестоцементных материалов.

Во многих специальных лаках и красках, например, в винил- и дивинилацетиленовых лаках в качестве наполнителя используется асбестовое волокно.

Особое значение как вторичные источники асбеста из-за своей массовой распространенности имеют асбестоцементные изделия.

Средние по мощности асбестоцементные заводы потребляют около 60 т асбеста в сутки [7]. Кроме пыли, на указанных заводах образуются различные отходы, содержащие асбест. Это, в частности, отходы в виде влажных асбестоцементных смесей, различные виды сухих отходов. В водах, сбрасываемых формовочными машинами, содержится около 10 г/л асбестоцемента (до 10% от потребляемого сырья). Особую опасность представляют бумажные мешки, в которых поставляется асбест. Довольно часто они просто вывозятся на свалки, либо используются населением в различных целях. Асбестовое волокно способствует увеличению выбросов цементной пыли, что во многом обусловлено явлением адгезии цемента на волокнистых частицах. При производстве асбокартона выбрасываемая в атмосферу пыль содержит не только асбестовое волокно, но и примеси крахмала и серпентинита. Среднее содержание пыли в выбросах составляет от 9 до 121 мг/м³.

Практически любое предприятие по производству различных изделий из асбеста или использующее его в технологических процессах является источником поставки волокнистой пыли в окружающую среду [119] - (табл. 18).

Таблица 18. Содержание асбестовой пыли в атмосферном воздухе в зоне влияния асбестоперерабатывающих заводов [224]

Расстояние от завода, км	Концентрация пыли, мг/м ³
0,3	0,4-6,8
0,5	1-5
1,0	0,6-5,7
1,5-2,0	0,7-2,7
3,0	0,5-2,6

В 1975 г. в ФРГ предприятиями по переработке асбеста было выброшено в атмосферу 13 т асбеста [92]. В начале 1980-х гг. в стране насчитывалось до 2000 предприятий, перерабатывающих или использующих асбестовое сырье (до 170 тыс. т/год) [178]. В 1980 г. ими было выброшено в атмосферу около 7,4 т асбеста, т.е. около 4,4% от использованного количества (в том числе, предприятиями по производству стройматериалов 4 т, по производству фрикционных покрытий - около 1 т, асбестоцементными заводами - около 2 т, при производстве волокна - около 0,2 т, тканей - 0,2 т). Приводимые данные интересны тем, что в определенной мере позволяют выявить структуру техногенных выбросов асбеста, а также (условно) оценить мировой выброс асбестовой пыли (если исходить из «нормативных» потерь асбеста в 4,4% от потребляемого количества), который на середину 1980-х гг. составлял около 160-180 тыс. т/год (только при производстве различных изделий из асбеста). В последующие годы потребление асбеста в Германии стало снижаться и уже в 1984 г. составляло около 90 тыс. т [233].

Асбест присутствует в различных твердых промышленных и бытовых отходах [87]. Твердые отходы, содержащие асбест, требуют специального обращения и хранения. Например, в США вывоз на свалки асбестосодержащих материалов считается незаконным. Свалки, принимающие такие отходы, должны отвечать определенным требованиям. В частности, отходы должны быть перекрыты не менее, чем 25-см слоем утрамбованного грунта или подходящим другим материалом. Засыпку их следует производить быстро, а для отходов, содержащих крокидолит, не-

медленно. «Всюдность» асбеста настолько велика, что в 1991 г. он был обнаружен даже в отходах, сброшенных на свалку на одной из американских полярных станций в Антарктиде [68].

Безусловно, что асбестовые волокна присутствуют в сточных водах городов и других населенных пунктов, а также промышленных предприятий, причем не только связанных с производством асбестосодержащих изделий.

В настоящее время основную и возможно наибольшую опасность с экологических и гигиенических позиций представляют вторичные источники поступления асбеста в окружающую среду. Длительное время применение асбеста и асбестосодержащих материалов практически не регулировалось. Масштабы их применения были огромны. Например, в США за период 1900-1980 гг. в тех или иных целях использовано 30 млн. т асбеста [212]. По оценке Агентства по охране окружающей среды, асбест использовался при постройке примерно 733 тыс. общественных, коммерческих и жилых зданий. В ФРГ в 1950-1987 гг. было переработано 4,4 млн. т асбеста [171]. Асбест уже во время 1-й мировой войны в качестве фильтров в противогазах. К настоящему времени во всем мире в системах водоснабжения использовано более 2,5 млн. км асбестоцементных труб [10a].

Исследования, проведенные главным образом в странах Зап.Европы и в США, указывают на возможность загрязнения атмосферного воздуха и питьевых вод за счет эрозии асбестоцементных материалов, покрытий, конструкций и т.п., тем более, как отмечает К.Оллиер [59], скорость выветривания строительных материалов в последние годы заметно возросла из-за влияния различных техногенных факторов или техногенно спровоцированных явлений.

В частности, установлено, что при выветривании 1 м² кровельных асбестоцементных плит в воздух поступает около 3 г волокон асбеста [116]. В ФРГ, например, это дает до 500-900 т асбеста в год, рассеиваемого в окружающей среде. Особенно активно асбестоцемент разрушается при воздействии воздуха, загрязненного различными веществами, прежде всего соединениями серы. Очень способствует разрушению и кислая среда.

Имеются оценки, согласно которым ежегодно в атмосферу в результате выветривания асбестоцементных покрытий попадают тысячи тонн асбестовых волокон [179]. Это, в частности, послужило основанием для выполнения дорогостоящих программ (миллиарды долларов) во многих странах Европы, в США и Канаде по законодательному запрещению производства и применения асбеста, по замене его другими материалами, по санированию большого количества зданий, построенных из материалов, содержащих асбест [154].

С точки зрения решения вопроса о необходимости санации зданий от асбеста все материалы, содержащие его, предлагают разделить на две группы [115]: 1) материалы, в которых асбест прочно связан с другими компонентами, т.е. легко может переходить в пыль; сюда же относится и асбест, нанесенный на поверхность различных материалов методом разбрызгивания; 2) материалы, которые используются в качестве кровли зданий, облицовки фасадов и т.п., в которых асбест крепко связан с цементом. Здания, содержащие материалы 1-й группы, подлежат срочной санации, а изделия, содержащие асбест подлежат удалению. При наличии изделий 2-й группы санации не требуется, но при ремонте зданий асбестосодержащие материалы должны быть вымыты, покрыты краской или другими материалами.

По данным Агентства по охране окружающей среды США, в стране упомянутые выше здания содержат 1,2 биллиона кв. футов асбестовых покрытий [161]. Примерно 35% публичных школ страны имеют асбестовые материалы, воздействию которых подвергаются около 15 млн. детей [218]. Уже в 1986 г. был принят закон об удалении асбеста из 35 тыс. американских школ. В г.Нью-Йорке 75% зданий содержат асбестовые материалы, общая площадь которых составляет около 29 млн. м² [181]. При этом 16% всех строительных элементов, содержащих асбест, отнесены к категории, характеризуемой как «плохое состояние». Кроме того, из 68% зданий, имеющих в теплоизоляционной системе асбестовые материалы, лишь в 13% качество последних было оценено как «хорошее». В Швейцарии материалы с асбестом использовались с 1936 г. по 1975 г. при строительстве более 4000

зданий [154]. При строительстве Дворца Республики в Берлине 172 м² несущих стальных поверхностей было покрыто путем разбрызгивания 720 т асбеста [222]. Поскольку здание представляет собой потенциальный источник загрязнения внутренней и внешней среды асбестовым волокном, то предусматривается его санация, что потребует минимум 400 млн. марок.

Практически каждая стройка представляет собой существенный, особенно в старых районах городов, источник асбестовой пыли. Это обусловлено как использованием асбестосодержащих материалов, так и разрушением старых зданий, а также заменой различных материалов, содержащих асбест. Например, известны данные, показывающие, что при ремонте изоляционных и т.п. материалов волокна асбеста, поступаая в воздух, могут создавать концентрации, превышающие ПДК [194].

В некоторых странах асбест использовался и используется для укрепления покрытий автодорог и взлетно-посадочных полос путем добавления его в асфальт [133]. Сведения об опасности асбеста, содержащегося в таких покрытиях, противоречивы. Видимо, как отмечалось ранее, более существенным источником асбестовой пыли являются различные фрикционные материалы, присутствующие в тормозных механизмах и в механизмах сцепления транспортных средств, при работе и ремонте которых она выбрасывается в атмосферу [183].

Известны случаи аварийного загрязнения среды асбестом. Так, в 1989 г. в Нью-Йоркском метро произошел взрыв паровой трубы, в результате которого асбестовыми частицами была заражена не только часть туннеля, но и семиэтажное здание. Стоимость работ по ликвидации последствий этой аварии составила 3 млн. долларов [1].

Р.К.Бхандари и К.Д.Дхариял [10а] приводят данные американских исследователей, показывающие, что в США в 1974 г. только при техническом применении в окружающую среду было высвобождено 2093 т асбеста, что составило всего лишь 0,004% всего попадающего в среду обитания асбеста, т.е. общая поставка асбестовой пыли составляла 52325000 т.

Как уже отмечалось, Россия занимает первое место по добыче и производству товарного асбеста. В отечественной асбестовой промышленности функционирует несколько крупных предприятий, производственные мощности некоторых из них достигают 2,8 млн. т/год [10а]. Ведущее место в производстве асбеста, в том числе текстильных групп (около 80%), принадлежит Уральскому асбестовому горно-обогатительному комбинату (Баженовское месторождение, г. Асбест); в г. Ак-Довурак (Тува) расположен комбинат «Туваасбест»; в г. Ясный (Оренбургская обл.) - Киембаевский асбестовый горно-обогатительный комбинат. Отечественная асбестоцементная промышленность представлена 34 предприятиями с 250 технологическими линиями по изготовлению листовых изделий, 50 линиями по производству труб и муфт, с несколькими линиями по производству экструзивных изделий [10а]. Ведущие заводы асбестоцементных изделий находятся в гг. Белгород, Вольск, Воскресенск, Фокино (Брянская обл.), Сухой Лог (Свердловская обл.), Коркино (Челябинская обл.), Новоульяновск, Спасск-Дальний, Михайловка (Волгоградская обл.), Новороссийск, Ростов-на-Дону, Чамзинка (Мордовия) и др. Крупные заводы асбестотехнических, асботермических и асбестотекстильных изделий расположены в гг. Асбест, Москва, Ярославль, Егорьевск и Железнодорожный (оба - Московская обл.), Волжский, Тамбов, Черногорск (Хакасия) и др.

По данным И.Г. Романенкова [10а], в настоящее время в России в эксплуатации находится около 35 млрд. м³ асбесто-содержащих изделий, главным образом строительного назначения. При таком массовом распространении, как справедливо отмечает автор цитируемой работы, практически каждый человек в повседневной жизни подвергается воздействию асбеста.

Таким образом, существует значительное количество источников загрязнения окружающей среды асбестовыми волокнами. Учитывая масштабы рудопроявления, добычи, производства и использования асбеста, можно обоснованно считать, что проблема асбеста в окружающей среде актуальна для многих стран мира, в том числе и особенно для России.

5.3. Асбестовые биоминеральные провинции

В конце 1970-х гг. было установлено, что волокнистые частицы асбеста могут приводить к эндемическому проявлению различных заболеваний у населения, проживающего в районах с повышенным природным уровнем асбеста в объектах окружающей среды, прежде всего, в горных породах, почвах и водах.

Так, совместные исследования турецких и английских ученых позволили обнаружить факт непрофессионального заболевания мезотелиомой среди населения Анатолии. Возникновение ее было обусловлено повышенным содержанием волокнистых минералов в горных породах [72]. Эпидемиологические исследования, выполненные в некоторых южных районах Болгарии, где в почвах содержатся повышенные количества асбестовых минералов, показали, что в 71 поселке (около 66 тыс. жителей) у населения было обнаружено наличие плевральных бляшек, частота встречаемости которых колебалась от 2 до 208 на 1000 жителей. У жителей с такими бляшками жизненная емкость легких была несколько ниже, чем у не имевших их. Рентгеновское обследование более 38 тыс. человек в возрасте старше 20 лет не обнаружило наличия мезотелиомы, в том числе у 1034 человек с плевральными бляшками. Это, по-видимому, указывает на различие причин, вызывающих появление плевральных бляшек или мезотелиомы. Тем не менее у жителей этих районов была установлена повышенная заболеваемость раком легких. Кроме того, у некоторых больных антофиллитовый асбестоз комбинировался с плевральными бляшками, а заболеваемость раком легких была в 2,3 раза выше, чем среди тех, у кого такие бляшки были не обнаружены. Однако связи между возникновением последних и опухолей установлено не было [111].

Диффузная двусторонняя кальцификация плевры развита среди населения некоторых районов Финляндии, Чехии, Словакии, Турции, Болгарии и Греции [127]. В частности, в 1969 г. среди жителей четырех близко расположенных селений Греции (Мецово, Анилио и др.) была выявлена высокая распространенность кальцификации плевры (у 45,% проживающего здесь насе-

ления). Частота развития заболевания не зависела от пола, увеличивалась с возрастом и, при явно выраженной степени, сопровождалась умеренной легочной недостаточностью. Этиологическим фактором этого синдрома, названного «легкое Мецовой», являются минеральные волокна, присутствующие в горных породах и почвах.

Таким образом, приведенные примеры свидетельствуют о вероятности возникновения заболеваний (асбестоза, рака легких, мезотелиомы, гиалиноза плевры), эндемичных по своему проявлению и связанных с естественным высоким уровнем волокнистых минералов в окружающей среде. Это позволяет высказать предположение о существовании своеобразных асбестовых биоминеральных провинций (по аналогии с биогеохимическими провинциями), т.е. территорий с повышенным природным уровнем волокнистых минералов в объектах среды (горные породы и почвы), отличающихся развитием у населения специфических «асбестовых» заболеваний. Необходимы серьезные и детальные исследования по выявлению таких районов и оценке их экологической значимости. По-видимому, первым этапом могли бы быть исследования с указанных позиций районов распространения месторождений и проявлений асбеста.

*Только змей в игре извивов,
Золотисто-изумрудный,
Изменяет цвет отливов,
Многоликий, многочудный...*

Константин Бальмонт

*О, зададим вопрос
Рассеянному в мире
Человечеству:
Ты жило ли хоть миг,
Прожив тысячелетия?*

А. Чижевский

6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ АСБЕСТОМ

Волокнистые минеральные частицы естественного происхождения в той или иной мере постоянно присутствуют в окружающей среде. Считается даже, что полное прекращение добычи, переработки и применения асбеста приведет к незначительному снижению содержания его волокон в среде обитания. По некоторым оценкам, на протяжении среднего срока жизни человек вдыхает из окружающей среды около 23 млрд. асбестовых волокон, при этом в организме содержится около 100 волокон асбеста из расчета на 1 г легочной ткани [10а].

Наличие многочисленных источников асбеста способствует существенному локальному и региональному повышению уровней его содержания, прежде всего, в атмосферном воздухе и в водах, а также к увеличению нагрузки асбестовой пылью на человека. Это, в первую очередь, характерно для районов его добычи и переработки, а также для территорий городов и городских агломераций.

6.1. Асбест в атмосфере

В настоящее время асбест, безусловно, стал типичным компонентом атмосферы многих техногенно измененных районов. Учитывая масштабы его добычи, переработки, производства и множество потенциальных источников поставки в окружающую среду, можно считать асбестовые волокна глобальным поллютантом атмосферы.

В крупных городских агломерациях имеются зоны с чрезвычайно высокими уровнями содержания асбестовой пыли в атмосферном воздухе. В первую очередь к таким зонам относятся территории промышленных предприятий по производству асбеста и асбестосодержащих материалов и изделий. Наиболее высокие концентрации волокнистой пыли фиксировались в большинстве изученных случаев до середины 1960-х гг., т.е. тогда, когда очистке производственных выбросов, содержащих асбест, не уделялось должного внимания. Так, например, уровни асбеста в воздухе одного из предприятий по изготовлению теплоизолирующих материалов достигали 2000 вл/мл [205]. Считается, что это наиболее высокие содержания асбестовых волокон, с которыми приходилось контактировать человеку в производственных условиях в период с 1920 по 1950 гг. На асбестовой фабрике в польском городе Лодзь уровень асбестовой пыли составлял 9 мг/м^3 [220], а на одном из асбестоцементных заводов в Швеции - 10 мг/м^3 , что послужило поводом для закрытия его [195].

Высокая степень загрязнения воздуха наблюдается в местах разгрузки вагонов с асбестом [10a]. Так, непосредственно в вагоне концентрации асбестосодержащей пыли достигает $47,2\text{-}104,3 \text{ мг/м}^3$, вне вагона $28\text{-}61,2 \text{ мг/м}^3$, в местах растаривания и дозировки асбеста $17\text{-}117,4 \text{ мг/м}^3$, т.е. в десятки раз выше предельно допустимых содержаний.

Исследования, выполненные в Северной Америке, показали, что концентрации асбестовой пыли в воздухе предприятий по производству асбеста колебались в пределах $10\text{-}15 \text{ мкг/м}^3$; вблизи заводов - $0,1\text{-}10$; в жилой части городов - $0,001\text{-}0,1$; в сельских районах - $0,001\text{-}0,002 \text{ мкг/м}^3$ [185]. Существует мнение,

что типичные уровни асбеста в атмосферном воздухе различных районов США находятся в пределах $0,01-0,001$ $\text{мкг}/\text{м}^3$, причем в городах они редко превышают $0,03$ $\text{мкг}/\text{м}^3$ [72], достигая в крупных промышленных городах $0,07$ $\text{мкг}/\text{м}^3$. По другим данным, концентрация асбестовых волокон в условно чистых районах составляет 100 $\text{вл}/\text{м}^3$, тогда как в городах она увеличивается до 1500 $\text{вл}/\text{м}^3$ [156]. Таким образом, уровни содержания асбеста в воздухе городов могут в десятки раз превышать региональный фон. Масштабы загрязнения атмосферы таковы, что даже в воздухе небольших городов, расположенных в высокогорных районах Альп, содержания асбеста достигает нескольких сотен волокон в 1 м^3 воздуха [197]. Например, в швейцарском городе Монтре в период 1981-1983 гг. уровни асбеста находились в пределах $89-102$ $\text{вл}/\text{л}$, при этом наблюдалось закономерное снижение содержания в направлении пригород-сельская местность-горные районы Альп [177]. В 1985 г. в 58 районах Японии были выполнены исследования распределения асбестовых волокон в приземном слое атмосферного воздуха, которые показали практически повсеместное их распространение. Минимальная средняя концентрация ($0,9$ $\text{вл}/\text{л}$) наблюдалась на отдаленных небольших островах, а максимальная ($5,35$ $\text{вл}/\text{л}$) - в окрестностях предприятий по производству асбестовых изделий [Санге когай, 1987, 23, N 4].

Как упоминалось ранее, серьезным источником загрязнения воздуха асбестом является транспорт, поскольку при работе тормозов и механизмов сцепления в атмосферу выбрасывается асбестовая пыль. Так, выполненные в одном из городов Рурской области ФРГ специальные исследования показали, что в центре города в пределах оживленного транспортного перекрестка среднегодовая концентрация асбестовых волокон превышала 8000 $\text{вл}/\text{м}^3$, тогда как в жилом районе на окраине города она достигала лишь 2700 $\text{вл}/\text{м}^3$ [183].

Различные термоизоляционные и строительные асбесто-содержащие материалы могут обуславливать чрезвычайно интенсивное загрязнение внутренней среды общественных и жилых помещений. Например, в помещениях общественных школ Колорадо содержание асбестовых волокон колебалось от $0,001$ до

0,379 вл/см³ [122]. Считается, что уже при содержаниях их на уровне 0,001 вл/см³ необходимо проводить санацию зданий [191]. Очень часто уровни асбестовой пыли, фиксируемые внутри зданий, могут превышать концентрации ее во внешней среде. Так, содержание асбестовой пыли в воздухе 48 городов США составляло в среднем 6,8 нг/м³, тогда как в школах оно доходило до 72,7 нг/м³ [132]. Максимальные уровни асбеста внутри городских зданий достигали 5000 нг/м³. Влияние таких факторов, как температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, вибрация пола и стен помещений на содержание асбеста носит в основном случайный характер [177].

Для асбестовой пыли, присутствующей в воздухе, характерно неоднородное распределение в течение коротких интервалов времени (периодов наблюдения). Например, в г. Асбестос (Канада) концентрации волокон в воздухе в течение 3-месячного периода наблюдения изменялись от 12 до 269 нг/м³. В расположенном к западу городе Дэнвилле за тот же период они колебались в пределах 2-161, а в находящемся к востоку г. Уотенвилле изменялись от 2 до 129 нг/м³ [215]. Пространственно-временные особенности распределения пыли асбеста во многом определялись скоростью и направлением ветра, обуславливающих ее различное поступление от основных мест добычи и переработки, расположенных вблизи г. Асбестос.

Для распределения асбестовых волокон в городской атмосфере характерна также определенная вертикальная структура, которая может определяться не только спецификой ветрового поля и характером турбулентности. В частности, в Западном Берлине (1985 г.) максимальные концентрации - до 1000 вл/м³ - фиксировались вблизи крыш и фасадов зданий, покрытых асбестосодержащими материалами [115].

Дальнейшая судьба поступившего в воздух асбеста практически не изучена, как и не известна продолжительность пребывания его волокон в атмосфере. Отсутствуют данные о их возможном накоплении в почвах. Можно предположить, что поведение асбестовых волокон во внешней среде определяется двумя группами факторов: 1) природой и видом частиц, т.е. пре-

жде всего их физико-химическими свойствами и геометрическими характеристиками; 2) атмосферными условиями, т.е. характером ветрового поля, турбулентной диффузии и т.п. Известно, например, что асбестовые волокна хорошо адсорбируют воду, водяной пар, другие газы и жидкости, в том числе присутствующие в атмосфере углеводороды, что еще более усиливает эколого-гигиеническую опасность этих поллютантов. Сорбционные свойства асбеста могут заметно возрасти во влажной атмосфере из-за его набухания. Известно также, что, например, в корках выветривания прочность асбестовых волокон снижается из-за действия гумусовых кислот и углекислоты, присутствующей в атмосферных и поверхностных водах; происходит выщелачивание ряда компонентов, входящих в состав асбеста.

По имеющимся данным, длина присутствующих в воздухе волокон варьирует от 0,1 мкм до нескольких десятков мкм. Считается, что наиболее распространенными являются волокна длиной более 1 мкм и менее 5 мкм. Например, в центральных районах промышленных городов доля волокон длиной более 5 мкм составляет около 11-12% общего количества частиц; на окраине города она не превышает 9% [183].

Эпидемиологические исследования, выполненные в США, показали, что у людей, проживающих в районе добычи и переработки хризотил-асбеста, не фиксировалось выраженных фиброгенных и канцерогенных эффектов, обусловленных «техногенной» асбестовой пылью. В то же время, волокна крокидолита и амозита способствовали существенному увеличению частоты появления асбестоза и мезотелиомы не только у рабочих соответствующих специальностей, но и у окрестных жителей [211]. Дети, проживающие вблизи асбестовых рудников, заболели в зрелые годы мезотелиомой, что, вероятно, являлось следствием вдыхания пыли, прежде всего во время игры в песке около рудных отвалов [149]. Специальные исследования песка, используемого для посыпки игровых площадок в некоторых городах и поселках, показали, что в нем присутствует тремолит-асбест (до 2-4%). Это, в частности, указывает на необходимость введения нормативов на содержания асбеста в таких материалах.

Активная разработка залежей крокидолит-асбеста в районе г. Уиттенум (Зап. Австралия) способствовала увеличению смертности, обусловленной асбестозом, среди жителей города [192]. Считается, что непрофессиональные «асбестовые» онкологические заболевания среди населения очень редки [137]. Предполагается, в частности, что при концентрации асбеста в воздухе в 100 вл/м^3 риск возникновения мезотелиомы составляет примерно 2 случая на 100000 жителей. Однако, определение риска смертности от рака легких, например, при низких концентрациях асбеста в воздухе, что типично для многих городов, сталкивается с большими трудностями. Так, невозможно реально оценить присутствие в воздухе волокон диаметром менее $0,1 \text{ мкм}$, поскольку для обнаружения их требуются очень совершенные аналитические методы, которые, к сожалению, доступны не всегда. По мнению Дж.Макдональда [30], влияние техногенного асбеста на здоровье людей может быть выявлено эпидемиологическими исследованиями развития мезотелиомы и рака легких у населения, проживающего в районах крокидолитовых рудников и фабрик. Имеются данные, показывающие, что риск смерти от рака легких при концентрации асбеста $0,001 \text{ вл/мл}$ составляет 0,6 случаев на 1 млн жителей, а от мезотелиомы - 4,4 случая. При содержании асбеста $0,03 \text{ вл/мл}$ воздуха риск возрастает в 3 раза [132]. Существует также точка зрения, что при имеющихся во многих странах значениях ПДК асбеста в воздухе, возможность заболевания человека мезотелиомой в течение жизни продолжительностью 73 года составляет 9 человек на 1 млн жителей [107].

Специальные исследования, выполненные в Канаде, которые основывались на материалах судебных вскрытий трупов людей, умерших не от болезней, а в результате несчастных случаев или насильственных действий, показали следующее [120]. Было исследовано 120 погибших и выявлено, что для всех возрастных групп характерно присутствие асбестовых волокон в легких. Это подтверждает факт глобального загрязнения воздуха, по крайней мере в Канаде, асбестом. Характерно, что волокна более часто отмечались у мальчиков в возрасте от 6 до 10 лет, однако наибольшие концентрации были обнаружены у взрослых.

Авторы цитируемой работы отмечают, что асбестовые волокна аккумулируются в легких всю жизнь; их количество зависит от индивидуальных особенностей и возраста обследуемых, а также от качества окружающей среды и, добавим, от пола человека. Патологоанатомические исследования легочной ткани на протяжении ряда лет свидетельствуют о постепенном увеличении количества содержащихся в ней асбестовых частиц. Например, по данным для Англии в 1975-1976 гг. они присутствовали в организме примерно 25% всех обследованных людей, тогда как еще в 1936 г. их наличие практически не отмечалось [30].

По последним данным заболеваемость мезотелиомой среди мужчин США составляет 7-13 случаев на 1 млн жителей; среди женщин - 1-2 случая; в Великобритании эти показатели соответственно равны 17,5 и 3,3 [150]. Предполагается, что в Великобритании около 10-20% случаев мезотелиомы не связано с воздействием асбеста. Результаты эпидемиологических исследований свидетельствуют, что в общем случае хризотил-асбест имеет более низкий потенциал для индуцирования мезотелиомы, нежели асбесты амфиболовой группы.

Исследования в американском штате Нью-Джерси показали, что за период 1979-1986 гг. средний уровень заболеваемости асбестозом увеличился на 20% для белых, на 17% для черных мужчин и на 8% для белых женщин. У белых мужчин отмечается наибольший, связанный с возрастом, средний ежегодный уровень заболеваемости - 19,3 случая на 100000 жителей, у черных мужчин - 12,3, у белых женщин - 1,2 случая. Наибольшие уровни заболеваемости были отмечены в районах размещения промышленных предприятий, применяющих асбест [157]. По данным чешских исследователей [94], гиалиноз плевры был выявлен у 5,7% людей, проживающих в зоне влияния крупного завода по переработке асбеста. В районе Дрездена, где расположены многочисленные предприятия по переработке асбеста, более 50000 человек прошли специальные медицинские обследования [170]. Было установлено, что у 113 человек развита плевральная мезотелиома, причем наибольшее число больных было характерно

для женщин. Минимальный период воздействия асбеста составлял 3 месяца, а минимальный латентный период - 15 лет.

Как отмечалось выше, особую опасность представляет загрязнение асбестом воздуха общественных и жилых зданий. Тем не менее, до настоящего времени нет исследований, которые надежно подтвердили бы существование связи между асбестом, использованным в строительных материалах, и возникновением онкологических заболеваний у проживающих в таких домах. Считается даже, что использование асбеста для отделки внутренних помещений не представляет серьезной опасности для здоровья людей [10a]. Тем не менее, несомненно, что при определенных условиях в таких помещениях могут создаваться условия, представляющие определенную и даже реальную угрозу для здоровья людей. Особую тревогу вызывает присутствие асбесто-содержащих материалов в общественных школах. В общем случае врачи выделяют несколько факторов, способствующих воздействию асбеста на школьников [186]: высокую подвижность их, увеличенную частоту дыхания, продолжительность нахождения вблизи от пола, где особенно накапливаются асбестовые волокна, а также поведение и привычки детей, в частности связанные с поиском изношенных конструкций в зданиях (выше приводились данные о более высоком содержании в легких мальчиков волокон асбеста, что во многом может быть связано именно с поведенческими особенностями последних). Мнение исследователей по оценке риска влияния асбеста на школьников различно, как и противоречивы имеющиеся данные. Так, в некоторых исследованиях показано, что асбест в школьных зданиях не представляет основной угрозы для здоровья. По другим данным, смертность школьников от рака за 6 лет обучения (5 случаев на 1 млн) не превышает количества смертельных исходов в высших школах от футбола (10 случаев) и велосипедного травматизма (14 случаев). Существует предположение, что 1000 возможных смертельных исходов за последующие 30 лет будут результатом воздействия асбеста именно в школах. Недавние исследования в США показали, что среднее содержание асбеста в воздухе 71 школы составляет 0,00024 вл/мл (при ПДК для помещений 2 вл/мл) - [147].

Риск заболеть от воздействия асбеста оценивается в 1 случай на 100000 человек, что намного ниже, чем риск, связанный, например, с курением, диагностическим обследованием рентгеном, с присутствующим в помещениях радоном. Вместе с тем следует помнить, что опасность воздействия асбеста резко возрастает при ремонтных работах, в случае наличия поврежденных материалов и т.п. Поэтому все присутствующие в зданиях асбестосодержащие материалы представляют постоянную потенциальную угрозу для здоровья людей. Как отмечают О.П.Таиров и др. [82], рассматривать факторы окружающей среды в связи с влиянием их на здоровье населения необходимо с учетом двух аспектов - качественного и количественного. Под качественным аспектом, по мнению авторов, понимается ярко выраженное неблагоприятное действие тех факторов среды, которое в реальных условиях практически всегда вызывает заболевание. Количественная сторона воздействия таких факторов на организм имеет менее выраженное значение, хотя и для них имеются уровни воздействия, не вызывающие заболеваний. В то же время, известны факторы окружающей среды, неблагоприятное воздействие которых в несравнимо большей степени, чем предыдущие факторы, будет зависеть от дозы (количества) воздействия на организм и его продолжительности. В качестве примера авторы приводят пылевое загрязнение воздуха. В производственных условиях значительное загрязнение воздуха соответствующей пылью приводит к развитию у рабочих силикоза, тогда как в условиях городской среды загрязнение пылью только в редчайших случаях приводит к возникновению начальной формы силикоза. В то же время, оно может значительно ухудшить течение других заболеваний легких и повысить чувствительность организма к их развитию. Возможно, что в случае с асбестовым загрязнением мы имеем аналогичную картину. К тому же, следует помнить, что в отношении канцерогенности асбеста каких-либо надежно обоснованных нижних пределов его содержания в воздухе не имеется и потенциально даже «фоновые» уровни асбестовых волокон в атмосферном воздухе могут приводить к возникновению у населения неоплазий, в первую очередь мезотелиомы и рака легких.

Какие-либо данные о влиянии асбестовых волокон на домашних и диких животных, а также на растения в природных условиях практически отсутствуют. В то же время, в экспериментах при ингаляционном поглощении асбеста подопытными животными у последних фиксировались определенные дозозависимые заболевания, обусловленные воздействием асбестовой пыли. Несомненно, что и в условиях окружающей среды у животных могут развиваться различные патологические отклонения и явления. Возможно также, что описываемые в литературе случаи (см., например, [75]) негативного воздействия выбросов асбестоцементных заводов на природную растительность в определенной степени связаны и с влиянием асбестовой пыли.

Безусловно, необходима организация специализированных медико-биологических и гигиенических исследований по оценке влияния асбестовой пыли на человека и другие живые организмы как в условиях воздействия явных ее промышленных источников, так и в «нормальных» городских условиях. При этом подобные исследования должны предваряться работами по установлению закономерностей поступления и поведения асбестовых волокон в атмосферном воздухе и сопредельных средах.

6.2. Асбест в природных водах

Миграционные особенности и поведение асбестовых волокон в водных системах изучены слабо. Обобщение разрозненных и единичных сведений позволяет отметить следующее. Установлена частичная растворимость присутствующих в природных водах частиц асбеста, что приводит к модификации их поверхностных свойств и изменению биологического действия, а также к выщелачиванию ряда химических элементов, содержащихся в асбестах [189;217]. Хризотил-асбест обладает более высокой растворимостью в водных растворах, чем другие асбестовые минералы.

Мягкая вода способна выщелачивать из асбеста оксиды кальция и некоторые другие соединения [7]. В то же время боль-

шая удельная поверхность асбестовых волокон предопределяет их высокую адсорбционную активность. Особенно хорошо на волокнах асбеста сорбируются гидрооксиды щелочных и щелочноземельных металлов, а также некоторые макрокомпоненты. Как правило, адсорбционная способность асбеста к катионам в 2-3 раза больше, чем к анионам. При длительном нахождении в воде хризотил-асбест, например, набухает (тем больше, чем меньше длина волокон), при этом адсорбционная способность его заметно возрастает. При набухании наблюдается явление гистерезиса. Асбест способен поглощать до 8% воды; коэффициенты набухания колеблется в пределах 1,08-1,63 [77;78]. Набухание, видимо, интенсифицирует ионный обмен. В водной среде асбестовые волокна способны присоединять и удерживать на поверхности частицы цемента, молотого песка, извести и т.п. Волокна асбеста достаточно легко образуют с водой суспензию и активно проявляют коллоидные свойства [7;34;39;78;93;96]. В кислых растворах частицы хризотил-асбеста приобретают положительный заряд, в щелочных - отрицательный заряд.

Типичные концентрации асбеста в поверхностных водах колеблются в пределах от менее 1 млн вл/л до 10 млн вл/л. Например, содержания его в водах р. Оттава достигали 9,5 млн вл/л [72]. В некоторых водоемах США они изменялись от 10000 до 100 млн вл/л [74]. Как отмечалось выше, содержания, превышающие значения в 1 млн вл/л, явно указывают на техногенное загрязнение водных систем.

Высокими уровнями асбеста отличаются воды рек и озер асбестовых провинций, что, например, было установлено для реки Биканкур, дренирующей районы асбестовых разработок близ города Квебек в Канаде [138]. В нефилтрованной воде некоторых озер Канады содержания асбестовых волокон достигали 173,6 млн вл/л [111]. Предполагается, что важнейшими источниками их поступления в водные объекты являются эрозия горных пород и поверхностный сток, загрязненный атмосферными выпадениями. Это, в частности, подтверждается высокими (до 33,5 млн вл/л) концентрациями асбестовых частиц в талой воде из верхнего 2-3-недельного слоя снега.

В водах рек и озер Германии, Канады, США уровни асбеста варьируют в пределах 100-1000 млн вл/л [106]. В воде озера Мичиган, по данным за 1974-1975 гг., концентрации его находились в интервале 0,5-4,5 млн вл/л, причем 80% составляли волокна хризотил-асбеста [158]. Основным источником поступления асбестовых частиц в озеро являлись атмосферные осадки. Например, в дождевой воде в районе г. Чикаго содержалось от 0,2 млн до 20 млн вл/л асбеста, что свидетельствует об интенсивном загрязнении атмосферы минеральными волокнами. Определенный вклад вносят эрозия берегов, поверхностный и речной сток, а также сточные воды некоторых промышленных предприятий, непосредственно поступающие в озеро. Кроме того, значительное количество асбестовых частиц поступает в водную толщу озера при дноуглубительных работах. К сожалению, концентрирование, распределение и поведение асбестовых волокон в донных отложениях реки и озер практически не изучено.

Специальные эксперименты свидетельствуют о негативном воздействии асбестовых частиц на гидробионтов. Так, волокна асбеста приводили к заметной задержке роста молодежи двухстворчатого моллюска *Corbicula fluminea* (корбикула восточная)-[106]. При концентрациях в 1000 млн вл/л наблюдалась гибель особей. Волокна асбеста активно накапливались в различных органах моллюсков, причем во внутренних органах примерно в 10 раз интенсивнее, нежели в жаберных тканях. При 30-дневной экспозиции фиксировалось накопление волокон во внутренних органах до уровней в 150 вл/мг веса, в жабрах - до 11 вл/мг веса. Характерно, что в жаберных тканях аккумулировались преимущественно мелкие волокна; во внутренних органах - крупные волокна. Ультраструктура жаберной ткани моллюсков характеризовалась увеличением поверхности филаментов. Можно предположить, что это в какой-то степени связано с большим, как отмечалось выше, набуханием мелких волокон асбеста и, соответственно, заметным увеличением их адсорбционной способности. Возможно, что с этим механизмом и связаны изменения в жабрах, что в итоге сказывалось на развитии моллюсков.

Таким образом, асбестовые волокна представляют непосредственную угрозу для гидробионтов, по-видимому, прежде всего для организмов-фильтраторов. Известно, что многие моллюски способны отфильтровывать частицы размером от 1,5 до 40 мкм, но лучше всего в 7-8 мкм, полностью извлекая их из воды [27].

Видимо, несмотря на разрозненность имеющихся данных, можно достаточно обоснованно предположить, что асбестовые частицы в настоящее время являются типичными поллютантами природных вод, прежде всего в промышленно-урбанизированных и горнопромышленных районах. Возможно также, что асбест является глобальным загрязняющим поверхностные водные объекты веществом.

6.3. Асбест в питьевых водах

Асбест поступает в системы водоснабжения при использовании загрязненных водоисточников, при эрозии и разрушении асбестоцементных водопроводных труб, а также в случае подпитки водопроводных сетей сточными и поверхностными водами. Как правило, при соответствующей водоподготовке, например при использовании обычных песочных фильтров, удаляется до 90% волокон асбеста [72]. Наиболее эффективным методом удаления асбестовых волокон считается химическая коагуляция солями железа и полиэлектролитами с последующей фильтрацией.

По имеющимся данным, типичное «фоновое» содержание асбестовых волокон (длиной более 5 мкм) в питьевой воде не превышает 10 тыс. вл/л [207]. Именно эту величину, как указывалось выше, рекомендуют в Германии в качестве норматива для питьевых вод.

Особую опасность представляет использование поверхностных вод для питьевого водоснабжения в районах добычи асбестовых руд или в районах распространения горных пород, содержащих асбестовые минералы. Так, например, в некоторых

населенных пунктах, расположенных в районе известных канадских месторождений асбеста, уровни содержания его в питьевых водах достигали 2000 млн. вл/л [72]. Повышенные концентрации асбеста постоянно фиксировались в питьевых водах некоторых районов Калифорнии, где развиты асбестосодержащие горные породы [227]. При этом в зависимости от места расположения водоисточников уровни хризотил-асбеста в водах изменялись от неразличимых содержаний до 36 млн. вл/л [72].

Асбестоцементные и различные асбестосодержащие теплообменники используются в системах водоснабжения (питьевой, горячей, технической воды) многих стран уже более 50 лет. Это обуславливает поступление асбестовых частиц в воду. Например, в ФРГ из асбестоцементных труб изготовлено 25000 км водопроводов [204]. Концентрация асбестовых волокон в питьевой воде ряда населенных пунктов превышает 1 млн. вл/л. В Израиле из 740 проверенных водопроводных систем 4 отнесено к опасным из-за асбестоцементных труб [117]. В Канаде около 5% населения страны потребляет воду с содержанием асбеста более 10 млн. вл/л, около 0,6% - с концентрациями более 100 млн. вл/л [72]. Основной причиной присутствия высоких количеств асбестовых частиц в питьевой воде являлась эрозия асбестоцементных труб. Аналогичные данные имеются по многим городам США. Например, в г. Дулута (шт. Миннесота) в системах коммунального водоснабжения постоянно обнаруживались концентрации асбеста до 100 млн. вл/л [72]. В г. Пенсакола, шт. Флорида, фиксировались уровни асбеста до 38 млн. вл/л; повышенные содержания асбеста в питьевых водах отмечены в районе Пьюджет-Саунд, шт. Вашингтон.

Асбест может также поступать в системы горячего водоснабжения, особенно при контакте труб и теплообменников с водой, содержащей дубильную и гуминовые кислоты и обладающей значениями рН около 6,5 [134]. Имеются указания на то, что при пользовании душем, при стирке белья и мойке различного оборудования под давлением, а также в результате пыления высушенного после стирки белья асбестовые волокна попадают в воздух. Однако специальные исследования показали, что даже при

содержании асбеста в воде на уровне 20-30 млн. вл/л интенсивность загрязнения воздуха асбестовой пылью невелика [207]. Тем не менее, по-видимому, определенный риск может возникать в замкнутых помещениях и для лиц соответствующих специальностей.

Однозначного мнения о биологической роли и гигиенической значимости асбеста, содержащегося в питьевой воде, не существует. Довольно значительное количество исследований свидетельствует об отсутствии каких-либо связей между асбестом в воде и возникновением онкологических заболеваний желудочно-кишечного тракта. Например, такие данные обобщены индийскими исследователями [10a], утверждающими, что поглощение асбеста в концентрациях, характерных для обычной воды, не связано ни с какими признаками повышения заболеваемости. В то же время имеются данные, указывающие на существование такой связи, что особенно проявляется при повышенных концентрациях волокон в воде. В частности, согласно последним представлениям, гипотеза о том, что проглоченные волокна асбеста вызывают рак, не может быть в настоящее время исключена полностью.

Исследования, проведенные в 22 муниципалитетах Квебека, не выявили избыточной смертности от рака, обусловленного присутствием асбестовых волокон в питьевой воде. Изученные районы включали Тетфордские рудники и г. Асбестос, где уже почти в течение столетия осуществляется добыча и переработка асбестовых руд. Аналогичный вывод был сделан американскими исследователями в г. Дулуте, а также в г. Пенсаколе и по району Пьюджет-Саунд [72]. Некоторыми авторами даже делается вывод о физиологической безвредности асбеста, содержащегося в питьевой воде. При этом считается, что риск развития рака желудочно-кишечного тракта в связи с присутствием асбеста в воде так незначителен, что перекрывается такими факторами, как курение, алкоголь и др. [174].

Тем не менее еще в конце 1970-х гг. были получены данные, свидетельствующие о связи между уровнем содержания асбеста в питьевой воде и раком желудочно-кишечного тракта [72].

Так, изучение частоты случаев рака, выполненное на основе анализа 721 документа о переписи населения 5 округов Калифорнийского залива, где в водопроводной воде содержался асбест, показало, что пропорциональная доля рака желудка у мужчин, отнесенная на счет воздействия асбеста, составляла 10%. Эти выводы основывались на сопоставлении показателей частоты случаев рака в районах с низким содержанием асбеста в питьевой воде и в районах с высоким его содержанием, при этом учитывались социально-экономические факторы. Статистически достоверная связь между уровнем хризотил-асбеста в водоисточниках и раком пищеварительного тракта, пищевода, желудка, поджелудочной железы у белых мужчин и женщин была также установлена в окрестностях залива Сан-Франциско [126]. В современной литературе существует мнение, что в связи с широким использованием асбестоцементных водопроводных труб увеличилась значимость гастроинтерстициального рака у населения.

Таким образом, имеющиеся данные не дают однозначного ответа на вопрос о канцерогенности поступающего в организм человека с водой асбеста. Тем не менее, вероятность его вредного воздействия достаточно велика. Именно поэтому необходимы дальнейшие более углубленные исследования в этом направлении, а также изучение особенностей распределения и поведения асбеста в водоисточниках и питьевых водах.

6.4. Асбест в пищевых и коммерческих продуктах

Загрязнение твердых пищевых продуктов асбестом изучено чрезвычайно слабо, что во многом связано с отсутствием надежного аналитического метода. Считается, что в продуктах, содержащих частицы почвы, пыль или грязь, почти наверняка присутствуют асбестовые волокна [4;72]. Безусловно, что данное предположение наиболее реально для тех случаев, когда имеются либо природные, либо антропогенные источники волокнистой пыли.

Фильтрующие асбестосодержащие материалы до сих пор все еще достаточно широко применяются в пищевой, фармацевтической и химической промышленности, что может приводить к загрязнению асбестом конечной продукции. В частности, такие материалы используются для осветления различных жидкостей и напитков. Например, в некоторых сортах английского пива концентрации асбестовых волокон достигали 0,151 млн. вл/л, в пиве канадского производства они варьировали в пределах 4,3-6, млн. вл/л; в безалкогольных напитках изменялись от 1,7 до 12,2 млн. вл/л [72]. Имеются сведения о содержании асбестовых волокон в вине [82]. В пищевые продукты асбест может привноситься также с загрязненной водой, используемой при их изготовлении. В США и Канаде концентрация асбеста в безалкогольных напитках, пиве и других пищевых продуктах составляет 1,7-12,2 млн. волокон (длиной менее 1 мкм) в 1 л, что сравнимо с его содержанием в водопроводной и речной воде. В других странах, например во Франции, эта величина колеблется в пределах 2-60 млн. волокон (длиной 0,9-3,9 мкм) в 1 л [10a].

При производстве некоторых продуктов и изделий применяется тальк, например, в качестве наполняющего порошка в жевательной резинке, в рисовых палочках, а также как агент, уменьшающий липкость готовых пищевых изделий. Кроме того, тальк используется в косметике (пудра) и медицине (адсорбирующая присыпка). Результаты анализа различных проб ввозимого в свое время, например, в Чехо-Словакию талька показали, что в большинстве случаев в нем содержался актинолит-асбест и тремолит-асбест [94], т.е. минералы, сопутствующие тальку в его месторождениях. По некоторым данным, тальк, используемый в косметике и фармацевтике, содержал до 30% волокнистых частиц (от общего числа примесей). При этом примерно до 90% волокнистой фракции составлял асбест (хризотил, тремолит, антофиллит). Около 75% наблюдавшихся волокон асбеста обладали длиной меньше 0,4 мкм [199]. В России тальк, содержащий асбест, как упоминалось ранее, включен в список канцерогенных веществ.

Причиной присутствия асбестовых волокон в пищевых продуктах сельскохозяйственного происхождения могут быть различные минеральные силикаты, используемые в качестве носителей в пестицидных спреях. Нельзя также исключать и вероятность случайного попадания асбеста в пищевые продукты при их производстве, упаковке, хранении и транспортировке.

Считается, что «рядовые» концентрации асбестового волокна в пищевых продуктах и напитках вряд ли оказывают вредное воздействие на здоровье человека при их попадании в организм. Хотя для окончательного решения данного вопроса необходимы дополнительные исследования.

По сообщению Министерства здравоохранения Германии, асбестовые волокна были обнаружены даже в некоторых видах лекарств, используемых для инъекций [104]. Комиссия США по безопасности потребительских товаров широкого ассортимента (от игрушек и косметических средств до автомобилей) неоднократно обнаруживала асбест в указанных товарах, в том числе в виде случайных примесей [146]. Асбест присутствует в ряде коммерческих товаров, используемых в бытовых целях (воздуховоды, пожаробезопасные прокладки и подставки, кухонных печах, холодильниках, сушильных аппаратах и т.п., во многих электронных и электротехнических изделиях).

Степень опасности асбестосодержащих потребительских изделий и материалов во многом зависит от матрицы, в которую заключено асбестовое волокно, а также от частоты пользования изделием. Особую опасность представляют электропечи и электрокамины, имеющие в своей конструкции этот материал. Например, исследования помещений, для отопления которых использовались подобные приборы, показали наличие в воздухе волокон асбеста [165]. Установлено, что в процессе длительной эксплуатации печей выделение асбестовой пыли может увеличиваться. Подобные бытовые воздействия асбеста могут являться даже причиной развития у людей мезотелиомы плевры. Так, в итальянских городах Специя и Леворно в период 1958-1988 гг. установлено 6 случаев мезотелиомы, возникновение которых было связано с воздействием асбеста, поступающего в жилую среду

из таких изделий [138]. Именно поэтому во многих странах изделия, содержащие асбест, в обязательном порядке маркируются специальными знаками.

6.5. Специфический источник загрязнения жилых помещений асбестом

Несомненной опасности воздействия асбеста подвергаются члены семей рабочих, контактирующих в производственных условиях с асбестом. В литературе имеются указания на активный перенос рабочими волокон асбеста на одежде, обуви, волосах, что приводит к загрязнению жилых помещений и к своеобразной домашней экспозиции проживающих в них людей. Такие факты, кстати, установлены для многих поллютантов, в том числе, например, для высокотоксичной ртути [99]. Не является исключением и асбест.

Так, у 5 членов семьи изолировщика, проработавшего с асбестом в течение 24 лет и имеющего диагноз «асбестоз легких», были выявлены вызванные асбестовым волокном специфические признаки патологии, хотя все они - за исключением одного - не подвергались профессиональному воздействию асбеста [163]. Воздух в доме, где проживала семья, постоянно загрязнялся волокнами асбеста, заносимых главой семьи на одежде и волосах. У жены был выявлен типичный интерстициальный фиброз, обнаружены плевральные бляшки и асбестовые тельца в легких; у детей - плевральные бляшки, утолщение плевры, плеврит. Растяжимость легких у всех членов семьи была снижена, а давление в легких - повышено. Итальянские авторы описали несколько случаев мезотелиомы, которые были индуцированы воздействием асбеста в домашних условиях, попадающего на одежду профессиональных рабочих [74]. В частности, отмечено 13 случаев плевральной мезотелиомы у женщин, которые стирали дома рабочую одежду родственников. Анализ 124 случаев мезотелиомы, диагностированных в 1970-1988 гг. в Тоскании, показал, что 4

случая могут быть связаны с подобной домашней экспозицией к асбесту [123].

Исследования, выполненные в Пуэрто-Рико и посвященные оценки воздействия частиц асбеста на организм взрослых людей в домашней обстановке, привели авторов к выводу о необходимости замены асбестосодержащих материалов и строгого контроля за возможным поступлением асбестовой пыли в жилые помещения [121]. Э.Экхольм (1980) в своей известной книге описывает случай заболевания сорокапятилетней женщины, юриста по профессии, мезотелиомой. Выяснилось, что ее отец в течение 20 лет проработал на асбестовом предприятии, «приносящий» на одежде и волосах волокна асбеста в жилое помещение; его дочь часто стирала рабочую одежду.

В некоторых странах данной проблеме уделяется самое пристальное внимание. Например, в шт. Миннесота (США) была проведена нотификация на 4500 работающих с асбестом, что привело к необходимости медицинского осмотра не только рабочих, но и их жен [108]. В 1988-1991 гг. в США выполнено медицинское обследование 2136 членов семей строителей, имеющих или имевших контакт с асбестом. Разработаны специальные программы, в которых особое внимание уделяется обследованию членов семей профессиональных рабочих, контактирующих в производственных условиях с асбестом и асбестосодержащими материалами [223]. Безусловно, что подобные программы и исследования являются крайне актуальными для России.

Заключение

Волокнистые минеральные частицы естественного происхождения в той или иной мере постоянно присутствуют в окружающей среде. По имеющимся оценкам, на протяжении среднего срока жизни человек вдыхает из воздуха около 23 млрд. асбестовых волокон, при этом в организме содержится до 100 волокон асбеста из расчета на 1 г легочной ткани. Наличие многочисленных антропогенных источников этого минерала способствует существенному локальному и региональному повышению уровней содержания волокнистой пыли, прежде всего, в атмосферном воздухе и в водах, что существенно увеличивает «асбестовую» нагрузку на человека.

Обобщение материалов по источникам поступления, особенностям распределения и биологическим эффектам асбеста в среде обитания показывает, что последний является одним из наиболее распространенных и опасных поллютантов. В настоящее время асбест, безусловно, стал типичным компонентом атмосферы и природных вод многих техногенно измененных районов. Более того, можно считать асбестовые волокна глобальным поллютантом окружающей среды.

Экспериментальные и эпидемиологические данные свидетельствуют о вероятности фиброгенного, мутагенного и канцерогенного воздействия асбестовых волокон в условиях биосферы. Многочисленными исследованиями достаточно убедительно установлено, что у лиц, контактирующих с асбестом, возможно развитие асбестоза, гиалиноза плевры, рака легких, мезотелиомы, неоплазий других органов. Негативные эффекты асбеста фиксируются не только при профессиональном воздействии, но и в условиях окружающей среды. Значимость и механизмы общетоксического, фиброгенного, мутагенного и канцерогенного воздействия асбеста окончательно не выяснены. Решение этого вопроса во многом зависит от углубленных исследований клеточных и молекулярных основ «асбестовых» заболеваний.

Главным фактором агрессивности волокнистой пыли в воздухе является ее концентрация. Важнейшими параметрами

запыленности воздушной среды служат также дисперсность пыли, ее физико-химические и геометрические свойства. При этом с токсикологической точки зрения принципиальными характеристиками являются диаметр, длина и форма волокон. Наибольшее промышленное значение имеет хризотил-асбест; из асбестов амфиболовой группы в практическом аспекте более широко используются крокидолит и амозит, в меньшей степени антофиллит. Именно с белым (хризотил), а также в определенной степени с синим (крокидолит) и коричневым (амозит) асбестами и связываются основные современные эколого-гигиенические проблемы.

В общем случае следует различать природные и антропогенные источники поступления асбестовых волокон в окружающую среду. К первым относятся горные породы, содержащие асбестовые минералы, которые под воздействием экзогенных процессов могут высвобождаться во внешнюю среду. Среди антропогенных источников выделяются следующие основные группы: 1) источники, связанные с добычей и переработкой асбестовых руд и асбестосодержащих пород; 2) источники, связанные с производством асбестосодержащих материалов, изделий и т.п., а также материалов и изделий, содержащих асбест в виде нежелательных примесей; 3) вторичные источники, в роли которых выступают различные асбестосодержащие материалы, изделия, конструкции. Наиболее значимыми с точки зрения локального загрязнения среды обитания являются, по-видимому, антропогенные источники. В то же время в отдельных районах существенную роль могут играть природные источники волокнистой пыли, что позволяет выделить так называемые природные биоминеральные (асбестовые) провинции, в пределах которых фиксируется эндемичное проявление различных заболеваний (фиброгенных и онкологических) у населения, обусловленных воздействием асбеста. Видимо, в глобальном масштабе природная поставка асбеста заметно превышает его поступление от антропогенных источников.

Значимость природных источников особенно велика в районах развития асбестосодержащих пород, к которым в первую очередь относятся асбестоносные площади (провинции, области,

зоны, поля). В мире зарегистрировано, по-видимому, несколько тысяч месторождений и проявлений асбеста, которые известны в подавляющем числе стран мира.

Среди антропогенных источников особое место принадлежит первичным, т.е. связанным с добычей и производством асбеста и соответствующих асбестосодержащих изделий, материалов и т.п. За всю историю мировой асбестовой промышленности было добыто, по-видимому, несколько десятков миллионов тонн асбестового волокна. Ориентировочные расчеты показывают, что в мире при добыче и переработке асбестовых руд ежегодно теряется не менее 500-700 тыс. т асбестового волокна.

В настоящее время на основе асбеста или с его использованием вырабатывается до 3500 наименований различных изделий, применяемых в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве, в быту, которые являются вторичными источниками загрязнения среды обитания асбестовым волокном. Среди последних ведущее значение принадлежит асбестоцементным изделиям, на изготовление которых расходуется до 65-85% всего производимого в разных странах мира асбеста. По имеющимся оценкам только при производстве различных изделий из асбеста ежегодно выбрасывается в атмосферу не менее 160-180 тыс. т волокна. Общая глобальная поставка асбестовой пыли в окружающую среду некоторыми исследователями оценивается более чем в 50 млн. т в год.

Городские агломерации отличаются наличием множества, прежде всего вторичных, источников асбеста. Установлено, что при выветривании 1 м² кровельных асбестоцементных плит в воздух поступает около 3 г волокон асбеста. В ФРГ, например, это дает до 900 т асбеста в год, рассеиваемого в окружающей среде. Особенно активно асбестовые изделия разрушаются в условиях техногенного загрязнения атмосферы (при наличии соединений серы, агрессивной среды и т.п., т.е. типичных для промышленных районов факторов).

Загрязнение среды обитания асбестовой пылью является актуальной проблемой для многих стран мира, но особенно для России, поскольку ни одна страна не может сравниться с ней по

количеству и мощности потенциальных источников поставки асбестовых волокон в окружающую среду.

Российские месторождения и проявления асбеста, которых известно несколько сотен, представлены различными генетическими и минералогическими типами, но наибольшее промышленное значение имеют месторождения хризотил-асбеста. В пределах России и других стран СНГ выделяется несколько крупнейших асбестоносных провинций. Россия по-прежнему занимает первое место в мире по добыче, производству и использованию асбеста. В отечественной асбестовой промышленности функционирует несколько крупных предприятий, в асбестоцементной и асбестотехнической промышленности - несколько десятков предприятий. По некоторым оценкам, в России в эксплуатации находится около 35 млрд. м² асбестосодержащих изделий, главным образом строительного назначения. При массовом распространении таких материалов и наличии природных источников практически каждый человек в повседневной жизни подвергается воздействию асбеста.

Загрязнение окружающей среды асбестовой пылью является одной из актуальных эколого-гигиенических проблем для нашей страны. Это определяет необходимость:

- 1) широкого развертывания работ по выявлению источников поступления асбеста в окружающую среду, изучению особенностей и установлению закономерностей его распределения в различных компонентах среды и оценке эколого-гигиенических последствий, включая работы по изучению литоэкологичности [33] асбестовых минералов; асбест должен быть в центре внимания экологической минералогии - активно формирующейся в последние годы очень перспективной научной дисциплины [18];

- 2) разработки и осуществления на федеральном, региональном и локальном уровнях специальных программ по снижению негативного воздействия асбеста на население;

- 3) совершенствования нормативно-законодательной базы в области производства и использования асбеста и асбестосодержащих изделий и материалов («Закон об асбесте и асбестосодержащих материалах»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдохин В.П. Загрязнение асбестом // Гражданская оборона, 1990, N 5, с. 16.
2. Алексеев С.В., Усенко В.Р. Гигиена труда.- М.: Медицина, 1988.- 576 с.
3. Андреев Ю.К., Амфиболовые асбесты, их минералогия и промышленное использование //Геохимия, минералогия, петрография, 1962 г.- М.: ВИНТИ, 1964, с. 65-91.
4. Асбест и другие природные минеральные волокна: Пер. с англ.- Женева-Москва: ВОЗ-Медицина, 1991.- 174 с.
5. Аянов В.М. Петрографические и структурные особенности проявления северокавказского амфибол-асбеста на примере Хацавитского месторождения // Изв. АН СССР, сер. геол., 1962, N 5, с. 41-51.
6. Бережкова Г.В. Нитевидные кристаллы.- М.: Наука, 1969.- 158 с.
7. Берней И.И., Колбасов В.М. Технология асбестоцементных изделий.- М.: Стройиздат, 1985.- 400 с.
8. Биохимия человека: В 2-х томах. Т. 2: Пер. с англ.- М.: Мир, 1993.- 415 с.
- 8а. Бримблкомб П. Состав и химия атмосферы: Пер. с англ.- М.: Мир, 1988.- 352 с.
9. Брэгг В.Л. Структура силикатов // Основные идеи геохимии. Вып. 3: Пер. с англ.- Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1937, с.47-131.
10. Брэгг У.Л., Кларингбулл Г.Ф. Кристаллическая структура минералов: Пер. с англ.- М.: Мир, 1967.- 389 с.
- 10а. Бхандари Р.К., Дхариял К.Д., Романенков И.Г. Экологическая опасность асбеста.- М.: Стройиздат, 1993. - 96 с.
11. Бюллетень МРПТХВ, т. 7, N 3, с. 1-55.
12. Вальберг А.Ю. Пыль и жизнь // Химия и жизнь, 1989, N 4, с. 71-76.
13. Ванчурова Н.Н., Медведский Е.А., Фраш М.В. и др. Изучение патогенного влияния техногенного загрязнения окружающей среды асбестом и другими промышленными минеральными пылями с помощью экспериментальных моделей // Очерки по экологической диагностике.- Свердловск, 1991, с. 10-16.
14. Величковский Б.Т. Фиброгенные пыли. Особенности строения и механизма биологического действия.- Горький, 1980.- 159 с.

15. Величковский Б.Т. Патогенез профессиональных заболеваний легких пылевой этиологии // Медицина труда и промышленная экология, 1994, N 5-6, с. 1-8.
16. Вернадский В.И., Курбатов С.М. Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги.- Л.-М.: ОНТИ-НКТН, 1937.- 378 с.
17. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV группы: Справ. изд.- Л.:Химия, 1988.- 512 с.
18. Гавриленко В.В. Некоторые актуальные проблемы экологической минералогии и геохимии // Зап. ВМО, 1994, N 3, с. 1-8.
19. Геологический словарь, т. 1.- М.: Госгеолтехиздат, 1955.- 402 с.
20. Горная энциклопедия, т. 5.- М.: Советская энциклопедия, 1991, с. 268-269.
21. Григорьева Л.Ф., Макарова Т.А., Корицова Э.Н. и др. Синтетические амфиболовые асбесты.- Л.: Наука, 1975.
22. Движков П.П. Пневмокониозы. - М., 1965.
23. Дир У.А., Ходи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 2: Пер. с англ.- М.: Мир, 1965.- 406 с.
24. Дир У.А., Ходи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 3: Пер. с англ.- М.: Мир, 1966.- 317 с.
25. Елфимов А.И. Работа с асбестом должна быть безопасной // Строительные материалы, 1991, N 4, с. 7-8.
26. Еремеев В.П., Меренков Б.Я., Петров В.П. и др. Хризотил-асбестовые месторождения как одна из форм контактового воздействия гранитоидов на ультраосновные породы // Тр. ИГЕМ АН СССР, 1959, вып. 31, с. 19-35.
27. Жизнь животных, т. 2. Беспозвоночные.- М.: Просвещение, 1968.- 563 с.
28. Закономерности размещения полезных ископаемых, вып. VI.- М.: Изд-во АН СССР, 1962.- 688 с.
29. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ. изд.: Пер. с англ., т. 1.- М.: Металлургия, 1988.- 760 с.
30. Здоровье и окружающая среда: Пер. с англ.- М.: Мир, 1979.- 232 с.
31. Зимон А.Д. Мир частиц: Коллоидная химия для всех.- М.: Наука, 1988.- 192 с.
32. Золоев К.К. Месторождения хризотил-асбеста в гипербазитах складчатых областей.- М.: Недра, 1975.- 192 с.

- 32а. Золоев К.К., Полянин В.С., Аксенов Е.М. и др. Прогнозная оценка территории СССР на хризотил- и антофиллит-асбест.- М.: ВИЭМС, 1983.- 38 с.
33. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. Кн. 1: s-элементы.- М.: Недра, 1994.- 304 с.
34. Иванов И.Б., Платиканов Д.Н. Коллоиды: Пер. с болг.- Л.: Химия, 1975.- 152 с.
- 34а. Калинин Д.В., Денискина Н.Д., Лохова Г.Г. Амфиболовые асбесты, их синтез и генезис в природе.-Новосибирск: Наука, 1975.-95 с.
35. Кашанский С.В., Коган Ф.М., Малышева Л.Г. и др. Сравнительная оценка фиброгенности и токсичности асбестосодержащих теплоизоляционных материалов // Медицина труда и промышленная экология, 1994, N 1, с. 17-21.
36. Ковнацкий М.А. Силикатозы.- Л., 1957.- 200 с.
37. Коган Ф.М. Асбестосодержащие пыли и меры предупреждения их вредного влияния на здоровье работающих.- Свердловск, 1975.- 223 с.
38. Коган Ф.М. Канцерогенное действие металлов // Металлы. Гигиенические аспекты оценки и оздоровления окружающей среды. - М., 1983, с. 42-50.
39. Кокотов Ю.А. Иониты и ионный обмен.- Л.: Химия, 1980.- 152 с.
40. Костов И. Минералогия: Пер. с англ.- М.: Мир, 1971.- 584 с.
41. Красовский Г.Н., Можаяев Е.А. Асбест в питьевой воде// Гигиена и санитария, 1993, N 6, с. 20-22.
42. Кужварт М. Неметаллические полезные ископаемые: Пер. с англ.- М.: Мир, 1986.- 472 с.
43. Курс месторождений твердых полезных ископаемых.- Л.: Недра, 1975.- 631 с.
44. Курс минералогии.- Л.-М.: ОНТИ-НКТН, 1936.- 1051 с.
45. Курс рудных месторождений.-М.: Недра, 1986.- 360 с.
46. Либау Ф. Структурная химия силикатов: Пер. с англ.- М.: Мир, 1988.- 412 с.
47. Литвин А.Л. Кальциевые амфиболы.- Киев: Наукова думка, 1973.- 152 с.
48. Малеев М.Н. Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов.- М.: Наука, 1971.- 198 с.
49. Мельников М.П. Асбест и его разновидности в историческом, минералогическом, техническом и промышленном отношении // Горный журнал, 1986, т.2, N 4, с. 86-150, N 5, с.305-333, N 6, с. 413-473.

50. Меренков Б.Я. Генезис хризотил-асбеста.- М.: Изд-во АН СССР, 1958.- 138 с.
51. Меренков Б.Я., Толстихина К.И., Шумихина И.В. Дегитрация хризотил-асбеста и серпофита // Тр. ИГЕМ АН СССР, 1959, вып. 31, с. 54-67.
52. Месторождения хризотил-асбеста СССР.- М.: Недра, 1967.- 512 с.
53. Миловский А.В. Минералогия и петрография.- М.: Недра, 1985.- 432 с.
54. Минералогическая энциклопедия: Пер. с англ.- Л.: Недра, 1985.- 512 с.
- 54а. Минеральные ресурсы мира (на начало 1994 г.).- М.: ВНИИзарубежгеология, 1995.- 575 с.
55. Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир. Том 1: Пер. с англ.- М.: Мир, 1993.- 424 с.
56. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов: Пер. с англ.- М.: Мир, 1993.- 368 с.
57. Неметаллические полезные ископаемые СССР. Справочное пособие.- М.: Недра, 1984.- 407 с.
58. Неметаллические полезные ископаемые гипербазитов.- М.: Наука, 1973.- 261 с.
59. Оллиер К. Выветривание: Пер. с англ.-М.:Недра,1987.-348 с.
60. О совершенствовании экспертизы профессионального рака // Медицина труда и промышленная экология, 1994, N 4, с. 42-46.
61. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в СССР: Статистический сборник.- М.: Финансы и статистика, 1989.- 174 с.
62. Перегуд Е.А., Горелик Д.О. Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы.- Л.: Химия, 1981.- 384 с.
63. Петров В.П., Андреев Ю.К. Минералогия асбеста и место амфибол-асбестов СССР в общей их классификации // Тр. ИГЕМ АН СССР, 1959, вып. 31, с. 5-18.
64. Петрянов-Соколов И.В., Сутургин А.Г. Аэрозоли.- М.: Наука, 1989.- 144 с.
65. Пирогенный синтез силикатов: Справочник.- М.: Недра, 1992.- 224 с.
66. Поваренных А.С. Кристаллическая классификация минеральных видов.- Киев: Наукова думка, 1966.- 547 с.
67. Поллер З. Химия на пути в 3-е тысячелетие: Пер. с нем.- М.: Мир, 1982. - 401 с.

68. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. Вып. 12.- М.: ВИНТИ, 1991, с. 93-94.
69. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых.- М.: Недра, 1985.- 286 с.
70. Робинсон Н.А. Правовое регулирование природопользования и охраны окружающей среды в США: Пер. с англ.- М.: Прогресс, 1990.- 524 с.
71. Романович И.Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых.- М.: Недра, 1986.- 366 с.
72. Руководство по контролю качества питьевой воды. Том 2: Гигиенические критерии и другая релевантная информация.- Москва-Женева: Медицина-ВОЗ, 1987.- 325 с.
73. Рыскин М.В. Асбест в мировой экономике.- М.: Международные отношения, 1969.- 256 с.
- 73а. Рябева Е.Г., Хрулева Т.А. Современные световые микроскопы и оптические устройства для исследования минерального сырья.- М.: ВИЭМС, 1989.- 40 с.
74. Сидоренко Г.И., Можаяев Е.А. Санитарное состояние окружающей среды и здоровье населения.- М.: Медицина, 1987.- 128 с.
75. Смит У.Х. Лес и атмосфера. Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха: Пер. с англ.- М.: Прогресс, 1985.- 429 с.
76. Смольянинов Н.А. Практическое руководство по минералогии.- М.: Госгеолтехиздат, 1955.- 432 с.
77. Соболев Н.Д. Введение в асбестоведение. - М.: Недра, 1971.- 280 с.
78. Соболева М.В. Минералогия волокнистых минералов группы амфиболов и серпантина М.: Недра, 1972.- 252 с.
79. Состояние природной среды в СССР в 1988 году: Междугосударственный доклад.- М.: Лесная промышленность, 1990.- 176 с.
80. Справочник по профессиональной патологии Л.: Медицина, 1981.- 376 с.
81. Сыромятников Ф.В. Термический анализ хризотил-асбеста // Бюлл. МОИП, отд. геол., нов. сер., т. XII(1), 1934.
82. Таиров О.П., Литвинов Н.Н., Козлова И.Н. Влияние антропогенных изменений окружающей среды на здоровье населения.- М.: ВИНТИ, 1986.- 156 с.
83. Терминологический словарь по загрязнению атмосферного воздуха: Пер. с англ. - Копенгаген: ВОЗ, 1982.- 156 с.

84. Толстихина К.И. О люминесценции хризотил-асбеста // Труды Института геол. наук, петрограф. сер. (N 47), 1955, вып. 165, с. 93-98.
85. Убаков С.А., Ванчурова Н.Н., Гребенников С.А. и др. Модификация мутагенного действия асбеста при сочетании с этанолом, кофе и курительной смолой // Медицина труда и промышленная экология, 1994, N 2, с. 8-10.
86. Уотсон Дж. Геология и человек: Пер. с англ.- Л.: Недра, 1986.- 184 с.
87. Утилизация твердых отходов: Пер. с англ. - М.: Стройиздат, 1985, т. 1 - 336 с.; т. 2 - 348 с.
88. Федосеев А.Д., Григорьева Л.Ф., Макарова Т.А. Волокнистые силикаты. Природные и синтетические асбесты.- М.-Л.: Наука, 1966.- 184 с.
89. Ферсман А.Е. Минералогические заметки. III. О нематолитах и их русских месторождениях // Изв. Академии Наук, 1911, сер. 6, т. V, N 7, с. 539-556.
90. Ферсман А.Е. Исследования в области магнезиальных силикатов. Группа целирита, перматтита и палыгорскита // Зап. Академии наук по физ.-мат. отделению, т. 32, N 2.- СПб., 1913.- 430 с.
91. Ферсман А.Е. Избранные труды. Том 1.- М.: Изд-во АН СССР, 1952.- 865 с.
92. Хефлинг Г. Тревога в 2000 году: Бомбы замедленного действия на нашей планете: Пер. с нем.- М.: Мысль, 1990.- 270 с.
93. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре.- М.: Изд-во АН СССР, 1955.- 671 с.
94. Шимечек Я., Штохл В. Волокнистая пыль в воздухе производственных помещений: Пер. с чеш.- М.: Стройиздат, 1990.- 494 с.
95. Штрюбель Г., Циммер З.Х. Минералогический словарь: Пер. с нем.- М.: Недра, 1987.- 494 с.
96. Щедринский М.Б., Волегов А.В., Мюллер Э.К. Обогащение асбестовых руд.- М.: Госгортехиздат, 1962.- 150 с.
97. Эйхлер В. Яды в нашей пище: Пер. с нем.- М.: Мир, 1993.- 189 с.
98. Энциклопедия неорганических материалов. Том 1.- Киев: Гл. редакция Украинской Советской энциклопедии, 1977, с. 103-109.
99. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города.- М.: ИМГРЭ, 1992.- 169 с.
100. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий.- М.: Геоинформмарк, 1993.- 50 с.

101. Abraham J.L. Asbestos inhalation, not asbestosis, causes lung cancer // *Amer. J. Ind. Med.*, 1994, 21, N 6, p. 839-842.
102. Amandus H.E., Althouse R., Morgan W.K.C. et al. The morbidity and mortality of vermiculite miners and millers exposed to tremolite-actinolite. Pt. III: Radiographic findings // *Amer. J. Ind. Med.*, 1987, 11, N 1, p. 27-37.
103. Anderson I. White asbestos also causes cancer // *New Sci.*, 1991, 129, N 1759, p. 12.
104. Asbest in Arzneimitteln ? Das BGA informiert // *Gynakol. Prax.*, 1993, 17, N 2, p. 376.
105. Begin R. et al. Early lung events following low-dose asbestos exposure // *Environ. Res.*, 1981, 26, p. 391-401.
106. Belanger S., Cherry D.S., Cairns J. Seasonal, behavioral and growth changes of juvenile *Corbicula fluminea* exposed to chrysotile asbestos // *Water Res.*, 1986, 20, N 10, p. 1243-1250.
107. Bell J. Indecision is the biggest risk // *New Sci.*, 1984, 103, N 1421, p. 16-18.
108. Bender A.P., Williams A.N., Parker D.L. Experiences of state-sponsored notification and screening program for asbestos workers // *Amer. J. Ind. Med.*, 1993, 23, N 1, p. 161-169.
109. Berry G., Newhouse M.L., Antonis P. Combined effect of asbestos and smoking on mortality from lung cancer and mesothelioma in factory workers // *Brit. J. Ind. Med.*, 1985, 42, N 1, p. 12-18.
110. Berufsgenossenschaften: Kehlkopfkrebs durch Asbest kann entschädigt werden // *Staub-Reinhalt. Luft.*, 1994, 54, N 7-8, s. 282.
111. Birilkov T. Zur Kausalität von Pleura-Plaques und asbestinduzierten Tumoren // *Wiss. und Umwelt.*, 1985, N 2, s. 146-148.
112. Birilkov T. Asbest im Trinkwasser // *Wiss. und Umwelt.*, 1990, N 2, s. 81-84.
113. Bitterman P., Rennard S., Schoenberger C., Crystal R.G. Asbestos stimulates alveolar macrophages to release a factor causing human lung fibroblasts to replicate // *Chest*, 1981, 80, p. 38-39.
114. Bonneau L., Malard C., Pezerat H. Studies on surface properties of asbestos. II // *Environ. Res.*, 1986, 41, N 1, p. 268-275.
115. Bornemann P. Zur Frage der Asbestsanierung im Bauwesen // *Entsorg. prax.*, 1992, N 12, s. 850-853.
116. Brandtner K.-L. Sanierung von Asbestzementdächern // *Entsorg. prax.*, 1991, N 12, s. 770-771.
117. Brenner S., Anavi Z. Review of the Israeli technical committee for asbestos // *Amer. J. Ind. Med.*, 1986, 10, N 5-6, p. 527-532.

118. Browne K. Is asbestos or asbestosis the cause of the increased risk of lung cancer in asbestos workers ? // *Brit. J. Ind. Med.*, 1986, 43, N 3, s. 145-149.
119. Bruckman L., Rubino R.A. Monitored asbestos concentrations in Connecticut // *J. Air Pollut. Contr. Assoc.*, 1978, 28, N 12, p. 1221-1226.
120. Case B.W., Sebastien P., McDonald J. Lung fiber analysis: a biological assessment of general environmental exposures // *Arch. Environ. Health.*, 1988, 43, N 2, s. 178-179.
121. Castleman B.J., Vera M.J.V. The selling of asbestos // *Ecologist*, 1981, 11, N 3, 108-114, s. 116-117.
122. Chadwick D.A., Buchan R.M., Beanliev H.J. Airborne Asbestos in Colorado Public Schools // *Environ. es.*, 1985, 36, N 1, p. 1-13.
123. Chellini E., Fornaciai G., Merler E. Pleural malignant mesothelioma in Tuscany, Italy (1970-1988) // *Amer. J. Ind. Med.*, 1992, 21, N 4, p. 577-585.
124. Chlan P. Asbestentsorgung // *Porr-Nachr.* 1991, N 110, p. 21-24.
125. Cirkel F. Chrysotile-asbestos, its occurrence exploitation, milling, and uses. 2-ed.- Ottawa, 1910.- 316 p.
126. Conforti P.M., Kanarek M.S., Jackson L.A. et al. Asbestos in drinking water and cancer in the San Francisco bay area, 1969-1974 incidence // *J. Chron. Diseases*, 1981, 34, N 5, p. 211-224.
127. Constantopoulos S.H., Goudevenos J.A., Saratzis N. et al. Metsovo lung: pleural calcification and restrictive lung function in northwestern Greece. Environmental exposure to mineral fiber as etiology // *Environ. Res.*, 1985, 38, N 2, p. 319-331.
128. Contreras G.R., Rousseau R., Chan-Yeung M. Occupational respiratory diseases in British Columbia, Canada, in 1991 // *Occup. and Environ. Med.*, 1994, 51, N 10, p. 710-712.
129. Cookson W.O.C., Musk A.W., Glancy J.J. et al. Compensation, radiographic changes, and survival in applicants for asbestosis compensation / // *Brit. J. Ind. Med.*, 1985, 42, N 7, p. 461-468.
130. Copes R., Thomas D., Becklake M.R. Temporal patterns of exposure and nonmalignant pulmonary abnormality in Quebec chrysotile workers // *Arch. Environ. Health*, 1985, 40, N 3, p. 80-87.
131. Corhay J.-L., Delavignette J.-P. et al. Occult exposure to asbestos in steel workers revealed by bronchoalveolar lavage // *Arch. Environ. Health.*, 1990, 45, N 5, p. 278-282.
132. Corn M. Asbestos and disease: an industrial hygienist's perspective // *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1986, 47, N 9, p. 515-523.

133. Cossette M., Delvaux P., Van Ha T. et al. Physiological innocuity of asbestos in water // *Northeast. Environ. Sci.*, 1986, 5, N 1-2, p. 54-62.
134. Cossette M., Tran V.H. Asbestos in asphalt // *Cim. bull.*, 1991,84, N 949, p. 40-43.
135. Desaulniers G., Lecomte R., Pan A. et al. On the use of the PIXE method to determine river water pollution in asbestos mining areas // *Int. J. Appl. Radiat. and Isotop.*, 1979, 30, N 4, p. 261-262.
136. Dixon J.R., Lowe D.B., Richards D.E. et al. The role of trace metals in chemical carcinogenesis: Asbestos cancers // *Cancer Res.*, 1970, 30, p. 1068-1074.
137. Dobbertin S. et al. Belastung der Bevölkerung durch Asbest // *Dtsch. Arztebl.*, 1991, 88, N 27, s. 1595-1600.
138. Dodoli D., Dei Nevo M., Flumalbi C. et al. Environmental household exposures to asbestos and occurrence of pleural mesothelioma // *Amtr. J. Ind. Med.*, 1992, 21, N 5, p. 681-687.
139. Doll N.J., Stankus R.P., Barkman N.W. Immunopathogenesis of asbestosis, silicosis and coal workers' pneumoniosis // *Clin. Chest Med.*, 1983, 4, p. 3-14.
140. Dongay G., Levade M., Lauque D. et al. Tomodensitometrie de la pathologie pleuro-pulmonaire de l'amiante // *Rev. malad. respir.*, 1985, 2, N 1, p. 31-36.
141. Dosseng M., Langer S.W. Asbestos-induced lung injury among Danish jewelers // *Amer. J. Ind. Med.*, 1994, 28, N 6, p. 755-758.
142. Eberhardt M.K., Roman-Franco A.A., Quiles M.R. Asbestos-induced decomposition of hydrogen peroxide // *Environ. Res.*, 1985, 37, N 2, p. 287-292.
143. EEC: Directive on asbestos protection // *Eur. Ind. Relat. Rev.*, 1991, N 212, p. 30-31.
144. Farkowski M., Gorski P. Macrophage activity in related diseases // *Pol. J. Occup. Med. and Environ. Health*, 1991, 4, N 2, p. 115-125.
145. Fisher G.L., Mossman B.T., McFarl A.R. Hart R.W. A possible mechanism of chrysotile asbestos toxicity // *Drug. and Chem. Toxicol.*, 1987, 10, N 1-2, p. 109-131.
146. Franklin B.H. Public health control of environmental asbestos disease: consumer products // *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1979, 330, p. 497-501.
- 146a. Friedrichs K.H., Dykgers A., Otto H. Materialstabilität von Asbestfasern im Lungengewebe Fallbericht // *Arbeitsmed., Soziamed., Umweltmed.*, 1995, 30, N 1, p. 18-20.

147. Gaensler E.A. Asbestexposition in Gebäuden // Atemwegs- und Langenkrankh., 1994, 20, Suppl. nl., p. S98-S110.
148. Gerde P., Medinsky M.A., Bond J.A. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons - A reappraisal of their possible role in pulmonary carcinogenesis // Toxicol. and Appl. Pharmacol., 1991, 108, N 1, p. 1-13.
149. Germaine M. Asbestos in play sand // N. Engl. J. Med., 1986, 315, N 4, p. 981.
150. Gibbs A.R. Role of asbestos and other fibers in the development of diffuse malignant mesothelioma // Thorax., 1990, 45, N 9, p. 649-654.
151. Gofte T.R.P. Tobacco and asbestos litigation // Lancet, 1986, N 8510, p. 811-812.
152. Goldsmith J.R. Comparative epidemiology of man exposed to asbestos and man-made mineral fibers // Amer. J. Ind. Med., 1986, 10, N 5-6, p. 543-552.
153. Greenberg M. Thoughts inspired by reading the correspondence // Amer. J. Ind. Med., 1994, 26, N 6, p. 843-844.
154. Guillemain M.P., Madelaine P., Litzistorf G. et al. Asbestos buildings // Aerosol Sci. and Technol., 1989, 11, N 3, p. 221-243.
155. Haque A.K., Mancuso M.G., Williams M.G. et al. Asbestos in organs and placenta of five stillborn infants suggests transplacental transfer // Environ. Res., 1992, 58, N 2, p. 163-175.
156. Hellwig A., Krause I. Verfahren zur Bestimmung von Asbest in der Umwelt // Z. ges. Hyg., 1986, N 5, p. 326-327.
157. Henneberger P.K., Stanbury M.J. Patterns of asbestos in New Jersey // Amer. J. Ind. Med., 1992, 21, N 5, p. 689-697.
158. Hesse C.S., Hallenbeck W.H. Potential sources asbestos in lake Michigan // J. Great Lakes Res., 1978, 4, N 1, p. 57-61.
159. Hodgson J.T., Jones R.D. Mortality of asbestos workers in England and Wales 1971-81 // Brit. J. Ind. Med., 1986, 43, N 3, p. 158-164.
160. Holden J., Churg A. Asbestos bodies and the diagnosis of asbestosis in chrysotile workers // Environ. Res., 1986, 39, N 1, p. 232-236.
161. Holmes R.W. Managing asbestos abatement programs // Ind. Dev., 1987, 156, N 4, p. 826-828.
162. Huuskonen M.S., Rasanen J.A., Juntunen J. et al. Immunological aspects of asbestosis: Patients' neurological signs and asbestosis progression // Amer. J. Ind. Med., 1984, 5, N 6, p. 461-469.

163. Jarvie B.H. Neighbourhood asbestos-related disorders in the family of an asbestos worker // *Austral. and N. Z. J. Med.*, 1984, 14, N 4, Suppl. N 2, p. 550.
164. Kaczynski J.H., Hallenbeck W.H. Migration of ingested asbestos // *Environ. Res.*, 1984, 35, N 2, p. 531-551.
165. Kalker U. Das Problem asbesthaltiger Nachtspeicherofen // *Dtsch. Arztebl.*, 1992, 89, N 15, s. 850-851.
166. Kandaswami C., Rahimtula M., O'Brien P.J. Effect of asbestos fibers on aryl hydrocarbon hydroxylase and aminopyrine N-demethylase activities of rat liver microsomes // *Toxicology*, 1986, 38, N 1, p. 119-132.
167. Karjalainen A., Anttila S., Heikkilä L. et al. // *Scand. J. Work. Environ. and Health.*, 1993, 19, N 2, p. 102-107.
168. Karjalainen A., Anttila S., Mantyla T. et al. Asbestos bodies in bronchoalveolar lavage fluid in relation to occupational history // *Amer. J. Ind. Med.*, 1994, 26, N 5, p. 645-654.
169. Karjalainen A., Meurman L.O., Pukkala E. Four cases of mesothelioma among Finnish anthophyllite miners // *Occup. and Environ. Med.*, 1994, 51, N 3, p. 212-215.
170. Katschinski H.-U., Müller K.-M. Pleuramesotheliome im Raum Dresden 1964-1987 // *Arbeitsmed., Sozialmed., Umweltmed.*, 1994, 29, N 7, s. 284-288.
171. Kieser D. Der Gefahrstoff Asbest und seine Anwendung in der Bauwirtschaft // *Tiefbau-Berufsgenoss.*, 1992, 104, N 6, s. 383-389.
172. Kouris S.P., Parker D.L., Bender A.P. et al. Effects of asbestos-related pleural disease on pulmonary function // *Scand. J. Work, Environ. and Health*, 1991, 17, N 3, p. 179-183.
173. Kraus Th., Raithel H.J., Reichel G. et al. Asbeststaubverursachtes Larynxkarzinom - eine neue Berufskrankheit ? // *Arbeitsmed., Sozialmed., Umweltmed.*, 1993, 28, N 10, s. 421-441.
174. Langer A.M., Nolan R.P. Asbestos in potable water supplies and attributable risk of gastrointestinal cancer // *Northeast. Environ. Sci.*, 1986, 5, N 1-2, p. 41-53.
175. Lemaire I., Gingras D., Lemaire S. Effects of chrysotile asbestos on DNA synthesis and growth of human embryonic lung fibroblasts // *J. Environ. Pathol., Toxicol., and Oncol.*, 1986, 6, N 5-6, p. 169-180.
176. Lilis R., Miller A., Godbold J. et al. Comparative quantitative evaluation of pleural fibrosis and its effects on pulmonary function in two large asbestos-exposed occupational groups - insulators and steel metal workers // *Environ. Res.*, 1992, 59, N 1, p. 49-66.

177. Litzistorf G. et al. Ambient air pollution by mineral fibres in Switzerland // Staub.-Reinhalt. Luft., 1985, 45, N 6, p. 302-307.
178. Lohrer W. Luftverunreinigung durch Asbeststaube aus Bauprodukten // TIZ-Prachber. Rohst.-Eng., 1981, 105, N 11, s. 816-820.
179. Lukschanderl L. Todliche Fasern // Um. weltchutz., 1990, N 4, s. 8-17.
180. Lund L.G., Williams M.G., Dodson R.F. et al. Iron associated with asbestos bodies is responsible for the formation of single strand breaks in X174 RFI DNA // Occup. and Environ. Mtd., 1994, 51, N 3, p. 200-204.
181. Lundy P., Barer M. Asbestos-containing materials in New York city buidings // Environ. Res., 1992, 58, N 1, p. 15-24.
182. Mahmood N., Khan S.G., Athar M. et al. Differential role of hydrogen peroxide and organic peroxides in augmenting asbestos-mediated DNA damage: implications for asbestos induced carcinogenesis // Biochem. and Biophys. Res. Commun., 1994, 200, N 2, p. 687-694.
183. Marfels H., Spurny K., Boose C. et al. Immissionsmessungen von faserigen stauben in der Bundesrepublik Deutschland.-II. Messungen an der Krenzung einer Grosstad//Staub.-Reinhalt.Luft.,1984,44, N 9, s. 410-414.
184. Marfels H., Konig R. Zum "Gipsfaser-Problem" bei der Messung faserformiger Staube in der Aussenluft // Staud-Reinhalt. Luft, 1985, 45, N 10, s. 441-444.
185. McDonald J.C. Health implication of environmental exposure to asbestos // Environ. Health. Perspect., 1985, 62, p. 319-328.
186. Mesothelioma: Has patient had contact with even small amount of asbestos ? // J. Amer. Med. Ass., 1987, 257, N 12, p. 1569-1571.
187. Millette J.R., Ewning W., Brown R. Stepping on asbestos debris // Microscope, 1990, 38, N 3, p. 321-326.
188. Molinini R., Paoletti L., Albrizio M. et al. Occupational exposure to asbestos and urinary bladder cancer // Environ. Res., 1992, 58, N 2, p. 176-183.
189. Morgan A., Holmes A. The enigmatic asbestos bory: Its formation and significant in asbestos related disease // Environ. Res., 1985, 38, N 2, p. 283-292.
190. Morgan A., Holmes A. Solubility of asbestos and man-made mineral fibers in vitro and in vivo: its significance in lung disease // Environ. Res., 1986, 39, N 2, p. 475-484.
191. Muller-Golchert W. Altlast mit Langzeit-Folgen // Kommunal-wirtschaft, 1989, N 4, s. 110-112.
192. Musk A. et al. Wittenoom, Western Australia: amoder-nindustrial disaster//Amer. J. Ind. Med., 1992, 21, N 5, p. 735-747.

193. Ney P.E. Asbestos // *Anthropogenic compounds*.- Berlin etc., 1986, p. 35-100.
194. Nielsen A. Asbest i indeklimaet og det omgivende miljø // *Ugeskr. læger*, 1986, 148, N 49, p. 3323-3328.
195. Ohlson C.-G., Rydman T., Sundell L. et al. Decreased lung function in long-term asbestos cement workers: a crosssectional study // *Amer. J. Ind. Med.*, 1984, 5, N 5, p. 359-366.
196. Ohlson C.-G., Hogstedt C. Lung cancer among asbestos cement workers. A Swedish cohort study and a review // *Brit. J. Ind. Med.*, 1985, 42, N 6, p. 397-402.
197. Oliver L.C., Eisen E.A., Greene R.E. et al. Asbestos-related disease in railroad workers // *Amer. Rev. Respir. Disease*, 1985, 131, N 4, p. 499-504.
198. Ostertag D. Asbest in der Haustechnik // *Ki. KlimaKalte-Heiz.*, 1991, 19, N 4, p. 162-166.
199. Paoletti L., Caizza S., Donelli G. et al. Evaluation by electron microscopy techniques of asbestos contamination in industrial, cosmetic, and pharmaceutical talks // *Regul. Toxicol. And Pharmacol.*, 1984, 4, N 3, p. 222-235.
200. Parry W.T. Calculated solubility of chrysotile asbestos in physiological systems // *Environ. Res.*, 1985, 37, N 2, p. 410-418.
201. Peto J., Comminus B.T. Fibre Carcinogenesis and Environmental Hazards. Estimations of Risk from Environmental Asbestos in Perspective // *IARC Sci. Publ.*, 1989, N 90, p. 457-470, 476-485.
202. Premysl V.P. Health effects of asbestos and of some other minerals and fibres as reflected in world's literature: a compendium of references and abstracts 1906-1986 // *J. Environ. Pathol.: Toxicol., and Oncol.*, 1988, N 1-2, p.1-27.
203. Prentice J. Control sampling for asbestos // *Insulation*, 1986, 30, N 7, p. 10-11.
204. Pudill R. Problemstoff Asbest // *Lab. Prax.*, 1992, 16, p. 24-34.
205. Robock K. Based on available data, can we project an acceptable standard for industrial use of asbestos? Absolutely // *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1979, 330, p. 205-210.
206. Rodelsperger K., Jahn H., Bruckel B. et al. Asbestos dust exposure during brake repair // *Amer. J. Ind. Med.*, 1986, 10, N 1, p. 63-72.
207. Rodelsperger K., Woitowitz H.-J. Fragen aus der Praxis. Asbest im Trinkwasser // *Dtsch. Med. Wochenschr.*, 1991, 116, N 14, s. 555-557.

208. Roggli V.L., Hammar S.P., Pratt P.C. et al. Does asbestos or asbestosis cause carcinoma of the lung ? // *Amer. J. Ind. Med.*, 1994, 26, N 6, p. 835-838.
209. Rom W.N., Travis W.D., Brody A.R. Cellular and molecular basis of the asbestos-related diseases // *Amer. Rev. Respir. Disease*, 1991, 143, N 2, p. 408-422.
210. Rosestock L., Hudson L.D. Nonmalignant asbestos-induced pleural disease // *Semin. Respir. Med.*, 1986, 7, N 3, p. 197-202.
211. Ross M. Hazards associated with fibrous minerals // *US Geol. Surv. Circ.*, 1990, N 1033, p. 175-176.
212. San M. EPA proposed ban on asbestos // *Science*, 1986, 23, N 4738, p. 542-543.
213. Sano Tatsuo // *Res. Environ. Disrupt. Interdiscipl. Coop.*, 1988, 17, N 4, p. 10-12.
214. Schreier H. Asbestos in the natural environment.- Amsterdam: Elsevier, 1989.- 172 p.
215. Singh B., Thouez J.-P. Ambient Air Concentrations of Asbestos Fibers Near the Town of Asbestos, Quebec // *Environ. Res.*, 1985, 36, N 1, p. 144-159.
216. Smith A.H., Shearn V.I., Wood R. Asbestos and kidney cancer: the evidence supports a causal association // *Amer. J. Ind. Med.*, 1989, 16, N 2, p. 159-166.
217. Spurny K.R. On the chemical changes of asbestos and glass fibers in the environment and in biological specimens// *Proc. 7th Int. Clean. Air Conf.*, Adelaide, Aug. 24-28, 1981.- Ann. Arbor, Mich., 1981, p. 331-346.
218. Stone T. The hazards of asbestos // *Amer. City and Country*, 1986, 101, N 2, 68-70, p. 74-75.
219. Straif K., Giersiepen K., Kraus Jh. Asbeststaubverursachtes Larynkarzinom - eine neue Berufskrankheit ? // *Arbeitsmed., Sozialmed., Umweltmed.*, 1994, 29, N 4, s. 178-180.
220. Szeszenia-Dabrowska N., Wilczynska V., Szymczak W. Mortality among female workers in an asbestos factory in Poland // *Pol. J. Occup. Med.*, 1988, 1, N 3, p. 203-212.
221. Teirstein A.S. Advances in lung cancer ? // *Environ.Res.*, 1992, 59, N 1, p. 145-149.
222. Tepasse R. Asbestsanierung unter den Augen der Öffentlichkeit // *Abfallwirt. J.*, 1992, 4, N 9, s. 707-709.
223. Tillett S., Sullivan P. Asbestos screening and education programs for building and construction trades unions // *Amer. J. Ind. Med.*, 1993, 23, N 1, p. 143-152.

224. Timofiyevskaya L.A. Asbestos. - M.: GKNT, 1982.- 20 p.
225. Vasileva L.A., Pylev L.N., Wozniak H. et al. Biological activity of synthetic amphibole asbestos // Pol. J. Occup. Med. And Environ. Health, 1991, 4, N 1, p. 33-41.
226. Walchli P., Romer M., Vogt P. Mesotheliome in der Waggonindustrie der deutschen Schweiz // Arbeitsmed., Sozialmed., Umweltmed., 1993, 28, N 10, s. 447-453.
227. What about lead and asbestos ? // West. Water., 1987, July-Aug., p. 10-11.
228. Woitowitz H.-J., Rodelsperger K. Chrysotile asbestos and mesothelioma // Amer. J. Ind. Mtd., 1991, 19, N 4, p. 551-553.
229. Woitowitz H.-J., Rosler J.A. Asbestassoziierte -Erkrankungen // Atemwegs- und Lungenkrankh., 1992, 18, N 10, s. 409-413.
230. Wozniak H., Wiecek E. Azbest Polski i jego dzialanie zwlokniajace // Med. pr., 1985,36, N 2, p. 96-104.
231. Wozniak H., Wiecek E., Bielichowska-Cybula G. The fibrogenic activity and neurotoxicity of heat-treated chrysotile // Pol. J. Occup. Med. and Environ. Health, 1991, 4, N 1, p. 21-31.
232. Wright A., Cowle H., Gormley I.P. et al. The in vitro cytotoxicity of asbestos fibers // Amer. J. Ind. Med., 1986, 9, N 4, p. 381-384.
233. Zohrer W., Natke H.-J. Asbest in der Umwelt, T. 1 // Staub-Reinhalf Luft., 1986, 46, N 11, s. 474-482.
234. Zoloth S., Michaels D. Asbestos Disease in Sheet Metal Workers: The Results of a Proportional Mortality Analysis //Amer. J. Ind. Med., 1985, 7, N 4, p. 168-178.

Содержание

Предисловие.....	5
Введение.....	6
1. Краткие исторические сведения об асбесте.....	9
2. Общая характеристика и методы изучения волокнистой пыли.....	21
3. Важнейшие свойства асбестов.....	30
3.1. Хризотилковый асбест.....	34
3.2. Амфиболовые асбесты.....	45
3.3. Товарный и распушенный асбест.....	54
4. Биологическое влияние и токсичность асбеста.....	60
4.1. Асбестоз.....	61
4.2. Гиалиноз плевры.....	67
4.3. Рак легкого.....	69
4.4. Мезотелиома.....	74
4.5. Неоплазии других органов и общий механизм биологического действия асбеста.....	77
4.6. Гигиенические нормативы асбеста.....	80
5. Источники поступления асбеста в окружающую среду.....	87
5.1. Природные источники.....	88
5.1.1. Месторождения асбеста.....	90
5.1.2. География и краткая характеристика российских месторождений и проявления асбеста.....	107
5.2. Антропогенные источники асбеста.....	121
5.3. Асбестовые биоминеральные провинции.....	135
6. Экологические аспекты загрязнения окружающей среды асбестом.....	137
6.1. Асбест в атмосфере.....	138
6.2. Асбест в природных водах.....	146
6.3. Асбест в питьевых водах.....	149
6.4. Асбест в пищевых и коммерческих продуктах.....	152
6.5. Специфический источник загрязнения жилых помещений асбестом.....	155
Заключение.....	157
Литература.....	161

Янин Евгений Петрович
Асбест в окружающей среде.
(Введение в экологическое асбестоведение)

Утверждено к печати Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов

Редактор: Т.И.Нефелова. Автор обложки: С.К.Усков.
Подписано к печати 6 октября 1997 г.
Формат 60x90 1/16. Уч.-изд. листов 10,9.
Тираж 200. Заказ 6-97.
Ротапринт ИМГРЭ.