

**Токсикология,
гигиена,
профилактика,
диагностика
и лечение
бериллиевых
поражений**

СПРАВОЧНИК

ВВЕДЕНИЕ

Представления человечества о бериллии прошли через многие этапы. С глубокой древности известна и получила признание поразительная красота берилла, изумруда и аквамарина. Однако только в течение последних 150 лет были изучены свойства бериллия, его соединений и сплавов. С начала XX столетия интерес к бериллию постоянно увеличивался, и он находил все более широкое применение не только в научных исследованиях, но и в народном хозяйстве. Недаром академик А. Е. Ферсман уклонился, что бериллий — один из самых замечательных элементов огромного теоретического и практического значения.

Объем потребляемого в мире бериллия начиная с 30-х годов постоянно возрастает и к 70-м годам увеличился почти в 10 раз. Это вызвано все более широким применением бериллия, его соединений и сплавов в самых различных отраслях народного хозяйства: в атомной энергетике, приборостроении, авиации, ракетной технике, электронике, электротехнике, аэрокосмической технике и т.п. Соответственно возрастает число лиц, подвергающихся в производственных условиях воздействию бериллия, а также возникает большая возможность загрязнения окружающей среды указанным металлом и его соединениями.

В начале 30-х годов впервые была установлена высокая токсичность как самого металла, так и его соединений, в особенности растворимых. Основанием для вынесения этого заключения послужили не только экспериментальные исследования, но и развитие тяжелых поражений легких и кожи у лиц, работающих с различными соединениями металла. За прошедшие годы достаточно глубоко изучены последствия воздействия бериллия на организм, что позволяет подтвердить указанное положение о его высокой токсичности.

Можно с уверенностью утверждать, что более широкое использование металла в определенной степени тормозится двумя основными моментами: его высокой стоимостью и токсичностью, т.е. потенциальной опасностью, которая возникает при работе с бериллием, его сплавами и соединениями. Однако высокая токсичность ни в коей мере не должна затормозить использование и применение бериллия, так как при соблюдении существующих санитарно-гигиенических требований исключается возможность профессиональных поражений.

Основное назначение настоящего справочника — ознакомление читателя с санитарно-гигиеническими требованиями к условиям труда при работе с бериллием, профилактикой, ранней диагностикой и лечением бериллиевых поражений.

Обоснованность и надежность санитарно-гигиенических и медицинских требований подтверждается тем, что, несмотря на непрерывное возрастание использования бериллия, его сплавов и различных соединений, за последние годы в основном не выявляется среди персонала новых больных с профессиональными поражениями легких и кожи.

Практический опыт учит, что на производствах, где широко используется бериллий, обычно достаточно полно соблюдают требования техники безопасности с учетом особенности технологии. Однако при ограниченном применении бериллия, когда воздействию подвергаются всего несколько человек, контроль за соблюдением правил техники безопасности и санитарных требований бывает недостаточным. Тот факт, что забо-

левание возникает не сразу, порождает у работающих чувство беспечности и небрежности, которое в нашей стране и за рубежом приводило к развитию тяжелых легочных поражений. Достаточно указать, что в некоторых случаях после 1–2 лет работы с нерастворимыми соединениями металла только через 10–15 лет развивались тяжелые гранулематозные поражения легких.

Исходя из указанных выше предпосылок, при любом использовании бериллия (металл, его соединения и сплавы) необходимо конкретно оценивать возможность воздействия его на работающих и на основании этих данных с учетом существующих требований обеспечивать безопасность труда, исключая возможность возникновения профессиональных заболеваний. При этом должны быть определены методы и частота проведения контроля за содержанием бериллия в воздухе, загрязнением им поверхностей и т.п.

На всех производствах и в лабораториях, как правило, на человека воздействует комплекс факторов. Не следует забывать, что воздействие бериллия может сочетаться с другими неблагоприятными факторами, которые могут вызывать сходные поражения, предрасполагать к возникновению бериллиевых поражений или способствовать ему. Именно поэтому необходимо комплексно оценивать условия труда и их возможное влияние на состояние здоровья персонала с целью реального предупреждения всех возможных неблагоприятных последствий и изменений в состоянии здоровья.

Безусловно, развитие тех или иных изменений при воздействии любого фактора, в том числе и бериллия, зависит от индивидуальных особенностей организма. Однако эти особенности имеют значение только в определенном диапазоне воздействия. Ниже определенной концентрации металл является безвредным и не вызывает изменений в организме, а тем более развития заболевания. Это положение имеет принципиальное значение, так как в течение продолжительного времени выдвигалось предположение об определяющем значении в развитии бериллиевых поражений индивидуальных особенностей организма, которые проявляются при любой концентрации металла. Несостоятельность этого предположения вытекает прежде всего из того факта, что в естественных условиях в организме всех людей содержится минимальное количество бериллия. Кроме того, многолетние наблюдения — не только экспериментальные, но и клинические — со всей убедительностью показывают, что возникновение легочных и кожных поражений, в том числе и хронических, зависит от дозы и продолжительности воздействия бериллия.

На современном этапе научно-технического прогресса на всех производствах могут и должны быть созданы условия, исключающие неблагоприятные последствия воздействия бериллия и его соединений на организм. Это создаст необходимые предпосылки для устранения одной из причин, тормозящих широкое внедрение бериллия в практику, — опасение за вредное влияние бериллия на здоровье персонала и населения.

Авторы надеются, что справочник будет способствовать строгому и реальному обеспечению медицинских требований и техники безопасности при работе с бериллием и его соединениями.

В случае выявления больных с бериллиевыми поражениями или при наличии подозрения на них просим сообщать об этом и обращаться за консультацией в Научно-консультативное отделение Института гигиены труда и профессиональных заболеваний АМН СССР (105118, Москва, 9-я улица Соколиной горы, д. 12).

1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕРИЛЛИЯ, ЕГО СОЕДИНЕНИЙ И СПЛАВОВ

В этом разделе рассматриваются основные физико-химические свойства бериллия, его соединений и сплавов, позволяющие оценивать возможность попадания этих веществ в среду, с которой находится в контакте человек (воздух, вода), и те формы, в виде которых, вероятнее всего, они могут попасть в организм людей. Помимо этого, приведенные сведения облегчат химикам выбор соответствующего способа разложения проб при проведении санитарного контроля.

1.1. Минералы бериллия

Наиболее часто встречающимся минералом бериллия является берилл ($3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). Кроме него промышленное значение имеют фенакит ($\text{Be}_3\text{Si}_2\text{O}_{10}$), хризоберилл (BeAl_2O_4), берtrandит ($\text{BeSi}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$), парилит ($\text{Be}_2\text{MgSi}_2\text{O}_{10}$), гельвин ($\text{Mg, Fe, Zn}(\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_7)_2$). Все минералы бериллия весьма устойчивы на воздухе и нерастворимы в воде. Для перевода их в раствор, применяют методы сплавления их со фторидами, щелочами, карбонатами и другими соединениями.

1.2. Бериллий и его соединения

Сводка свойств бериллия и его наиболее часто встречающихся соединений приведена в табл. 1.1.

Дополнительно следует отметить следующее. На воздухе при термическом разложении большинства соединений (кроме фторбериллатов), как правило, образуется окись бериллия. Кроме того, летучие соединения на воздухе при снижении температуры до обычных температурных уровней помещений конденсируются и превращаются в аэрозоли. При попадании растворимых соединений в воду форма бериллия в значительной степени определяется типом анионов, преобладающих в воде. В гидрокарбонатных водах бериллий, вероятнее всего, будет находиться в форме карбонатных комплексов, в сульфатных и хлоридных водах — в частично гидролизованной форме и может проявить тенденцию к адсорбции на взвешах. В почвах бериллий, как и другие обменные катионы, преимущественно адсорбирован почвенными частицами; его подвижность может увеличиваться при наличии в почвенных водах значительного количества гидрокарбонатов или фторидов.

1.3. Состояние бериллия в водных растворах

В кислых растворах, не содержащих фторидов и органических комплексообразователей, бериллий находится, как правило, в виде катиона Be^{2+} сильно гидратированного. При увеличении pH до 3–4 начинается образование полимерных гидрокомплексов бериллия. Выпадение гидроксида начинается при соотношении $\text{Be}^{2+} : \text{OH}^- \approx 1$. В избытке щелочи гидро-

Таблица 1.1

Физико-химические свойства бериллия и его соединений

Соединение	Формула	Температура плавления, °C	Температура кипения, °C	Особенности поведения		Переведение в раствор для анализа
				на воздухе	в нейтральной слабо-минерализованной (пресной) воде	
Бериллий	Be	1280	2970	Окисляется при температуре выше 600°C	В холодной воде практически не растворяется	Растворяется в разбавленных кислотах и щелочах
Бериллия аммония фосфат	$\text{BeNH}_4\text{PO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	—	—	При нагревании до температуры 200°C теряет воду, выше 600°C переходит в пирофосфат	Практически не растворяется	Растворяется в разбавленных кислотах
Бериллия-аммония фторид (фторбериллат аммония)	$(\text{NH}_4)\text{BeF}_4$	—	—	Отщепляет фторид аммония при температуре выше 200°C	Растворяется	Растворяется в воде
Бериллия ацетат	$\text{Be}(\text{OOCCH}_3)_2$	—	—	Разлагается при температуре выше 300°C	Практически не растворяется	Растворяется в разбавленных кислотах
Бериллия ацетат основной (оксиацетат)	$\text{Be}_4\text{O}(\text{OOCCH}_3)_6$	284	331	При температуре выше 200°C летуч	Медленно реагирует с водой (гидролиз)	Растворяется в разбавленных кислотах
Бериллия боргидрид	$\text{Be}(\text{BH}_4)_2$	Возгоняется при температуре 91°C	—	Самопроизвольно воспламеняется	Разлагается	Растворяется в разбавленных кислотах
Бериллия бромид	BeBr_2	Возгоняется при температуре 480°C	—	Расплавляется, при высоких температурах летуч	Растворяется	Растворяется в воде

Соединение	Формула	Температура плавления, °C	Температура кипения, °C	Особенности поведения		Переведение в раствор для анализа
				на воздухе	в нейтральной слабо-минерализованной (пресной) воде	
Бериллия гидрид	BeH_2	—	—	При температуре выше 125°C разлагается	Разлагается	Растворяется в разбавленных кислотах
Бериллия гидроокись (аморфная)	$\text{Be}(\text{OH})_2$	—	—	Присоединяет CO_2 , превращаясь в оксикарбонат. При нагревании до температуры выше 140°C начинает терять воду	Практически не растворяется	Растворяется в разбавленных кислотах и щелочах, карбонатах
Бериллия гидроокись (кристаллическая)	$\text{Be}(\text{OH})_2$	—	—	Разлагается при температуре 240–300°C	Практически не растворяется	Растворяется в кислотах при длительном кипячении
Бериллия иодид	BeI_2	480	590	Гигроскопичен, при нагревании летуч	Растворяется	Растворяется в воде
Бериллия-калия фторид (фторбериллат калия)	K_2BeF_4	—	—	Разлагается при нагревании	Растворяется	Растворяется в воде
Бериллия карбид	Be_2C	—	—	В диспергированной форме гидролизует влажностью воздуха	Разлагается	Растворяется в разбавленных кислотах
Бериллия карбонат	$\text{BeCO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	—	—	Разлагается при температуре выше 100°C	Слабо растворяется	Растворяется в кислотах, избытке карбонатов
Бериллия карбонат основной (оксикарбонат)	$(\text{BeO})_5\text{CO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	—	—	Разлагается при температуре выше 100°C	В холодной воде практически не растворяется	Растворяется в кислотах, избытке карбонатов

Соединение	Формула	Температура плавления, °C	Температура кипения, °C	Особенности поведения		Переведение в раствор для анализа
				на воздухе	в нейтральной слабо минерализованной (пресной) воде	
Бериллия-натрия фторид (фторбериллат натрия)	Na_2BeF_4	—	—	Разлагается при нагревании	Растворяется	Растворяется в воде
Бериллия нитрат	$\text{Be}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	60	—	На воздухе распыляется. При нагревании сначала теряет воду, затем разлагается	Растворяется	Растворяется в воде
Бериллия нитрид	Be_3N_2	2200	—	Подвержен воздействию водяных паров	Разлагается	Растворяется в воде, кислотах и щелочах
Бериллия окись	BeO	2550	3900	Окись с низкой температурой прокалики слегка гигроскопична. В присутствии водяного пара при температуре выше 2000°C летуча	Практически не растворяется	Сплавляется с сульфатами, фторидами, карбонатами, щелочами
Бериллия оксалат	$\text{BeC}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	—	—	При нагревании разлагается	Растворяется	Растворяется в воде
Бериллия пирофосфат	$\text{Be}_2\text{P}_2\text{O}_7$	—	—		Практически не растворяется	Растворяется в разбавленных кислотах
Бериллия сульфат (тетрагидрат)	$\text{BeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	—	—	При температуре 100°C теряет H_2O . При температуре 250–400°C теряет 4 H_2O	Растворяется	Растворяется в воде
Бериллия сульфат	BeSO_4	—	—	На холоду гигроскопичен. При температуре	Растворяется медленно	Растворяется в воде при нагревании

Бериллия фторид

Соединение	Формула	Температура плавления, °C	Температура кипения, °C	Особенности поведения		Переведение в раствор для анализа
				на воздухе	в нейтральной слабо минерализованной (пресной) воде	
Бериллия фторид	BeF_2	803	1159	На холоду гигроскопичен. При высоких температурах летуч	Растворяется	Растворяется в воде
Бериллия хлорид	$\text{BeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	—	—	Дегидратируется при нагревании	Растворяется	Растворяется в воде
Бериллия хлорид	BeCl_2	404	500	При нагревании летуч	Растворяется	Растворяется в воде

окись бериллия растворяется с образованием бериллатов, в избытке аммиака (водного) происходит неполное растворение гидроокиси, в избытке карбонатов бериллий переходит в форму комплексного карбонатного аниона. Во фторидных растворах образуются комплексы от BeF до BeF_4^- , последний преобладает уже при избытке иона фтора, составляющем 10–20% по сравнению со стехиометрическим количеством, необходимым для его образования. Нейтральные фторидные растворы (NH_4F , NaF и др.) растворяют металлический бериллий и большинство его соединений, а при нагревании — даже частично высокопрокаленную окись. В растворах с pH, близким к нейтральному, бериллий образует комплексы с органическими кислотами, оксикислотами, аминокислотами, β -дикетонами и другими, в том числе (в порядке убывания прочности комплекса) с салициловой кислотой, сульфосалициловой кислотой, ацетилацетоном, малоновой, щавелевой, лимонной кислотами. Комплексы с этилендиаминтетрауксусной кислотой также образуются, но они менее прочны, чем аналогичные комплексы большинства других элементов, и потому кислота применяется в аналитической практике как маскирующий агент для примесей при отделении или определении бериллия.

2. МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕРИЛЛИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И ВНЕШНЕЙ СРЕДЕ

Ниже приведены систематизированные методики определения бериллия, используемые для санитарно-химического контроля производственной и внешней среды и биосред. Методы разложения проб, выделения бериллия и конечного его определения взяты из зарубежных и отечественных литературных источников (Новоселова А. В., Бацанова Р.С., 1966).

Большинство обычных методик санитарно-химического определения бериллия включают в себя много одинаковых операций, особенно в части выделения бериллия из раствора, полученного в процессе разложения проб и содержащего мешающие определению элементы, и в части способов конечного определения бериллия после его выделения. Во избежание многократного дублирования описания одного и того же процесса вначале рассмотрены методы выделения и конечного определения, а затем методы подготовки проб разных объектов среды со ссылками на предпочтительные методики окончания анализа. Приведенные здесь прописи анализа являются модификациями уже известных методов, дополненных и усовершенствованных в практике работ Г. Н. Дроздковой, В. Г. Евсеевой, Е. Л. Мордбергом, Э. Д. Сопах, Е. М. Фильковой и др.

Отдельно приведена группа оценочных экспресс-методик, основанных на визуальной капельной колориметрии, разработанных Е. М. Фильковой и Е. Л. Мордбергом, а применительно к кожным покровам — Е. М. Фильковой, Е. Л. Мордбергом и Э. Я. Мискевичем.

2.1. Способы выделения бериллия из растворов сложного состава

Для выделения бериллия из солянокислого раствора, получаемого при разложении большинства типов проб, наиболее часто применяют способ экстракции его в виде ацетилацетонатного комплекса (см. разд. 2.1.1). Кроме того, в некоторых случаях возможно ионообменное выделение (см. разд. 2.1.2).

2.1.1. Выделение бериллия экстракцией ацетилацетонатного комплекса

Выделение бериллия в виде ацетилацетонатного комплекса в четыреххлористый углерод в присутствии трилона Б при pH = 5–7 позволяет отделять микрограммовые количества его от значительно превосходящих количества сопутствующих элементов. Анализируемый солянокислый раствор или аликвотную его часть помещают в коническую колбу емкостью 100 мл (общий объем пробы не более 30–40 мл), добавляют 10 мл 10%-ного раствора трилона Б, перемешивают и, добавляя по каплям 10%-ный раствор аммиака, доводят pH до 5–6 по универсальной индикаторной бумаге. Прибавляют 1 мл ацетилацетона, перемешивают, еще раз проверяют pH. Если нужно добавляют несколько капель аммиака и переводят раствор в делительную воронку объемом 200 мл. Ополаскивают колбу 15 мл четыреххлористого углерода и смыв также выливают в делительную воронку. Пробу интенсивно встряхивают в течение 4 мин.

После отстаивания органический слой сливают обратно в колбу, а оставшийся в делительной воронке водный слой вторично обрабатывают 0,5 мл ацетилацетона и 5 мл четыреххлористого углерода, встряхивая в течение 2 мин. Отстоявшийся органический слой присоединяют к первой порции, а водный слой сливают. Органический раствор из колбы переносят обратной в делительную воронку и рекстрагируют бериллий 10 мл соляной кислоты (1,5:2), встряхивая в течение 2 мин. Органический слой сливают, а водный 0,5 мин встряхивают с 2 мл четыреххлористого углерода для удаления ацетилацетона, после чего его переводят из делительной воронки в термостойкий стакан емкостью 50 мл, добавляют 5 мл серной кислоты (1:1) и выпаривают, добавляя периодически концентрированную азотную кислоту для удаления органики.

Обработку серной и азотной кислотами повторяют до побеления осадка. Побелевший осадок еще раз смачивают несколькими каплями серной кислоты и выпаривают досуха. Остаток растворяют в дистиллированной воде, подкисленной концентрированной соляной кислотой, при нагревании. После охлаждения полученный раствор готов к определению бериллия.

2.1.2. Выделение бериллия ионообменным методом

Для ионообменного выделения бериллия используют фракцию смолы КУ–2х8, отстаивающуюся в воде в интервале 10–30 с. Смолу промывают в делительной воронке 2 н. HCl до отрицательной реакции на железо с роданидом аммония, затем водой до нейтральной реакции и 2,5%-ным раствором трилона Б с pH = 4,0 до тех пор, пока pH на выходе не устанавливается равным $4,0 \pm 0,1$ (контроль по pH-метру). С помощью того же раствора смолу загружают в колонки диаметром 10 мм (по 10 мл набухшей смолы на колонку). К анализируемому раствору добавляют 1/3 по объему 10%-ного раствора трилона Б. Осторожно при помешивании раствор нейтрализуют сначала 25%-ным, а в конце 10%-ным раствором аммиака, доводя pH до $4,0 \pm 0,1$. Подготовленный раствор пропускают через колонку с катионитом. Затем смолу промывают 200 мл 2,5%-ного раствора трилона Б с pH = 4,0 и 100 мл дистиллированной воды. Бериллий вымывают 25 мл 0,5М раствора фторида аммония, собирая десорбат в платиновые чашки. Скорость пропускания растворов через колонку 1 мл/мин.

К десорбату добавляют 5–6 мл серной кислоты (1:1) и выпаривают на песчаной бане до прекращения выделения паров SO_3 . Операцию повторяют дважды. Растворяют осадок в дистиллированной воде, подкисленной концентрированной соляной кислотой. Полученный раствор готов к определению бериллия.

Отделение бериллия от большого количества никеля и меди (при анализе бериллиевых бронз и никель-бериллиевых сплавов) проводят из водно-ацетоновых растворов HCl на катионите КУ-2х8 (H^+ -форма). Смола с размером зерна 0,125–0,250 мм помещают для набухания в смесь, состоящую из одной части 0,5 н. раствора соляной кислоты и девяти частей ацетона (по объему). Набухший катионит переносят в колонку ($d = 0,5$ см). К анализируемому раствору добавляют концентрированную HCl в таком количестве, чтобы он стал 0,5 н. по HCl , и приливают ацетон (90% по объему). Подготовленный раствор пропускают через колонку со скоростью 1 мл/мин, при этом медь оказывается в элюате. При разделении смеси $Cu-Be-Ni$ и $Be-Ni$ бериллий десорбируется 1 н. HCl , содержащей 50% ацетона, а никель – 3 н. HCl . При разделении смеси $Cu-Be$ бериллий вымывается 1 н. HCl .

2.2. Способы конечного определения бериллия

Наиболее широко распространенным в практике санитарно-химического анализа является метод, основанный на оценке флуоресценции моринового комплекса бериллия под действием ультрафиолета. В ТУ 122-1/119–63 рекомендован этот метод с визуальной оценкой интенсивности флуоресценции по стандартной шкале (см. разд. 2.2.1). Этот способ имеет погрешность порядка 20–30%. Чувствительность и точность метода могут быть увеличены при использовании флуорометров, например отечественного марки ЭФ-3МА или других (см. разд. 2.2.2). В этом случае погрешность определения снижается до 5–10%.

Кроме флуоресцентного применимы также фотоколориметрические методы определения бериллия с такими реагентами, как бериллоны разных номеров (см. разд. 2.2.3), фосфоазо (см. разд. 2.2.4), арсеназо I (см. разд. 2.2.5), хромазуrol S (см. разд. 2.2.6) и др. Погрешность этих методов составляет не более 10%.

2.2.1. Визуальное флуорометрическое определение бериллия с морином по стандартной шкале

Из подготовленного по способам, изложенным в разд. 2.1.1 или 2.1.2 (или другим), солянокислого раствора аликвоту помещают в колориметрические пробирки емкостью 10 мл, разбавляют водой до 5 мл, прибавляют по 0,5 мл раствора 50%-ного по трилому Б и 1%-ного по триэтаноламину и нейтрализуют 10%-ным раствором едкого натра до $pH = 11 \div 12$ (контроль по pH-метру). Затем прибавляют 0,1 мл 0,02%-ного спиртового раствора морины, доводят водой объем пробы до 10 мл и тщательно перемешивают.

Стандартную шкалу готовят в колориметрических пробирках на 10 мл аналогично исследуемым пробам со следующим содержанием бериллия, мкг: 0,02 – 0,05 – 0,10 – 0,20 – 0,30 – 0,40 – 0,50. Через 10 мин сравнивают интенсивность флуоресценции подготовленных для

анализа проб со стандартной шкалой при ультрафиолетовом облучении. Определяемый минимум – 0,02 мкг бериллия в анализируемом объеме.

Практика свидетельствует, что не следует пользоваться значениями стандартной шкалы ниже указанного: даже у опытных исполнителей, которым кажется, что они определяют эту точку, погрешность при проверке с "шифрованными" пробами составляет обычно более 100%.

2.2.2. Определение бериллия с морином на флуорометре ЭФ-3МА

Способ подготовки растворов и стандартной шкалы такой же, как описанный в разд. 2.2.1. Для работы можно использовать различные отечественные флуорометры, например ЭФ-3МА. При использовании в этом флуорометре в качестве первичного светофильтра B_2-1 и вторичного ФК-2 определяемый минимум бериллия составляет 0,02 мкг в анализируемом объеме. Если используют в качестве вторичного светофильтра B_2-2 , то минимально определяемое количество бериллия составляет 0,005 мкг. Порядок проведения измерений описан в инструкции к прибору.

2.2.3. Фотоколориметрическое определение бериллия с бериллионом II

Аликвотную часть исследуемого раствора помещают в мерную пробирку емкостью 10 мл и доводят объем пробы до 3 мл, добавляя 5%-ный раствор соляной кислоты. Затем добавляют 0,1 мл 10%-ного раствора селитровой соли и 0,5 мл 5%-ного трилона Б, перемешивают, нейтрализуют 10%-ным раствором едкого натра по красной лакмусовой бумаге до ее посинения и сразу же по каплям добавляют 5%-ный раствор соляной кислоты до покраснения бумаги. Приливают в пробирку 0,5 мл 0,01%-ного раствора бериллона II и доводят объем пробы до 10 мл, добавляя боратный буферный раствор с $pH = 12,4 \div 12,5$. Раствор перемешивают и через 5 мин измеряют оптическую плотность на ФЭК-56 с красным светофильтром в кюветах $l = 10$ мм. Градуировочный график строят по стандартной шкале в интервале концентраций от 0,05 до 1,0 мкг в 10 мл раствора. Растворы стандартной шкалы готовят аналогично исследуемым растворам. Определяемый минимум – 0,05 мкг бериллия в анализируемом объеме. Определение с бериллионом III с бериллионом IV проводится аналогичным образом.

2.2.4. Фотоколориметрическое определение бериллия с фосфоазо Р

Аликвотную часть исследуемого раствора помещают в две мерные пробирки емкостью по 50 мл, добавляют в каждую 5 мл раствора 5%-ного по трилому Б и 1%-ного по триэтаноламину, 1–2 капли спиртового 0,1%-ного раствора тимолфталейна и нейтрализуют 20%-ным раствором едкого натра до появления синей окраски раствора. Затем по каплям добавляют соляную кислоту до обесцвечивания раствора. К одной из аликвотных частей добавляют 1 мл ацетилацетона (1:9), затем в обе

колбы приливают по 2 мл 0,1%-ного раствора фосфоназо, объем доводят до метки, добавляя боратный буфер с $\text{pH}=9,4$, и тщательно перемешивают. Оптическую плотность растворов измеряют через 30 мин на ФЭК-56 с зеленым светофильтром № 5 в кюветах $\ell = 20$ мм. В качестве раствора сравнения используют пробы, подготовленные, как описано выше, с ацетилацетоном.

Растворы для градуировочной кривой готовят аналогично в интервале концентраций от 2 до 18 мкг бериллия. Определяемый минимум — 2 мкг бериллия в анализируемом объеме.

2.2.5. Фотоколориметрическое определение бериллия с арсеназо I

Исследуемый раствор помещают в мерную пробирку емкостью 10 мл, разбавляют водой до 3 мл, прибавляют 0,5 мл раствора 5%-ного по трилону Б и 1%-ного по триэтаноламину, 1 мл 0,1%-ного раствора арсеназо I и доводят объем до 10 мл, добавляя гликолевый буфер с $\text{pH} = 11,3$. Оптическую плотность растворов измеряют на ФЭК-56 через 5 мин в кюветах $\ell = 20$ мм с зеленым светофильтром № 5. Стандартную шкалу готовят аналогично исследуемым растворам в мерных пробирках объемом 10 мл в интервале от 1,0 до 10 мкг бериллия. Определяемый минимум — 1 мкг бериллия в анализируемом объеме.

2.2.6. Фотоколориметрическое определение бериллия с хромазуролом Б

Исследуемый раствор помещают в мерную пробирку емкостью 10 мл, разбавляют водой до 3 мл, прибавляют 0,5 мл раствора 5%-ного по трилону Б и 1%-ного по триэтаноламину, 1 мл 0,1%-ного раствора хромазуrolа, 5 мл аммиачного буферного раствора с $\text{pH} = 9,6 \div 9,8$ и доводят объем пробы до 10 мл, добавляя воду. Раствор в пробирке перемешивают и через 20 мин измеряют оптическую плотность на ФЭК-56 в кюветах $\ell = 10$ мм с зеленым светофильтром № 5. Стандартную шкалу готовят аналогично в мерных пробирках емкостью 10 мл в интервале от 1 до 10 мкг бериллия. Определяемый минимум — 1 мкг бериллия в анализируемом объеме.

2.3. Определение бериллия в воздухе рабочих помещений

Отбор проб производится на фильтры АФА-ХП-18 или бумажные фильтры. В зависимости от предполагаемого состава пробы операции подготовки ее к конечному определению могут быть более или менее сложными. Так, если в пробе могут присутствовать только соединения бериллия, растворимые в воде или разбавленных кислотах (металл, сплавы, галогениды, сульфаты, нитраты, карбонаты), то достаточно обработки фильтра соляной или азотной кислотой (см. разд. 2.3.1). При наличии в пробе труднорастворимых соединений (окись с температурой обжига до 1200°C , кристаллическая гидроокись и т. д.) необходима кислая сульфатная плавка по способу, изложенному в разд. 2.3.2. Если же присутствуют силикаты (в том числе и обычная силикатная пыль, но в значительном количестве) и окись бериллия с температурой обжига более 1200°C , то необходима фторидная плавка по способу, изложенному в разд. 2.3.3.

2.3.1. Разложение проб, содержащих растворимые соединения бериллия

Согласно ТУ 122-1/119-63 после отбора пробы воздуха, в котором могут присутствовать кислоторастворимые соединения бериллия (в том числе и сплавы на алюминиевой и магниевой основах), фильтр АФА-ХП-18 или бумажный переносят в стакан (фильтр АФА обязательно предварительно смочить спиртом) и промывают его 2-3 раза 3 мл 5%-ного раствора соляной кислоты. После каждого промывания раствор сливают, тщательно отжимают фильтр стеклянной палочкой и измеряют общий объем жидкости. Если ожидаемое содержание бериллия в пробе мало и определение следует проводить из всего объема, то полученный раствор упаривают до объема не более 2-3 мл; поэтому предпочтительнее озолить фильтр в муфеле при температуре $500-600^\circ\text{C}$. После охлаждения тигля к остатку добавляют 3-5 мл 5%-ного раствора HCl и растворяют его при нагревании.

Если в воздухе рабочих помещений присутствует пыль сплавов бериллия на основе меди и никеля, то к остатку после озоления фильтра добавляют 3-5 мл раствора азотной кислоты 1:1, нагревают до его растворения и упаривают досуха. Сухой остаток растворяют в 5 мл 0,5н. HCl , переводят раствор в мерную колбу емкостью 50 мл, ополаскивают тигель несколько раз ацетоном и им же доводят объем раствора в колбе до метки. Полученные растворы анализируют по способам, изложенным в разд. 2.1 и 2.2.

2.3.2. Разложение проб, содержащих нерастворимые соединения бериллия

При наличии в пробе труднорастворимых соединений бериллия фильтры озоляют в муфеле при температуре $500-600^\circ\text{C}$, золу сплавляют с 10-кратным избытком пиросульфата калия в фарфоровых тиглях при температуре $600-700^\circ\text{C}$ до получения прозрачного плава. Охлажденный плав растворяют при нагревании в воде, подкисленной несколькими каплями концентрированной соляной кислоты. Если в пробе ожидается значительное количество мешающих примесей, то бериллий выделяют из раствора по способу, изложенному в разд. 2.1.1, и далее анализируют так, как описано в разд. 2.2.1 - 2.2.6.

2.3.3. Разложение проб, содержащих силикаты бериллия или высокопрокаленные окиси

Если в воздухе рабочих помещений присутствует силикат бериллия или пыль, содержащая силикаты других соединений, или высокопрокаленная окись бериллия, то фильтр после отбора пробы озоляют в платиновом тигле в муфеле при температуре $500-600^\circ\text{C}$, золу сплавляют с 10-кратным количеством бифторида калия при температуре 600°C . После охлаждения к плаву добавляют 3-4 мл серной кислоты (1:1) и выпаривают раствор на песчаной бане до прекращения выделения паров SO_2 . Операцию выпаривания повторяют дважды. Затем остаток растворяют при нагревании в дистиллированной воде, подкисленной несколькими каплями концентрированной соляной кислоты. Полученный солянокислый раствор анализируют по способам, изложенным в разд. 2.1.1 или 2.1.2, 2.2.1-2.2.6.

2.4. Определение бериллия в атмосферном воздухе

При определении бериллия в атмосферном воздухе для достоверного суждения о том, является ли определяемая концентрация выше, ниже или равна предельно допустимой концентрации (ПДК), объем отбираемой пробы воздуха должен рассчитываться так, чтобы минимально определяемое количество (см. разд. 2.2.1 – 2.2.6) соответствовало концентрации не менее $0,003 \text{ мкг/м}^3$ ($1/3$ ПДК). При флуориметрическом определении бериллия с морином объем прокачанного воздуха должен быть не менее 10 м^3 . Способ разложения пробы аналогичен способу разложения, описанному в разд. 2.3.3. Кроме того, необходимо проводить холостое определение с использованием тех же реактивов и результата пробы.

2.5. Определение загрязненности рабочих поверхностей

Для определения загрязненности поверхностей используют метод мазков. Мазки берут тремя ватными тампонами, смоченными в 2%-ной соляной кислоте, с поверхности площадью 1 дм^2 путем протирания поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Три тампона складывают в один тигель, озоляют в муфеле при температуре 600°C и золу сплавляют с пиросульфатом калия или бифторидом калия в зависимости от того, какие соединения бериллия могут быть на данной поверхности, аналогично способам, изложенным в разд. 2.3.2 и 2.3.3. Плав растворяют при нагревании в дистиллированной воде подкисленной концентрированной соляной кислотой; полученные растворы после охлаждения переводят в мерные колбы емкостью 50 или 100 мл. Из аликвотной части раствора выделяют бериллий по способу, описанному в разд. 2.1.1 или 2.1.2, и анализируют по способу, описанному в разд. 2.2.1 – 2.2.6.

2.6. Определение бериллия в выпадениях методом липких экранов

При определении бериллия в оседающей пыли используют планшеты. Для изготовления планшета применяют чертежную прозрачную кальку марки "ч", имеющую относительно небольшую зольность. В качестве липкого носителя используют состав, состоящий из вазелина и вазелинового масла, взятых в равных весовых частях.

После отбора пробы планшет сворачивают смазкой внутрь, помещают в фарфоровый тигель № 5 и озоляют в муфеле, постепенно поднимая температуру до 700°C . Далее анализ ведут по способу, описанному в разд. 2.3.2 или 2.3.3.

2.7. Определение бериллия в почве

Пробы почвы высушивают до воздушно-сухого состояния, тщательно перемешивают, просеивают через крупное сито, чтобы удалить камни и корни растений, растирают в агатовой ступке и просеивают через сито с отверстиями диаметром $0,2 \text{ мм}$. Для анализа способом квартования берут навеску $0,5 \text{ г}$, помещают ее в платиновую чашку и прокаливают в муфеле при температуре 400°C в течение 30 мин для удаления органики.

Прокаленную навеску в чашке заливают 3 мл серной кислоты (1:1) и 15 мл плавиковой кислоты и выпаривают на песчаной бане досуха. Эту операцию повторяют дважды. Затем осторожно водой из промывалки обмывают стенки чашки, добавляют еще 3 мл серной кислоты и выпаривают досуха. Эту операцию также повторяют дважды.

Сухой остаток при нагревании растворяют в 5%-ном растворе соляной кислоты. Нерастворившийся осадок, представляющий собой в основном сульфат кальция, отфильтровывают через плотный фильтр "синяя лента" с добавлением "бумажной кашицы" и промывают осадок на фильтре подкисленной горячей водой. Фильтрат собирают в мерную колбу и отбирают аликвоту для выделения бериллия по способам, изложенным в разд. 2.1.1 или 2.1.2.

2.8. Определение бериллия в снеге, воде водоемов и производственных сточных водах

2.8.1. Разделение фаз и определение бериллия во взвесьях

При определении бериллия на уровне ПДК для анализа необходимо взять 500 мл воды или растаявшего снега, замерив предварительно общий объем пробы и pH. Отобранную пробу фильтруют через плотный фильтр "синяя лента". Фильтр с осадком подсушивают на воздухе, помещают в платиновый тигель, озоляют в муфеле при температуре $500-600^\circ\text{C}$ и далее проводят разложение пробы по способу, изложенному в разд. 2.7.

2.8.2. Определение растворенного бериллия

К 500 мл воды, отфильтрованной в химический стакан, прибавляют 2 мл концентрированной соляной кислоты и упаривают раствор на плитке до 50 мл. Далее выделяют бериллий по способам, описанным в разд. 2.1.1 или 2.1.2, и конечное его определение проводят по способам, изложенным в разд. 2.2.1 – 2.2.6.

2.9. Определение бериллия в машинном масле

Машинное масло, загрязненное соединениями бериллия, тщательно взбалтывают для получения равномерной суспензии, отбирают для анализа 1 мл этой суспензии и сжигают ее в фарфоровом тигле на электроплитке до черного остатка. Остаток сплавляют с $0,5 \text{ г}$ пиросульфата калия в муфеле при температуре 600°C до получения белого плава. Плав растворяют в 5 мл воды, подкисленной одной – двумя каплями концентрированной соляной кислоты, и нагревают. Далее проводят выделение бериллия по способам, изложенным в разд. 2.1.1 или 2.1.2, и конечное его определение по способам, изложенным в разд. 2.2.1 – 2.2.6.

2.10. Определение бериллия в смывах с растений

Для определения бериллия в смывах с поверхностей листьев растений отбирают 100 штук листьев (тополя, плодовых деревьев) среднего

размера в стеклянную банку или полиэтиленовый мешок. Общая площадь листьев должна быть примерно равна 1 м². Смыв производят 50 мл 5%-ного раствора соляной кислоты с помощью стеклянной палочки, конец которой обматывают небольшим слоем ваты. После окончания смыва ватный тампон отжимают. Далее анализ ведут по способам, описанным в разд. 2.1.1, 2.2.1 – 2.2.6.

2.11. Определение бериллия в растениях

Пробы растений высушивают до воздушно-сухого состояния, измельчают и тщательно перемешивают. Для анализа способом квартования берут навеску 10 г, заливают ее концентрированной азотной кислотой в стакане емкостью 0,5 л и осторожно нагревают при помешивании стеклянной палочкой до полного растворения пробы. Упаривают азотно-кислый раствор до небольшого объема, охлаждают пробу, приливают к ней 30 мл серной кислоты (1:1) и снова нагревают. Выпаривание пробы продолжают до удаления паров SO_3 , добавляя периодически концентрированную азотную кислоту для окисления органики. Если осадок коричневый, то обработку серной и азотной кислотами повторяют. Если осадок белый, то его еще раз смачивают небольшим количеством серной кислоты, выпаривают досуха и затем при нагревании растворяют в 5%-ном растворе соляной кислоты. Далее анализ ведут по способу, изложенному в разд. 2.7.

2.12. Определение бериллия в молоке

Один литр молока доводят до кипения и при интенсивном помешивании добавляют к нему 30 мл 10%-ного раствора хлористого кальция. Молоко створаживается. Содержимое стакана охлаждают, сыворотку сливают через два слоя марли, а творог отжимают и переносят в фарфоровую выпарительную чашку. Чашку ставят в холодный муфель, нагревая его до 100°C, выдерживают до тех пор, пока не прекратится дымление, затем повышают температуру еще на 50°C, снова ждут прекращения дымления и так далее, нагревая до 750°C. Время прокаливания 3–4 ч. Золу в фарфоровой чашке заливают 50 мл 2%-ной соляной кислоты и нагревают на электроплитке до полного растворения солей. Если в растворе присутствуют негорючие частички творога, то его фильтруют через фильтр "белая лента". Фильтр подсушивают, помещают в фарфоровый тигель, озоляют в муфеле при температуре 700–750°C, после охлаждения тигля остаток растворяют в 2%-ной соляной кислоте и присоединяют к основному раствору.

Фильтрат, помещенный в термостойкий стакан, упаривают до небольшого объема, добавляют к нему 20 мл серной кислоты (1:1) и продолжают нагревание на плитке до удаления паров SO_3 . Далее анализ ведут по способу, описанному в разд. 2.7.

2.13. Определение бериллия в биосредах и органах

Объем проб для анализа: кровь и желчь до 10 мл, кал 20 г из замеренного суточного количества, секционный материал 20 г. Пробы помещают в фарфоровые тигли, подсушивают на электроплитке покрытой асбестовой сеткой, заливают концентрированной азотной кислотой

и оставляют в вытяжном шкафу на ночь. Затем пробы выпаривают на плитке до образования рыжеватого минерализата, который озоляют в муфеле при температуре 600°C. Полученный остаток сплавляют в фарфоровых тиглях с пиросульфатом калия по способу, изложенному в разд. 2.3.2, бериллий выделяют экстракцией в виде ацетилацетонатного комплекса (см. разд. 2.1.1) и дальнейшее определение его проводят по способу, изложенному в разд. 2.2.2.

Из замеренного суточного количества мочи для анализа отбирают 500 мл, к нему добавляют 50 мл концентрированной азотной кислоты, после чего выпаривают в фарфоровой чашке на электроплитке досуха. Сухой остаток прокаливают в муфеле при температуре 600°C до побеления. Если остаток не побелел, то его вновь обрабатывают несколькими каплями концентрированной азотной кислоты и прокаливают в муфеле. Побелевший остаток сплавляют с пиросульфатом калия так же, как это описано в разд. 2.3.2. Дальнейшие операции аналогичны операциям, описанным в разд. 2.1.1 и т.д.

2.14. Экспресс-методы оценки содержания растворимых соединений бериллия в воздухе, на рабочих поверхностях и кожных покровах человека

Экспресс-методы основаны на капельно-колориметрическом исполнении реакции бериллия с хромазуолом S . Выбор хромазуола объясняется тем, что при его использовании отмечается наиболее резкое отличие в окраске самого реагента от его бериллиевого комплекса по сравнению с применением других красителей. Погрешность определения по экспрессным методам находится в пределах полупорядка. Реакция выполняется на фильтровальной бумаге. Для локализации пятна участок фильтра ограничивают парафиновым кольцом (для воздуха и поверхностей) или параллельными линиями (для кожи). Для этого на рабочий фильтр накладывают лист парафинированной бумаги и сверху прижимают разогретый металлический трафарет соответствующей формы.

2.14.1. Определение бериллия в воздухе

На фильтрах "синяя лента" готовят две стандартные шкалы: № 1 с содержанием бериллия 0–0,02–0,05–0,10–0,20–0,50–1,0 мкг в пятне и № 2 с содержанием бериллия 0–0,005–0,01–0,02–0,05–0,10 мкг в пятне. Для этого на бумагу внутри парафиновых колец наносят для шкалы № 1 0,01 мл 1%-ного раствора хромазуола S и после подсыхания 0,01 мл 5%-ного раствора трилона Б, для шкалы № 2 соответственно 0,01 мл 0,2%-ного раствора хромазуола S и 0,01 мл 1%-ного раствора трилона Б. После подсыхания на пятна наносят по 0,01 мл соответствующего стандартного раствора и по 0,01 мл буферного аммиачного раствора с $pH = 9,8 \div 10,0$ (1 M NH_4OH + 1 M NH_4Cl). Стандартные шкалы пригодны для употребления в течение месяца при хранении их в темном месте.

Для отбора пробы на бумажный фильтр "синяя лента" диаметром 70 мм наносят четыре парафиновых кольца. Внутри двух из них наносят по 0,01 мл 1%-ного раствора хромазуола S , а после подсыхания – по 0,01 мл 5%-ного раствора трилона Б, внутри двух оставшихся колец соответственно по 0,01 мл 0,2%-ного раствора хромазуола S и 0,01 мл

1%-ного раствора трилона Б. После высыхания фильтры готовы к употреблению. Срок их хранения — 6–7 сут.

Подготовленный фильтр закладывают в фильтродержатель и прокачивают через него воздух со скоростью не более 20 л/мин. После отбора пробы, если ожидается наличие в воздухе только водорастворимых соединений бериллия, на каждое пятно достаточно нанести по 0,01 мл аммиачного буферного раствора. В остальных случаях на каждое пятно наносят 2 раза по 0,01 мл 2%-ной соляной кислоты и после подсыхания наносят 0,01 мл буферного раствора. После высыхания сравнивают цвет реакционных пятен с цветом пятен стандартной шкалы. Минимально на площади пятна оценивается 0,02 мкг бериллия. При расчете необходимо учесть долю площади фильтра, занимаемую пятном.

2.14.2. Определение бериллия на рабочих поверхностях

Подготовка стандартной шкалы и фильтров для анализа аналогична подготовке, описанной в разд. 2.14.1; рабочие пятна можно готовить на фильтрах большего размера соответственно в большем количестве.

Для отбора пробы на горизонтальной поверхности с помощью кольцевого трафарета восковым карандашом ограничивают участок диаметром 10–12 см. На ограниченную поверхность пипеткой равномерно наносят 1 мл 2%-ного раствора соляной кислоты. Через 5 мин раствор собирают пипеткой (полнота отбора не требуется) и помещают в сухую мерную пробирку, отмечая его объем. На подготовленные фильтры наносят по 0,01 мл отобранного раствора и после подсыхания сравнивают цвет реакционных пятен с цветом пятен стандартной шкалы. При выходе окраски за пределы шкалы можно либо разбавить отобранный раствор 2%-ной соляной кислотой, либо повторить нанесение на то же пятно отобранного раствора (и затем буфера) еще до 4 раз.

2.14.3. Определение бериллия на кожных покровах

Бумагу готовят в виде полосок 1х4 см, внутри которых папиновыми полосами ограничивают рабочую поверхность 1х2 см. Для подготовки стандартной шкалы на чистой поверхности стекла или полиэтиленовой пленки трафаретом, смоченным штемпельной краской, отмечают квадраты площадью 2х2 см и внутри этих квадратов наносят реактивы: стандартный раствор бериллия — 0,01 мл; 0,1%-ный раствор хромазурола S — 0,01 мл; аммиачный буферный раствор — 0,01 мл. Чистой стеклянной палочкой реактивы растушевывают в пределах квадратов и тщательно промокают на среднюю часть подготовленной полоски фильтра.

Стандартную шкалу готовят с содержаниями бериллия 0–0,005–0,01–0,02–0,05–0,08–0,10 мкг; она сохраняет устойчивость в течение месяца при хранении ее в темном месте.

На тыльной стороне кисти или сгибаемой поверхности предплечья трафаретом, смоченным штемпельной краской, отмечают исследуемые участки кожи площадью 2х2 см. Если загрязнение обусловлено водорастворимыми соединениями бериллия, то на кожу наносят 0,01 мл дис-

тиллированной воды, 0,01 мл 0,1%-ного раствора хромазурола S и 0,01 мл буферного раствора. Острым концом стеклянной палочки растворы растушевывают в пределах отмеченного квадрата и промокают на среднюю часть подготовленной полоски бумаги.

В остальных случаях реактивы наносят в следующем порядке: 0,01 мл 2%-ного раствора соляной кислоты, 0,01 мл 0,1%-ного раствора хромазурола S, растушевывают их на коже; затем наносят 0,01 мл буферного раствора; повторяют растушевку и промокают на бумажную полоску. После высыхания цвет полос сравнивают с цветом аналогичных полос стандартной шкалы. Минимально оцениваемое количество 0,1 мкг/дм².

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБМЕН БЕРИЛЛИЯ В ОРГАНИЗМЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПУТЯХ ПОСТУПЛЕНИЯ

Особенности распределения и обмена бериллия при различных путях поступления имеют практическое значение, так как определяют соотношение между локализацией и характером развивающегося патологического процесса в зависимости от путей поступления металла в организм, его химической формы и количества. Эти сведения особенно важны для оценки потенциальной и реальной степени опасности попадания в организм бериллия в малом количестве, для разработки оптимальных методов терапии по выведению его из организма и профилактики поражений. Приводимые ниже данные являются обобщением основных экспериментальных исследований, выполненных с радиоактивным бериллием на различных видах животных, и немногочисленных клинических наблюдений.

3.1. Ингаляционный путь поступления

Наибольшее практическое значение имеют данные о кинетике накопления, распределения и выведения бериллия при ингаляционном (через органы дыхания) пути поступления его в организм. При длительной ингаляции сульфата и фторида бериллия (по 6 ч в течение 5 сут в неделю) основное количество бериллия у крыс обнаруживается в легких, трахеобронхиальных лимфатических узлах, скелете, печени и почках. При хронической ингаляции фторида бериллия его максимальная концентрация отмечается в лимфатических узлах, легких, костях, печени, селезенке и почках. В этих же органах у других видов млекопитающих также отмечена максимальная концентрация бериллия. Концентрация бериллия в органах и тканях возрастает с увеличением уровня и времени ингаляционного воздействия. С повышением концентрации сульфата бериллия в воздухе относительная величина отложения металла в печени, почках и костях возрастает, а в легких падает. Отмеченные различия в распределении бериллия, вероятно, объясняются тем, что с увеличением его концентрации относительно большая доля его переходит в коллоидальное состояние. У кроликов бериллий удаляется из легких с периодом полувыведения равным 23, у хомяков — 142 сут.

Труднорастворимые соединения бериллия, в частности окись бериллия, медленно удаляются из легких. Например, в легких крыс в течение 122 сут содержание бериллия остается практически таким же, как и после окончания семидневной ингаляции. Высокое содержание бериллия в легких сохраняется даже через два года после окончания ингаляции.

При этом отмечена более высокая концентрация бериллия в нижних долях легких и малая тенденция к перераспределению его из легких в другие ткани.

После однократной ингаляции окиси бериллия, прокаленной при температуре 1000°C, бериллий удалялся из легких с биологическим периодом полувыведения равным 180 сут. Содержание его в лимфатических узлах возрастало в течение 63 сут. В остальных органах и тканях бериллий не обнаруживался вследствие того, что прокаленная при высокой температуре окись бериллия плохо растворяется в биологических жидкостях организма.

При однократной ингаляции хлорида, сульфата и фторида бериллия в легких крыс задерживается от 13 до 17,5% металла. В желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) поступает от 27 до 47,2% вдыхаемого количества бериллия. Степень отложения бериллия в легких зависит от дисперсности аэрозолей.

Через 15 мин после ингаляции $^7\text{BeCl}_2$ и $^7\text{BeSO}_4$ без изотопного носителя основное количество нуклида, обнаруженного в органах и тканях (без учета ЖКТ), распределяется следующим образом: в легких — 84,8 и 87,2%, в скелете — 9,1 и 10,3%, в печени — 3,8 и 1,4%, в почках — 2,3 и 1,7% соответственно. При ингаляции $^7\text{BeCl}_2$ с изотопным носителем ($^9\text{BeCl}_2$) в легких содержится 95%, в скелете 2,9%, в печени и почках 0,8–1,3% бериллия. В более поздние сроки существенных различий в распределении ^7Be без носителя и совместно с ^9Be обнаружено не было. Отмечено лишь более медленное накопление бериллия в скелете при ингаляции ^7Be совместно с ^9Be . Основное количество бериллия, поступающего из легких в кровь, накапливается в скелете. При ингаляции хлорида ^7Be без изотопного носителя содержание его в скелете увеличивается к 32-м сут с 9,1 до 37,2%, а при ингаляции с изотопным носителем — с 2,9 до 24,8%. Снижение накопления бериллия в скелете отмечено и при ингаляции сульфата ^7Be с изотопным носителем.

Важным параметром для определения возможного токсического эффекта являются сведения о концентрации бериллия в отдельных органах и тканях (содержание в 1 г ткани). В течение длительного времени после ингаляции наиболее высокая концентрация бериллия обнаруживается в легких. Так, через 15 мин после ингаляции хлорида ^7Be без изотопного носителя и с носителем концентрация его в легких во много раз выше, чем в скелете, печени и почках. Даже через 32 сут после ингаляции хлорида бериллия без изотопного носителя концентрация его в легких по-прежнему в 11 раз выше, чем в скелете, и в сотни раз выше, чем в печени и почках.

Методом графической интерполяции установлены биологические периоды полувыведения (Т) бериллия из легких. При ингаляции хлорида ^7Be без изотопного носителя и с носителем 38 и 31% соответственно выводятся с $T_1 = 0,33$ сут, 10 и 32% — с $T_2 = 5,4$ сут и $T_3 = 4,5$ сут, 52 и 39% — с $T_3 = 40$ сут и $T_3 = 64$ сут. При ингаляции сульфата ^7Be без изотопного носителя и с носителем 17 и 18% выводятся с $T_1 = 0,33$ сут, 32% — с $T_2 = 3,3$ сут и $T_2 = 2$ сут, 28 и 31% — с $T_3 = 14$ сут и $T_3 = 17$ сут, 23 и 19% — с $T_4 = 120$ сут и $T_4 = 208$ сут. Динамика и скорость выведения зависят от вида соединения.

При ингаляции основное количество бериллия поступает в ЖКТ и в результате слабого всасывания из него (не более 0,2%) выделяется с

калом. Большой интерес представляют сведения о выделении бериллия с мочой, на основании которых можно судить о содержании его в организме в целом и в легких. Значительное количество бериллия выделяется с мочой в течение первых суток после ингаляции. Снижение его содержания в моче во времени происходит не так резко, как при внутривенном или интратрахеальном введении. Так, через 1, 2, 4, 8, 16 и 32 сут после ингаляции бериллия у крыс с мочой соответственно выводится 4,8; 2,3; 1,7; 1,1; 0,5 и 0,15% содержащегося в организме количества. Так как в течение длительного времени после ингаляции бериллий содержится в легких и скелете, из которого медленно выводится, а в печени и почках обнаруживается в незначительном количестве по сравнению с легкими, можно ожидать, что доля, содержащаяся в моче, является частью бериллия, удаляемого из легких.

3.2. Поступление через желудочно-кишечный тракт

В ЖКТ бериллий может поступать в результате заглатывания его из верхних дыхательных путей, с загрязненными пищевыми продуктами и водой, а также с загрязненными руками. Из ЖКТ бериллий всасывается в кровь и лимфу в крайне малом количестве: не более 0,2%. Небольшое всасывание объясняется тем, что даже растворимые соединения в щелочной среде кишечника образуют нерастворимые коллоиды.

Изотопный носитель ^9Be не оказывает влияния на величину всасывания ^7Be из ЖКТ. При введении в ЖКТ хлорида и сульфата ^7Be как без изотопного носителя, так и с носителем величина всасывания из кишечника составляет 0,14–0,23% введенного количества. При введении гидроокиси ^7Be без изотопного носителя и с носителем из ЖКТ всасывается 0,011–0,016%, а при введении окиси — не более 0,01% введенного количества. При пероральном, как и при внутривенном введении, основное количество бериллия, всосавшегося из ЖКТ в кровь, поступает в скелет, печень и почки и откладывается в них.

3.3. Поступление через кожу

При наличии металла в окружающей воздушной среде или контакте с загрязненными рабочими поверхностями и растворами определенное количество его может попадать на кожные покровы. Имеющиеся данные свидетельствуют о малом проникновении бериллия через неповрежденную кожу. Так, при нанесении на кожу $^7\text{BeCl}_2$ без носителя и с изотопным носителем в организм за 3 и 6 ч соответственно проникает 0,18 и 0,40%, 0,15 и 0,19% содержащегося на коже бериллия. Основная часть резорбированного металла обнаруживается в скелете, печени и почках.

Исследования на переживающей коже человека также подтвердили указанное положение: за 24 ч при нанесении различных растворимых соединений бериллия, даже в значительных концентрациях, в организм проникает не более 0,01%.

Сопоставление всех имеющихся данных позволяет прийти к заключению, что в реальных производственных условиях как при ограниченном, так и при общем загрязнении кожи резорбция бериллия не превышает 0,1% в 1 сут и не будет иметь значения для общего воздействия на организм. Однако в случаях воздействия в концентрациях, вызываю-

щих поражения кожи, проницаемость кожи резко возрастает и в организм может поступать значительное количество бериллия. Увеличение резорбируемой с кожных покровов части бериллия возрастает с повышением тяжести и объема поражения. Так, степень поражения и проникновения бериллия в кожу и через кожу зависела от вида соединения и возрастала при увеличении концентрации и продолжительности воздействия.

3.4. Внутримышечное введение

Распределение бериллия при внутримышечном введении в определенной мере имитирует его поведение при попадании в раны и ссадины. В различные сроки после внутримышечного введения хлорида бериллия основное количество резорбированного металла содержится в скелете и печени. В течение длительного времени увеличивается содержание его в скелете, мышцах и селезенке, что объясняется медленной резорбцией из места введения. Через 1 и 4 сут из места введения резорбируется 40,5 и 43,7%, через 16 сут – 58%, через 64 сут – 79,5% введенного бериллия. В отличие от хлорида и сульфата цитрат бериллия быстрее всасывается из мышечной ткани: через 1 сут в месте введения остается всего 12%.

Резорбированная доля бериллия при внутримышечном введении распределяется в организме так же, как и при внутривенном. Через 1 ч после введения сульфата, хлорида и гидроокиси ^7Be без носителя он обнаруживается в большинстве органов и тканей. Больше всего его содержится в скелете, почках, печени, крови и мышцах. При введении сульфата и хлорида бериллия в головном мозге, селезенке и сердце обнаружены десятые и сотые доли процента бериллия, а при введении в виде гидроокиси в мышцах, коже, головном мозге и сердце он не обнаруживается.

При введении ^7Be с изотопным носителем скорость всасывания его из места введения резко замедляется, о чем свидетельствует низкое содержание его в основных органах депонирования. Через 1 ч после введения сульфата и хлорида бериллия с изотопным носителем в количестве 0,015 мг в скелете соответственно содержится 1,6 и 2,0% введенного количества, при введении ^7Be без носителя – 42 и 20,4%. При введении ^7Be с носителем в крови и печени в эти же сроки содержатся десятые, а в селезенке и легких – сотые доли процента введенного количества. В головном мозге, мышцах и коже бериллий не определяется.

При внутримышечном введении гидроокиси с изотопным носителем в количестве 0,005 и 0,5 мг бериллий можно обнаружить в органах и тканях через 4 сут после введения. Больше всего металла содержится в скелете (2,8 и 0,66% соответственно), печени (0,63 и 0,16%) и почках (0,27 и 0,04%). Следует отметить, что основное количество гидроокиси ^7Be в течение длительного времени находится в месте введения. Так, через 64 сут после внутримышечного введения гидроокиси ^7Be с изотопным носителем в количестве 0,005 и 0,5 мг в месте введения соответственно обнаружено 56,1 и 90,5% введенного количества. Бериллий не определяется в органах и тканях крыс даже через 32 сут после введения водной взвеси ^7BeO . Через 64 и 128 сут отмечено незначительное накопление бериллия в скелете, равное соответственно 2,1 и 3,2% введенного количества. Через 128 сут в месте введения обнаруживается более 87% введенного бериллия.

3.5. Внутривенное введение

При попадании в кровяное русло в форме хлорида, сульфата, нитрата, гидроокиси и окиси бериллий быстро удаляется из крови. Так, из крови кроликов в течение 7 мин после введения удаляется 80% сульфата бериллия. Через 2 ч содержание его в крови составляет 2,5% введенного количества. У крыс через 2 ч после введения хлорида бериллия в крови обнаруживается 0,77% введенного количества. В течение последующих 10 сут содержание бериллия в крови остается практически постоянным (0,5–0,6%). В дальнейшем оно уменьшается, но остается достаточно высоким (0,21%) даже через 102 сут после введения. Изотопный носитель (^9Be) понижает скорость выведения растворимых соединений ^7Be из крови в ранние сроки после введения.

При введении гидроокиси ^7Be с изотопным носителем его можно обнаружить в крови только спустя 15 мин. При введении в виде окиси бериллий очень быстро покидает кровяное русло, и уже через 15 мин его не удастся обнаружить в крови.

Основное количество хлорида и сульфата бериллия накапливается в скелете и печени. В остальных органах и тканях бериллий обнаруживается в незначительном количестве. При введении бериллия в форме цитрата обнаружено незначительное отложение металла в печени и других мягких тканях и высокое накопление в скелете. Через 1 сут после внутривенного введения хлорида ^7Be (рН=2) без изотопного носителя и с носителем основное количество бериллия накапливается в скелете (43 и 53%), печени (3 и 4%) и селезенке (0,1 и 0,05% введенного количества). При введении изотопного носителя в количестве 1 мкмоль отложение в печени увеличивается до 25%, в селезенке – до 1% и соответственно снижается в скелете до 25%. Возраст животных не оказывает существенного влияния на распределение бериллия в органах и тканях.

Хлорид, сульфат, нитрат и гидроокись без изотопного носителя накапливаются в основном в скелете, печени и почках. Через 15 мин после введения хлорида бериллия без носителя в почках, печени, коже, мышцах, легких, селезенке, сердце и головном мозге содержится соответственно 15,0; 5,7; 14,8; 11,4; 1,0; 0,2; 0,3 и 0,05% введенного бериллия. Из кожи и мышц он выводится быстро, медленнее выводится из почек. Через 64 сут в почках обнаруживается 0,1%. Максимальное содержание (8,4%) бериллия в печени обнаруживается через 4 ч после введения. В дальнейшем содержание его падает и через 64 сут составляет 0,4%.

Значительная доля бериллия, поступающего из крови, органов и тканей, накапливается в скелете. Максимального содержания в скелете (54,5%) бериллий достигает через 4 ч после введения. В последующие 128 сут его содержание в скелете уменьшается незначительно. Биологический период полувыведения хлорида бериллия из скелета приблизительно равен 730 сут. При введении ^7Be с изотопным носителем количество металла, накопленного в печени, увеличивается и достигает максимального значения (18,2%) через 1 сут после введения, а содержание его в скелете снижается приблизительно в 2 раза. Изотопный носитель замедляет выведение бериллия из печени и почек.

Характер распределения ^7Be в органах и тканях крысы при введении его в форме сульфата и нитрата без изотопного носителя и с носителем практически такой же, как и характер распределения хлорида

Динамика распределения гидроокиси ^{90}Be без носителя в значительной мере напоминает поведение бериллия, наблюдаемое при введении весо-
мых количеств растворимых соединений — хлорида и нитрата. Через 15 мин после введения гидроокиси ^{90}Be без носителя отмечается высокое содержание бериллия в печени (12,9%) и скелете (25%). Изотопный носитель оказывает существенное влияние на ее распределение. Через 15 мин после введения основное количество бериллия обнаруживается в печени (72%), значительно меньшее — в легких (6,2%), селезенке (2,5%), скелете (0,8%), почках и крови (по 0,4%). Весомое количество бериллия довольно медленно выводится из печени. В скелете в течение всего периода наблюдения происходит накопление бериллия. Довольно высокое содержание его отмечено в селезенке.

При внутривенном введении ^{90}BeO основное количество металла обнаруживается в легких и печени. Через 15 мин после введения в легких обнаруживается 44,6%, а в печени — 31,7%. В скелете бериллий определяется лишь через 1 сут после введения. Бериллий очень медленно удаляется из легких и печени и медленно накапливается в скелете. Через 256 сут после введения в легких содержится 22,6%, в печени — 12%, в скелете — 15% введенного количества.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что распределение бериллия при внутривенном введении зависит от физико-химического состояния вводимого соединения. При введении растворимых соединений большая доля бериллия находится в плазме крови в ионной форме и накапливается преимущественно в скелете. С увеличением вводимого количества изотопного носителя уменьшается доля металла, способного к диффузии, и увеличивается количество коллоидальных частиц, избирательно откладывающихся в печени, селезенке и легких. Гидроокись поступает в кровь в виде гидроколлоидов, которые захватываются преимущественно ретикулоэндотелиальными клетками печени и селезенки. Окись бериллия, вводимая в кровь в виде отдельных нерастворимых частиц, задерживается в первую очередь в капиллярах легких, а также захватывается клетками ретикулоэндотелиальной системы.

Сведения о динамике выведения бериллия получены в опытах на животных при введении различных соединений бериллия. Основное количество бериллия выделяется с мочой в течение первых суток после внутривенного введения невесомых и весовых количеств сульфата бериллия. Изотопный носитель снижает выведение бериллия с мочой в течение первых суток и соответственно увеличивает выведение его с калом. У крыс суммарное выведение бериллия с мочой и калом в течение 7 сут после введения его без изотопного носителя и с носителем оказалось практически одинаковым.

Форма вводимой соли оказывает определенное влияние на скорость выведения металла из организма животного. В течение первых суток после введения хлорида бериллия выделяется от 33 до 47%, после введения гидроокиси — около 8% вводимого количества. В течение первых трех суток из организма крыс выводится 14,5% сульфата и до 67,4% цитрата бериллия. Быстрое выведение цитрата объясняется тем, что бериллий циркулирует в крови в ионной форме и откладывается в печени в незначительном количестве.

3.6. Переход от матери к плоду

Материалы экспериментальных исследований показывают, что при внутривенном введении хлорида бериллия в различные сроки беремен-

ности часть нуклида задерживается в плаценте, меньшее количество поступает в плод. При этом отмечено увеличение накопления металла в плаценте по мере развития беременности. Так, при введении хлорида на 7-е сут беременности в плаценте крыс, забитых спустя 3 сут, обнаружено 0,02%, а при введении на 15-е сут — 0,24% введенного количества. Эти данные свидетельствуют о том, что плацента выполняет роль барьера на пути проникновения бериллия в плод. Уровни накопления бериллия также зависят от срока беременности. При введении на 4-е и 19-е сут беременности содержание его в плоде составляло 0,09 и 0,8% введенного количества.

Имеются некоторые сведения о выведении бериллия с молоком коров. Так, за 3,5 сут после поступления в ЖКТ и внутривенного введения хлорида бериллия с молоком коров выделяется соответственно 0,002 и 1%. Максимальное содержание бериллия в 1 л молока обнаружено через 29 ч после поступления в ЖКТ (0,00005% введенного количества) и через 18 ч после внутривенного введения (0,028%).

Результаты немногочисленных экспериментальных исследований, а также единичные клинические наблюдения свидетельствуют о том, что в реальных условиях возможно проникновение бериллия в плаценту и плод, а от кормящей матери с грудным молоком к ребенку. Эти поступления будут значимы только при попадании бериллия в организм матери в количестве, превышающем установленное предельное содержание в организме.

Приведенные данные доказывают, что характер распределения и обмена бериллия зависит от путей поступления, вида соединения и его количества, а также от продолжительности воздействия. Эти основные параметры должны учитываться при оценке опасности поступления и последствий воздействия бериллия на человека в реальных условиях. По существу определяющим является ингаляционный путь, а все остальные имеют меньшее значение. Именно в связи с этим легочная патология является ведущей, хотя имеет место и поражение всех органов и систем.

Из изложенного видна неравномерность распределения бериллия в организме. Однако следует учитывать, что он содержится во всех органах и тканях, в том числе и в центральной нервной системе, так как проникает через гематоэнцефалический барьер. Спецификой является также тот факт, что бериллий свободно проникает в клетки всех тканей, содержится в микроструктурах клетки и ядра, а следовательно, способен оказывать непосредственное влияние и повреждающее действие на все структурные образования клетки.

4. ТОКСИКОЛОГИЯ БЕРИЛЛИЯ И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ

Бериллий является химическим элементом, обладающим высокой биологической активностью и токсичностью. Эти свойства металла определяются его химической активностью и проникающей способностью. Во всех соединениях, как растворимых, так и нерастворимых определяющее значение в биологическом действии имеет ион бериллия.

Бериллий и его соединения обладают поливалентным действием: общетоксическим, аллергическим, канцерогенным и эмбриогенным. Кроме того, для растворимых соединений в целом характерно первичное раздражающее действие. Все это определяет своеобразие развития и характера поражений, вызываемых бериллием.

4.1. Механизм токсического действия

Имеющиеся экспериментальные и клинические наблюдения свидетельствуют о сложном действии бериллия на организм. Определяющим и начальным является действие бериллия на ферменты и биохимические процессы на клеточном и субклеточном уровнях. В конечном счете развитие изменений и нарушений в организме прежде всего обусловлено конкурентными отношениями между эндогенными (присущими организму) и экзогенными (поступающими в организм) химическими веществами со сходной структурой. Это положение полностью относится к бериллию, при поступлении которого выше установленного предельного содержания в организме происходит нарушение сформировавшихся в организме биохимических процессов, что в конечном итоге отражается на функции и структуре клетки, органа и всего организма.

Бериллий нарушает различные стороны обменных процессов, вызывая торможение активности одних ферментов и, напротив, повышение активности других. Действие бериллия на ферменты обусловлено взаимодействием его с белковыми их компонентами, или с коферментом, сопровождающееся вытеснением магния, марганца или других микроэлементов, необходимых для деятельности ферментных систем. Так, бериллий снижает активность ряда ферментов, катализирующих энергетические процессы: фосфоглюкомутазы, эналазы, лактатдегидрогеназы, дегидрогеназы фосфоглицеринового альдегида, а также щелочной фосфатазы в легких, печени, почках, мышечной и костной тканях. Указанное действие бериллия обусловлено тем, что он в сотни-тысячи раз активнее, например, магния.

При воздействии бериллия наиболее выраженные и ранние нарушения наблюдаются со стороны белкового обмена, характеризующегося явлением диспротеинемии, которая проявляется в повышении фракции глобулинов и снижении альбумино-глобулинового коэффициента. Самые ранние изменения обусловлены снижением уровня альбуминов и повышением содержания альфа-глобулинов. Увеличение содержания гамма-глобулинов наблюдается в более поздние сроки развития заболевания. В ранние сроки развития бериллиоза при поступлении бериллия в большом количестве ускоряются процессы синтеза и расщепления белков легочной ткани. Наблюдаются качественные изменения белковых фракций сыворотки крови, характеризующиеся снижением содержания свободных сульфгидрильных групп. Эти изменения расцениваются как возможные структурные изменения белка.

В реализации и развитии токсического действия бериллия большое значение имеют индивидуальные особенности организма, в значительной степени определяющие характер и выраженность реакции и поражения. Однако, как и в отношении других химических веществ, для соединений бериллия прослеживается четкая зависимость поражения от уровней и продолжительности воздействия. Установлены также уровни, ниже которых не отмечено возникновения изменений в организме. Справедливость данного положения подтверждается также тем, что в повседневной жизни микроколичества бериллия поступают в организм с атмосферным воздухом и продуктами питания.

4.2. Зависимость токсичности от вида соединений и путей их поступления

Сведения о токсичности различных соединений бериллия при ингаляционном пути поступления или интратрахеальном введении при их

однократном воздействии весьма ограничены. При ингаляции растворимых соединений — фтористого и уксуснокислого бериллия — в течение 1 и 2 ч ЛК₅₀ для крыс и мышей равна соответственно 35 и 42 мг/м³ бериллия. Абсолютно смертельная концентрация (ЛК₁₀₀) для крыс и мышей при ингаляции фтористого и уксуснокислого бериллия соответственно равна 60 и 70 мг/м³. Эти данные свидетельствуют о том, что растворимые соединения следует классифицировать как чрезвычайно токсичные, к которым относят вещества с ЛК₅₀ ≤ 500 мг/м³.

Информация о токсичности других соединений бериллия при ингаляционном пути поступления отсутствует.

Результаты экспериментов с интратрахеальным введением также указывают на большую токсичность растворимых соединений бериллия в расчете на металл. При интратрахеальном введении крысам растворимых соединений — сульфата, фторокиси и фторида бериллия — минимально эффективные дозы, равные соответственно 1: 0,7 и 8 мг/кг, значительно ниже, чем при введении нерастворимых соединений — карбида бериллия (> 30 мг/кг), окиси бериллия (> 75 мг/кг) и металлического бериллия (> 200 мг/кг).

При энтеральном пути поступления растворимых соединений — хлорида, нитрата, сульфата и фторида бериллия — ЛД₅₀ оказались равными соответственно 56–92, 30, 22–82 и 20 мг/кг. При этом, несмотря на плохую резорбцию из ЖКТ, растворимые соединения бериллия следует относить к группе высокотоксичных веществ, у которых ЛД₅₀ по металлу находится в пределах 15–150 мг/кг. Данные о токсичности нерастворимых соединений при попадании их в ЖКТ отсутствуют. Однако, учитывая, что при внутрибрюшинном введении довольно значительных количеств окиси (ЛД₅₀ > 1000 мг/кг) и металлического бериллия (ЛД₅₀ > 500 мг/кг) гибели животных в острой стадии не наблюдается, можно предполагать, что при энтеральном пути поступления таких или даже больших количеств этих соединений будет наблюдаться эффект не выше указанного. На основании этого можно считать, что нерастворимые соединения, так же как и металлический бериллий, должны быть отнесены к классу умеренно- или малотоксичных соединений, у которых при энтеральном пути поступления ЛД₅₀ ≈ 151±1500 мг/кг или >1500 мг/кг.

При однократных поступлениях по другим путям растворимые соединения бериллия (хлорид, нитрат, сульфат, фторид, молочнокислый и уксуснокислый бериллий) также оказались токсичнее нерастворимых соединений (углекислый, карбид, окись, металлический бериллий). ЛД₅₀ для хлорида (0,14 мг/кг), нитрата (0,19 мг/кг), сульфата (0,15–0,53 мг/кг), фторида (0,23 мг/кг) и молочнокислого бериллия (0,34–0,53 мг/кг) при их внутривенном введении крысам оказались значительно ниже, чем ЛД₅₀ нерастворимых соединений — углекислого бериллия (> 500 мг/кг), окиси бериллия (> 1000 мг/кг) и металлического бериллия (> 500 мг/кг), вводившихся животным в брюшную полость.

Таким образом, токсичность бериллия зависит от путей поступления его соединений. Наиболее токсичны соединения бериллия, введенные внутривенно, наименее токсичны — поступившие по энтеральному пути. Меньшая токсичность соединений при введении через ЖКТ — следствие плохого всасывания их в нем. Незначительное различие ЛД₅₀ для хлорида, нитрата, сульфата, фторида и молочнокислого бериллия при внут-

ривенном введении свидетельствует о близкой химической токсичности различных растворимых соединений и указывает на ведущее значение ионизированного бериллия в токсикологическом эффекте. По сравнению с внутривенным введением при внутрибрюшинном введении хлорид бериллия в 4 раза, при подкожном — в 24 раза, через ЖКТ — в 400–615 раз менее токсичен. LD_{50} при внутривенном, внутрибрюшинном введении и поступлении через ЖКТ этого соединения соответственно равны 0,14; 0,56 и 56–86 мг/кг. При введении подкожном и через ЖКТ нитрат бериллия соответственно в 6–20 и 160 раз, сульфат бериллия соответственно в 4 и 160–228 раз, фторид бериллия соответственно в 11 и 57–87 раз оказались менее токсичными, чем при внутривенном введении. Меньшая токсичность растворимых соединений при введении внутрибрюшинном, подкожном и через ЖКТ — следствие медленной и неполной резорбции металла из депо.

По чувствительности к токсическому действию растворимых соединений бериллия мыши и крысы различаются мало: LD_{50} , как правило, практически одинаковы или весьма близкие.

4.3. Общая характеристика токсического действия

4.3.1. Ингаляционный путь поступления

В процессе профессиональной деятельности и повседневной жизни человека органы дыхания являются основным путем поступления бериллия в организм. Биологический эффект зависит от концентрации бериллия, ритма и длительности ингаляции, физико-химических свойств и дисперсности аэрозолей бериллия.

Ориентировочная информация о токсичности некоторых промышленных соединений может быть получена из результатов экспериментов с однократным интратрахеальным введением бериллия. Растворимые соединения при интратрахеальном введении токсичнее нерастворимых. Минимально летальные дозы для фторида, сульфата и фтороксида бериллия, металлического бериллия, окиси бериллия, карбида бериллия соответственно составляют: 8; 1; 0,7; > 200; > 75; 30 мг/кг металла. Токсичность окиси в значительной мере зависит от температурного режима способа ее получения или ее обработки. При введении окиси бериллия, полученной из гидроокиси бериллия при нагревании до температуры 500°C, в легких крыс развиваются множественные очаги пневмонита, утолщение межальвеолярных перегородок и фиброз. При введении окиси, прокаленной при температуре 1600°C, в легких выявляются лишь незначительные изменения.

При воздействии растворимых соединений в высоких концентрациях (10–64 мг/м³) у всех видов животных развивается острая и подострая интоксикация, приводящая к гибели значительной части животных. Наблюдаются развитие одышки, кашля, рвоты, слюнотечения, резкая потеря массы тела, судороги перед смертью. Все это сопровождается выраженными изменениями легких: ожог, острое воспаление, отек и кровоизлияние. Развиваются также кератит и конъюнктивит, изменяются белковые фракции и ферментные системы.

Данные о токсичности различных соединений бериллия при однократной, повторной и длительной ингаляциях позволяют оценить уров-

ни концентраций растворимых и нерастворимых соединений бериллия, вызывающих острое, подострое и хроническое течение интоксикации, выраженные и минимальные клинические нарушения.

При ингаляции растворимых соединений (хлорид, фторид, уксуснокислый бериллий) минимальные клинические нарушения развиваются при концентрации бериллия в воздухе $\leq 0,02$ мг/м³, при ингаляции прокаленной при температуре 1300–1400°C окиси — при концентрации $\leq 3,3$ мг/м³.

Отмечены видовые различия в чувствительности животных к сульфату и фториду бериллия. При ингаляции сульфата мыши и кролики оказались чувствительнее морских свинок и хомяков; при ингаляции фторида все симптомы поражения наиболее выражены у собак, менее — у кроликов, кошек и совсем незначительно у крыс.

При ингаляции одинакового количества (0,2 мг/м³) фосфата, сульфата и фторида бериллия по 6 ч в сутки в течение 10 и 7 сут было установлено, что фторид и сульфат токсичнее фосфата, а фторид токсичнее сульфата, если сравнивать эффективность их на суммарную массу ингалируемого вещества. При ингаляции фторида в концентрации 10 мг/м³ изменения в легких были такие же, как при ингаляции сульфата в концентрации 50 или 100 мг/м³. Однако различия в их токсичности отсутствуют при сопоставлении содержания бериллия в ингалируемом воздухе. При ингаляции фторида и сульфата бериллия в концентрациях 10 и 50 мг/м³ соответственно их количества в пересчете на металл оказались практически одинаковыми: 1,9 и 2,1 мг/м³ бериллия. Эти данные лишней раз указывают на ведущее значение бериллия в токсичности растворимых соединений.

Ранее указывалось, что при однократном введении растворимые соединения бериллия обладают более высокой токсичностью по сравнению с нерастворимыми. Об этом же свидетельствуют и результаты экспериментальных исследований с однократной или повторной ингаляцией. Так, при однократной двухчасовой ингаляции окиси бериллия в концентрации 75–375 мг/м³ у морских свинок симптомы отравления отсутствуют.

При одновременном однократном и повторном аэрогенном поступлении растворимых и нерастворимых соединений бериллия остротоксический эффект обусловлен действием растворимых соединений.

Биологическая эффективность соединений бериллия зависит в определенной мере от дисперсности ингалируемых аэрозолей. Общеизвестно, что крупнодисперсные аэрозоли задерживаются в верхних дыхательных путях, в трахее и крупных бронхах, откуда в результате деятельности мерцательного эпителия поступают в ЖКТ. С уменьшением размера частиц аэрозолей увеличивается глубина проникновения их в легкие. Частицы размером от 10 до 5 мкм задерживаются в основном на уровне носоглотки, а размером от 0,01 до 1 мкм оседают в глубоких отделах легких. Для растворимых соединений бериллия процентное соотношение в ингалируемом воздухе частиц, размер которых колеблется от 0,01 до 1 мкм, по-видимому, не имеет особого значения. В этом случае частицы находятся в ионизированном состоянии, достаточно глубоко проникают в легкие и будут вызывать неблагоприятное действие. Биологическая эффективность нерастворимых соединений бериллия будет увеличиваться с уменьшением размера частиц. Это обусловлено тем, что частицы малого размера обладают значительно большей суммарной поверхностью по сравнению с суммарной

поверхностью более крупных частиц. Кроме того, намного увеличивается и само число частиц, которые проникают практически во все участки легкого, вызывая более генерализованное поражение. Не исключено, что частицы субмикронного размера по своей биологической эффективности будут приближаться к аэрозолям, находящимся в ингалируемом воздухе в ионизированном состоянии.

4.3.2. Поступление через желудочно-кишечный тракт

Определенную практическую значимость имеют сведения о биологическом действии бериллия при длительном поступлении через ЖКТ, так как в ряде случаев вода и пищевые продукты могут быть основными источниками попадания бериллия в организм человека.

Содержание растворимых соединений бериллия в воде на уровне 1%, как правило, не вызывает поражения у крыс и мышей. Длительное поступление корма, содержащего 1,1–2% карбоната бериллия, вызывает у морских свинок поражение легких, полнокровие печени и почек. Отставание прироста массы тела, рахитоподобные изменения в скелете обнаруживаются у крыс при длительном поступлении металла (в течение 18–25 недель) с пищевыми продуктами, содержащими 3,3–5% сульфата бериллия.

Потребление с питьевой водой 2,5%-ного раствора сульфата бериллия вызывает снижение прироста массы тела и гибель части крыс через 6–13 мес. Потребление 1%-ного раствора сульфата бериллия в течение года не приводит к нарушениям в организме у крыс и мышей. У кроликов симптомы поражения отсутствуют при 10-кратном введении через день по 0,64 мг гидроокиси бериллия, а у крыс – при поступлении в течение 10 сут пищи, содержащей 10% металлического бериллия, или при поступлении в течение 33 сут пищи, содержащей 5% окиси металла.

При пероральном введении хлорида и сульфата бериллия в количестве 10 мг металла на 1 кг массы тела все крысы пали в течение 1 мес (отмечались явления бериллиевой интоксикации), при введении 5 мг/кг животные гибли в течение 1–1,5 мес, при введении 1 мг/кг погибали единичные животные. Введение 1–10 мг/кг бериллия вызывало некробиотические и некротические изменения во всех внутренних органах. При введении бериллия в количестве 0,01 мг/кг ранние изменения, развивающиеся, в первую очередь, в тонком кишечнике, печени и почках, характеризуются явлениями застоя и кровоизлияниями, за которыми следуют дегенеративно-дистрофические изменения. При ежедневном введении кроликам и крысам в течение 6 и 8,5 месяцев сульфата бериллия в количестве 0,001 и 0,0001 мг/кг соответственно отмечены нарушения эритропоэза в костном мозге, изменения красной крови и условнорефлекторной деятельности. Введение сульфата в количестве 0,00001 мг/кг таких изменений не вызывало. Патоморфологические исследования свидетельствуют о том, что длительное введение сульфата бериллия в количестве 0,00001–0,001 мг/кг не вызывает изменений со стороны внутренних органов. Соответственно ПДК для воды водоемов рекомендована 0,0002 мг бериллия на 1 л.

4.3.3. Поступление через кожу

При подкожном введении растворимого соединения в виде белкового комплекса он длительно задерживается в месте введения, где

развивается хронический воспалительный процесс. Симптомы острого отравления наблюдаются у животных также при введении нерастворимых соединений бериллия. При подкожном введении морским свинкам окиси бериллия в количестве 3 мг/кг в легких и печени развиваются явления гиперемии, отек с некротическими и дегенеративными изменениями клеток паренхимы. В почках такие изменения встречаются редко. При многократном (16–18 раз) подкожном введении 1–3 мл 1%-ного раствора нитрата бериллия у павших морских свинок обнаруживаются гиперемия легких, свежие кровоизлияния в альвеолах, кровенаполнение, некрозы в печени, селезенке, единичные случаи нефроза. Ежедневные повторные подкожные введения сульфата бериллия в количестве 0,5–1,0 мг/кг вызывают у кроликов фиброзные изменения в легких, печени, почках и селезенке, а также круглоклеточную инфильтрацию в печени, тяжелое повреждение почечных канальцев. При длительном ежедневном подкожном введении водной суспензии окиси бериллия (1:1000) у части кроликов развивается нарушение углеводного обмена, которое связано с повреждением печени. Через 40 сут от начала ежедневного подкожного введения окиси бериллия в количестве 5 мг/кг у морских свинок развивается гипохромная анемия.

Механизм действия бериллия при остром отравлении до сих пор точно не установлен. Однако принято считать, что при парентеральном введении в основном поражается печень. Имеются сведения и об опосредованном действии бериллия на обмен веществ в организме животного.

4.3.4. Внутривенное введение

При внутривенном введении крысам и кроликам абсолютно смертельного количества лактата и сульфата бериллия (0,5–0,75 мг/кг) в периферической крови увеличивается число гранулоцитов и снижается количество лимфоцитов, количественный состав эритроцитов не изменяется. У крыс и кроликов перед гибелью наблюдается незначительное снижение содержания сахара в крови. При внутривенном введении углекислого бериллия у крыс развивается гипогликемия, снижается содержание гликогена в печени и увеличивается уровень молочной кислоты в крови в результате нарушения функции печени, которая не успевает разрушать молочную кислоту, образующуюся при обычном цикле обмена веществ. Наряду с увеличением количества билирубина в крови животных перед их гибелью повышается содержание щелочной фосфатазы и в печени понижается уровень аргиназы.

После введения окиси бериллия у павших крыс обнаруживаются некроз печени, эпителия почечных канальцев, дегенеративные изменения в гематопозитической системе. Повреждение печени обусловлено поступлением в нее большого количества бериллия, накапливающегося в синусоидах в виде белкового комплекса. Из синусоидов бериллий проникает в печеночные клетки и вызывает некротические процессы в них. При микроскопическом исследовании после внутривенного введения сульфата бериллия в печени обнаруживаются облитерация синусоидов и кровоизлияния вокруг сосудов. В дальнейшем происходит повреждение купферовских клеток с последующей дегенерацией и образованием некрозов в паренхиматозной ткани. Купферовские клетки захватывают бериллий в течение 5 мин, а в паренхиматозных клетках он появляется приблизительно через 5 ч, что и является непосредственной причиной возникновения некрозов печени. Через 7 сут после внутривенного введения

водной суспензии мелкодисперсного металлического бериллия в количестве 40 мг пало более трети кроликов с развитыми симптомами острого отравления и некрозов печени. У крыс развитие некрозов в печени отмечено и после внутривенного введения углекислого бериллия и гидроокиси металла.

Степень повреждения почек не играет существенной роли в причине гибели животных. При гистологическом исследовании в почках найдены умеренно выраженные некрозы эпителия канальцев. О незначительном повреждении почек свидетельствуют данные, согласно которым при отравлении сульфатом бериллия содержание мочевины и остаточного азота в крови почти не увеличивается.

4.4. Канцерогенное действие

Опасность бериллия заключается также в том, что развитие заболевания может проявляться не только в период контакта с ним, но и спустя многие годы после прекращения его поступления в процессе производственной деятельности. Так, после прекращения длительной ингаляции и интратрахеального введения окиси бериллия, берилла, а также различных растворимых соединений в отдаленные сроки на фоне субъективного общего благополучия объективно существуют изменения в легких, характеризующиеся явлениями хронической пневмонии, утолщением междольковых перегородок, разрастанием соединительной ткани, развитием гранулем и фиброза.

На фоне этих изменений у животных как при однократном, так и при длительном поступлении металла развиваются доброкачественные и злокачественные опухоли легких. Преимущественно наблюдается развитие аденом, аденокарцином, бронхогенных, альвеолярных и плоскоклеточных раков. Значительно реже отмечается возникновение и развитие опухолей другой локализации, например остеосарком. Указанное канцерогенное действие бериллия выявлено в экспериментальных исследованиях на крысах, кроликах и обезьянах. Развитие опухолей наблюдалось при хроническом воздействии бериллия, содержащегося в воздухе в концентрации 0,04–0,6 мг/м³ и выше.

Несмотря на довольно существенные различия в общей токсичности растворимых и нерастворимых соединений бериллия, по бластомогенной активности они отличаются мало. Этот факт свидетельствует о том, что определяющее значение в развитии указанных изменений имеет бериллий и его воздействие на субклеточном уровне.

За прошедшие три десятилетия наблюдения за больными с различными формами легочного поражения и рабочими бериллиевых производств не выявили отчетливого увеличения частоты развития злокачественных новообразований, в том числе и рака легких. В течение последних пяти лет появились сообщения о развитии у некоторых больных бериллиозом в отдаленные сроки рака легких и других опухолей. Однако в настоящее время частота их возникновения весьма незначительна и не позволяет вынести заключение о том, что это связано с воздействием металла, а не является последствием хронического воспалительного процесса. Кроме того, все указанные изменения возникали у лиц, подвергавшихся воздействию бериллия, во много раз превышающему установленные безопасные концентрации.

4.5. Аллергическое действие

Высокая токсичность бериллия и его растворимых и нерастворимых соединений, в том числе мелкодисперсных порошков металла, его сплавов, керамики определяется их способностью sensibilizirovat' организм, в том числе организм человека. Sensibilizatsiya может наступить как при однократном, так и при длительном поступлении бериллия в организм в количестве, превышающем установленную ПДК.

Бериллий, как и многие химические вещества с малым удельным весом, в том числе металлы, сам не является аллергеном и не способен вызвать выработку антител. Являясь гаптеном, он приобретает антигенные свойства в организме после соединения с белковым носителем. Активность образовавшегося сложного антигена зависит от гаптана, его белкового носителя, а также прочности связи между ними. Чем прочнее связь, тем выраженнее аллергические свойства.

Один из путей sensibilizatsii сводится к следующему. Попадая в организм через поврежденную кожу, органы дыхания или пищеварения, ионы бериллия образуют комплексные антигены с сывороточными и тканевыми (цитоплазматическими, ядерными, митохондриальными) белками. Ответная реакция иммунной системы на эти антигены выражается продукцией антибериллиевых антител и появлением эффекторных лимфоцитов, выделяющих различные биологические факторы (лимфокины) и реализующих гиперчувствительность замедленного типа. Чувствительность к бериллию как к аллергену контролируется генами иммунного ответа и колеблется у разных индивидуумов в довольно широких пределах.

Возможны и другие пути развития sensibilizatsii. Так, антигенами могут являться белки, образовавшиеся в результате нарушенного белкового синтеза при воздействии бериллия. Например, в нуклеопро-теидах легких у крыс с экспериментальным бериллиозом отмечено появление как неспецифических, так и качественно новых антигенов.

Бериллий может быть причиной вторичных иммунологических изменений. Роль его сводится к высвобождению эндотоксинов – по-видимому, в виде нуклеопро-теидов – из поглотивших бериллий макрофагов. Бериллиозные антигены вызывают развитие аллергии смешанного типа с гуморальными и тканевыми антигенами.

При однократном или повторном аэрогенном поступлении высоких концентраций бериллия не исключено развитие различных механизмов образования антигена.

При гранулематозной форме бериллиоза, развивающейся, как правило, при ингаляции значительных концентраций нерастворимых соединений, отмечен высокий уровень антилегочных, антикардиальных и антипеченочных антител и выраженная кожная реакция на растворимые соединения бериллия. В этом случае возможно соединение бериллия с белком в результате быстрого проникновения растворенной части элемента в клетки.

При увеличении растворенной доли бериллия возможно токсическое проявление его действия, приводящее к нарушению белкового синтеза. Вследствие активной деятельности макрофагов и фагоцитирующих частиц окиси бериллия, а также значительной гибели макрофагов высвобождаются эндотоксины, могущие быть причиной вторичных иммунологических процессов. При медленно текущем бериллиозе с интерстициальным поражением легочной ткани, чаще наблюдаемом в процессе длитель-

ного воздействия относительно малых концентраций соединений бериллия, аутоаллергия не является ведущим фактором, а лишь сопутствует легочному процессу. В этом случае основная роль принадлежит, по-видимому, той части бериллия, которая длительно задерживается в структурах клеток.

Необходимо также учитывать факты, предрасполагающие к нарушению аутоиммунного гомеостаза (беременность, операция, тиреотоксикоз и т. п.), так как иммунная реакция на комплексные антигены, как правило, направлена не только против химической группы (гаптена), но и против аутобелка — носителя. Аутоиммунные процессы, осложняющие сенсibilизацию к бериллию, особенно значимы при вдыхании бериллийсодержащих продуктов, поскольку многие белки легких обладают антигенным сходством с белками других органов. В результате аутоиммунные процессы могут вызвать системные поражения всего организма. Кроме того, бериллий, проникая в ядро клеток, может нарушать синтез белков и способствовать появлению аномальных белков, воспринимаемых иммунной системой как чужеродные антигены.

Сказанное выше свидетельствует о том, что процессы сенсibilизации являются определяющими в развитии наиболее тяжелых легочных поражений — гранулематозной формы бериллиоза. Результаты клинических наблюдений последних лет убедительно показывают, что у этих больных имеют место не только легочные изменения, но и системное поражение всего организма. Доказательством тому служит обнаружение специфических гранул не только в легких и коже, но и во всех других органах.

Наличие выраженной аллергической реакции организма выявляется при постановке кожных тестов с растворимыми соединениями бериллия. В последние годы было также установлено и показано наличие антибериллиевых антител в реакции пассивной геммагглютинации или клеточной реакции — реакции торможения миграции лейкоцитов и реакции бластотрансформации лимфоцитов с сернокислым бериллием.

5. ГИГИЕНА ТРУДА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ И ОБРАБОТКЕ БЕРИЛЛИЯ И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ

При всех технологических процессах, связанных с получением бериллия и его соединений, а также с их дальнейшей обработкой, ведущим вредным производственным фактором являются аэрозоли бериллия или его соединений (а при некоторых производственных операциях также их пары и газы), выделяющиеся в воздушную среду рабочих помещений. Немаловажное значение также имеет загрязнение бериллием и его соединениями рабочих поверхностей, спецодежды и кожи работающих.

Другие вредные вещества (кислоты, щелочи, химические реагенты), загрязняющие воздух рабочих помещений, имеют второстепенное значение, хотя в определенных условиях и могут способствовать формированию бериллиевых поражений. Эти второстепенные производственные факторы химической природы в условиях бериллиевого производства, как правило, не имеют самостоятельного значения, поскольку уровень их ПДК значительно больше, чем у бериллия, и при проведении комплекса санитарно-технических оздоровительных мероприятий обыч-

но обеспечивается их содержание в воздухе заведомо ниже соответствующих предельно допустимых уровней (ПДУ).

Физические производственные факторы (шум, вибрация, микроклимат и т. п.) не имеют каких-либо особенностей, обусловленных спецификой бериллиевого производства. Их уровни и характер действия на работающих такие же, как на любом химико-металлургическом производстве с аналогичным аппаратно-технологическим оформлением и архитектурно-планировочными решениями рабочих помещений.

Таким образом, в производственных условиях предупреждение бериллиевых поражений персонала заключается в уменьшении поступления аэрозолей (паров или газов) бериллия и его соединений из технологического оборудования и других источников в воздух рабочих помещений, в исключении непосредственного контакта персонала с бериллийсодержащими технологическими продуктами и загрязненными рабочими поверхностями. Наряду с внедрением современного высокомеханизированного и автоматизированного оборудования важная роль в оздоровлении условий труда должна отводиться повышению общей культуры производства, точному соблюдению технологического регламента, правил и требований техники безопасности, своевременной и тщательной очистке от загрязнений рабочих поверхностей, оборудования и спецодежды.

5.1. Гигиена труда при получении бериллия

Промышленный процесс получения чистого бериллия разделяется на ряд последовательных этапов:

- обработка бериллиевого концентрата для придания ему реакционной способности;
- извлечение бериллия выщелачиванием и превращение его в сравнительно чистую гидроокись;
- превращение гидроокиси в галогенид бериллия;
- восстановление галогенида до металла;
- рафинирование металла.

На первом этапе получения бериллия происходит плавление бериллиевого концентрата с щелочными соединениями (фториды, карбонаты).

Для предупреждения загрязнения производственной среды смешение ингредиентов шихты должно производиться в закрытых смесителях, обеспеченных вытяжной вентиляцией. Подача ингредиентов шихты в смесители и загрузка печей должны производиться с помощью транспортеров по закрытым коммуникациям.

Шихта плавится в электродуговых печах при температуре 1200–1400°C. Плав сливается в гранулятор с холодной водой, где образуются гранулы. Планировка этого участка должна быть выполнена по трехзональной схеме. Управление всем технологическим процессом должно осуществляться из операторской зоны.

На этапе получения гидроокиси бериллия (гидрометаллургический передел) гранулы последовательно измельчаются, переводятся в сульфат бериллия, фильтруются, очищаются и обрабатываются аммиачными растворами. Из гидроокиси бериллия на следующем этапе в результате обработки плавиковой кислотой получается фторид бериллия, который после корректировки фтористым аммонием переводится во фторбериллат аммония (ФБА).

Загрязнение производственной среды на обоих последних этапах практически полностью исключается. Это обусловлено проведением всех реакций в растворах и качеством герметизации оборудования. На отдельных участках при протечках из фланцевых соединений, вентилей, при переливах пульпы и растворов из емкостей могут отмечаться повышенные концентрации аэрозолей бериллия и загрязнение поверхностей оборудования, пола, рабочих площадок. Эти загрязнения носят локальный характер, а при своевременной ликвидации протечек кратковременны. Возможными причинами загрязнения воздуха могут служить поступления аэрозолей из незакрытых проемов оборудования, взметывание пыли с загрязненных рабочих поверхностей, испарение бериллия из технологических растворов и т. п. В этих условиях общеобменная вентиляция должна быть рассчитана на своевременное удаление всех поступающих в воздух вредных веществ.

Этап металлургического передела завершается получением слитков чистого бериллия. На этом этапе происходит разложение ФБА до фторида бериллия и восстановление его до чистого металла.

Разложение ФБА начинается уже при температуре 1250°C. В промышленных условиях нагревание производится до 900–1100°C в индукционных печах с графитовым тиглем. Восстановление фторида бериллия происходит обычно в результате его реакции с магнием. Реакция начинается при температуре 900°C, но для разделения продуктов реакции температура повышается до 1300°C.

При разложении ФБА воздушная среда загрязняется фторидами аммония и бериллия. При восстановлении фтористого бериллия выделяются аэрозоли, пары и газы, содержащие бериллий, его окись и фторокись.

Трехзональная планировка при размещении производственного оборудования — главное мероприятие в создании безопасных условий труда. При этом каждая печь или установка, в которой происходит высокотемпературный процесс при металлургическом переделе, должна быть размещена в изолированном помещении — каньоне. Это позволяет выполнять в каждой печи свои технологические операции независимо от других. Доступ в каньон необходимо предусматривать только из ремонтно-транспортной зоны. Все производственные операции должны быть автоматизированы и механизированы. Управлять процессом следует из операторской зоны. Для исключения возможности загрязнения воздуха при транспортировке сырья и готовой продукции эти операции также должны быть механизированы. Транспортировать сырье и готовую продукцию необходимо по герметическим коммуникациям (ленточные транспортеры или вибротранспортеры).

Для исключения возможности загрязнения воздуха в ремонтно-транспортной и операторской зонах в каньонах следует предусматривать вытяжную вентиляцию, рассчитанную не только на борьбу с теплоизбытками, но и на удаление того количества аэрозолей, которое образуется при ведении технологического процесса. Правильно организованная вентиляция должна создавать такое разрежение в каньоне, которое исключает поступление аэрозолей в транспортную зону.

Последний этап получения бериллия — очистка от примесей — заключается в переплавке его в герметичных вакуумных печах. На этой стадии загрязнение воздуха рабочих помещений возможно только при загрузке и выгрузке печей, а также при механической зачистке внутренних поверхностей печей. В этих печах происходит высокотемпературный процесс, поэтому к ним следует предъявлять те же требования, что и к

печах восстановления и разложения (трехзональная планировка, автоматизация и механизация технологического процесса, дистанционное управление операциями). Эти меры значительно сокращают время пребывания в зоне размещения оборудования обслуживающего персонала, а следовательно, и воздействие на него аэрозолей и паров бериллия.

Существенным источником возникновения аэрозолей бериллия являются процессы, связанные с механическим воздействием на слитки металла (очистка от шлака, дробление брака и т.п.). Для локализации выделяющихся при этих операциях аэрозолей должны быть устроены боксы или камеры, оборудованные эффективной вентиляцией.

Таким образом, в ходе получения бериллия при переходе от одного этапа к другому возрастает степень опасности загрязнения производственной среды, поэтому все в большей степени увеличивается потребность в локализации вредных выделений. Решение этой задачи обеспечивается трехзональной планировкой рабочих помещений, размещением оборудования, являющегося наиболее интенсивным источником загрязнения, в отдельных каньонах или камерах, автоматизацией и механизацией производственных процессов, дистанционным управлением технологическими операциями.

5.2. Гигиена труда при технологических процессах порошковой металлургии бериллия

Литой бериллий имеет крупнодисперсную структуру, что определяет его хрупкость. Для получения заготовок с мелкозернистой структурой используют методы порошковой металлургии. Сырьем для получения порошка служат куски дистиллированного бериллия и стружка его механической обработки.

Дистилляция бериллия повторяет в общих чертах операцию переплавки бериллия, но проводится при более глубоком вакууме. Общность технологии определяет и общий подход к санитарно-гигиеническому обеспечению условий труда.

Получение порошка проходит в три этапа. На первом куски бериллия дробятся под прессом и измельчаются в шаровых мельницах мокрого помола. Дробление бериллия сопровождается значительным пылевыведением. Для предупреждения загрязнения производственной среды presses дробления должны быть размещены в изолированных боксах или камерах, о которых говорилось выше. Шаровые мельницы мокрого помола, хотя и не ведут к такому же загрязнению, как presses, но также должны быть размещены в отдельном помещении. Это оборудование (мельницы) нуждается в изоляции не только как источник аэрозолей, но и как источник значительного шума.

Измельченный бериллий выщелачивается в реакторах этилендиаминтетрауксусной кислотой, промывается дистиллированной водой и сушится в вибросушилках. Склонность бериллия к образованию окислов в присутствии кислорода воздуха ведет к необходимости измельчения его в среде инертного газа (аргон, азот).

Оптимальное размещение оборудования для получения порошка — каскадное. Это позволяет сырью проходить все этапы измельчения самоотеком, под действием силы тяжести.

Сырье поступает в приемный бункер, расположенный над истирателем, плиты которого футерованы бериллием. Измельченный материал

попадает на классификатор, в качестве которого может быть вибросито. Кондиционные частицы, прошедшие через вибросито, собираются в контейнер для использования на последующих операциях, а остальные возвращаются на повторное истирание. Инертный газ, заполняющий всю систему, находится под давлением, превышающим атмосферное. Это обуславливает непрерывное выделение аэрозолей бериллия из системы, в связи с чем наряду с тщательной герметизацией всей системы и трехзональной планировкой необходимо устраивать местные отсосы от узлов наиболее вероятного выделения аэрозолей: сальники, разъемы и т.п. Все управление процессом должно осуществляться из операторской зоны.

В качестве мельчителя могут быть использованы ударно-вихревые мельницы, в которых измельчение происходит при соударении частиц друг с другом и с твердой преградой при вихревом движении измельчаемого материала. В отличие от истирателей мельницы почти не требуют регулировки во время работы.

При работе виброоборудования могут возникать неблагоприятные санитарные условия. Размещение этого оборудования в герметичных боксах или камерах, обеспеченных достаточно мощной вентиляцией, создает безопасные условия труда для обслуживающего персонала. Особого внимания требует санитарно-техническое обеспечение смены ситовых полотен вибросит. При этой операции неизбежен тесный контакт персонала с оборудованием, загрязненным мелкодисперсным порошком, и воздействие на него больших концентраций аэрозолей бериллия. Определенную роль в оздоровлении условий труда может сыграть использование передвижной фильтровентиляционной установки, размещаемой возле вскрываемого вибратора. В меньшей степени такой же эффект может быть получен при постоянной работе системы пневмоотсосов, с помощью которых производится очистка рабочих поверхностей от бериллия.

Исключение из процесса ситовой классификации может в значительной степени оздоровить производственную среду. При бесситовой классификации разделение порошка происходит в аппаратах типа "Циклон".

5.3. Гигиена труда при работе с растворимыми соединениями бериллия

Неблагоприятное воздействие растворимых соединений бериллия на персонал связано как с непосредственным его контактом с бериллийсодержащими растворами, загрязненными рабочими поверхностями и спецодеждой, так и с загрязнением воздуха рабочих помещений аэрозолями и парами бериллиевых соединений.

Во время работы с растворами образование аэрозолей происходит при переливании, перемешивании (в особенности при барботаже) и выпаривании. Некоторые соединения бериллия (галогениды, ацетаты и т.п.) летучи и могут переходить в воздух в виде паров с последующей конденсацией в аэрозоли. Высохший раствор, попавший на поверхность, также может быть источником образования аэрозолей при различных воздействиях на загрязненную поверхность.

В лабораторных условиях процессы, связанные с перемешиванием, нагреванием растворов или проведением химических реакций, при которых выделяются пар и газы, представляют существенную опасность в

отношении загрязнения бериллием воздушной среды. Все такие операции должны проводиться в вытяжных шкафах или боксах, обеспеченных вытяжной вентиляцией со скоростью движения воздуха в рабочем проеме не менее 1,0 м/с и разрежением не менее 200 мм вод. ст.

В промышленных условиях оборудование, при работе которого могут создаваться условия для выделения аэрозолей, должно размещаться в помещениях, находящихся под разрежением не менее 5 мм вод. ст., обеспечиваемым работой вытяжной вентиляции.

При работе с растворимыми соединениями бериллия особое значение имеет профилактика поражений кожи и слизистых, основным направлением в которой является предотвращение непосредственного контакта персонала с растворами, содержащими соединения бериллия, путем автоматизации и механизации производственного процесса и дистанционного управления технологическим оборудованием. Наряду с этим необходима защита кожных покровов и слизистых от попадания на них растворов. Обеспечение защиты реализуется предоставлением персоналу комплекта спецодежды в соответствии с требованиями техники безопасности. При определении необходимого комплекта спецодежды учитываются объем работ, степень возможного контакта с бериллийсодержащими растворами и их агрессивность.

Особые требования должны предъявляться к отделке помещений. В лабораториях и на рабочих участках, где используются и хранятся соединения бериллия, во избежание накопления загрязнения на поверхностях конструкций и образования вторичного источника выделения аэрозолей в отделке помещений следует применять легкомоющиеся, некоррозирующие, гладкие материалы, слабо сорбирующие загрязнение. Эти помещения должны быть обеспечены уборочным инвентарем и средствами очистки рабочих поверхностей.

5.4. Гигиена труда при работе с нерастворимыми соединениями бериллия

При работе с нерастворимыми соединениями бериллия особую опасность представляют их аэрозоли. Наиболее интенсивная генерация аэрозолей отмечается при ведении высокотемпературных процессов. Механизм образования аэрозолей в этом случае связан с испарением вещества, коррозией и разрушением поверхностных слоев металла при нагревании.

Для предохранения персонала от вредного воздействия бериллия следует принять меры к улавливанию аэрозолей в местах их образования. При ведении стационарных процессов (плавка, разложение и т.п.) необходимо строгое соблюдение трехзональной системы размещения оборудования. Наиболее эффективным мероприятием по снижению загрязнения воздуха бериллием является переход на плавку в вакуумных печах.

Наряду с образованием аэрозолей при плавке, которое может рассматриваться как первичное, определенную роль играют вторичные источники, такие, как использованные тигли, изложницы и другое загрязненное бериллием оборудование и инвентарь.

Как уже отмечалось ранее, основным способом получения изделий из бериллия являются методы порошковой металлургии. Широкое распространение нашло горячее прессование. В зависимости от оборудо-

вания и требований, предъявляемых к продукции, исходное сырье — порошок металла — загружается в графитовые пресс-формы или в бункер, откуда происходит автоматическое наполнение пресс-форм. Высокая дисперсность порошков создает большие трудности при герметизации помещений и боксов, в которых обычно размещается оборудование горячего прессования. Предупреждению распространения аэрозолей за пределы участка горячего прессования необходимо уделять особое внимание, так как в противном случае может произойти загрязнение воздушной среды соседних помещений.

В процессе прессования на поверхности графитовых форм происходит кумуляция некоторого количества порошка. Ввиду специфических структурных свойств графита независимо от способа эффективность очистки сравнительно низка. Пресс-формы в период их хранения являются источником выделения аэрозолей. Интенсивность выделения аэрозолей близка к $0,3 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} / \text{ч}$. В процессе хранения пресс-форм эта величина изменяется очень медленно. Отсюда становится понятной необходимость наличия укрытий, обеспеченных вытяжной вентиляцией, для хранения отработанных пресс-форм.

В зависимости от используемого метода прессования могут быть получены готовые изделия или заготовки. В этом случае заключительной операцией является механическая обработка. При механической обработке загрязнение воздушной среды обусловлено степенью точности работ и классом чистоты отделки продукции. При грубой обработке образуется относительно большое количество крупнодисперсных аэрозолей. При повышении степени точности и класса чистоты отделки, при доводочных операциях с уменьшением расхода металла растет доля мелкодисперсной фазы аэрозолей. Уменьшение размера частиц аэрозолей способствует их более глубокому проникновению вглубь по дыхательному тракту. Например, если аэрозоли с частицами размером более 10 мкм задерживаются в носоглоточной области (8%) и в трахеобронхиальном отделе (72%), а в альвеолярный отдел не проникают, то 12% аэрозолей с частицами размером менее $1,5 \text{ мкм}$ задерживаются в альвеолярном отделе и совсем не задерживаются в носоглотке.

Отсюда логически вытекает необходимость более строгого подхода к заключительному этапу обработки изделий. Это вызывает необходимость конструирования различных типов укрытий и отсосов. Так, имеются укрытия, в которые помещают весь металлообрабатывающий станок. Такое укрытие может быть использовано только для станков небольшого размера, у которых расстояние от обрабатываемой поверхности детали до глаза станочника с учетом наличия укрытия не будет превышать 30–50 см. Кроме того, при повышении степени точности растет потребность в контроле чистоты и качества, ведущая к учащению замеров деталей, что, в свою очередь, требует регулярного открывания укрытий, и, следовательно, нарушения герметичности.

В настоящее время в практике металлообработки широкое распространение получили частичные укрытия обрабатываемых деталей (кожухи, щитки и т. п.) и местные вентиляционные отсосы для удаления аэрозолей непосредственно от режущего инструмента (резца, фрезы, сверла и т. п.). Для повышения эффективности местной вытяжной вентиляции целесообразно использование сменных всасывающих насадок. Форма и размер насадок должны обеспечивать наиболее полный захват аэрозольных частиц, образующихся при работе инструмента. Благоприятный

результат обеспечивается применением охлаждающих жидкостей (эмульсий), которые должны захватывать частицы металла.

При шлифовании и полировании возможно загрязнение производственной среды преимущественно мелкодисперсными аэрозолями. В этом случае совершенно недопустима сухая обработка поверхностей. При использовании эмульсий аэрозольного загрязнения воздуха рабочих помещений практически не происходит. Однако необходимо следить за предупреждением разбрызгивания отработанного раствора.

Отработанные эмульсии следует собирать в герметичные емкости. Если невозможно извлечение находящегося в эмульсии бериллия, то захоронение эмульсии должно осуществляться с соблюдением правил захоронения бериллийсодержащих отходов.

Таким образом, при работе отдельных станков или единиц оборудования основную роль в создании благоприятных условий труда играет механическая вентиляция. Если выделение аэрозолей происходит локально, то первое место должно принадлежать местной вытяжной вентиляции, а вытяжная вентиляция в этом случае выполняет подсобную функцию. В случае рассредоточенного расположения источников загрязнения производственной среды при невозможности полной локализации аэрозолей с помощью местной вентиляции основная нагрузка ложится на общеобменную вентиляцию. При этом необходимо учитывать, что хранение и транспортировка изделий из бериллия, очищенных от поверхностного загрязнения, не ведут к сколько-нибудь заметному повышению концентрации бериллия в помещении, а поэтому такие изделия не должны рассматриваться как потенциальные источники образования аэрозолей бериллия.

5.5. Методы, объем и периодичность контроля условий труда при работе с бериллием

Задачами санитарно-гигиенического контроля условий труда являются оценка степени загрязненности объектов производственной среды (воздух, поверхности), средств индивидуальной защиты (СИЗ) и кожных покровов работающих по сравнению с соответствующими допустимыми уровнями, а также оценка эффективности санитарно-технических и других мероприятий, направленных на уменьшение вредного воздействия производственных факторов на персонал.

Различают два вида контроля условий труда — планово-периодический и инспекционный. Планово-периодический контроль осуществляется предприятием силами соответствующей службы отдела техники безопасности. Он проводится в соответствии с годовым планом, предусматривающим необходимый объем и периодичность контроля.

Инспекционный контроль осуществляется силами промышленной санитарной лаборатории санитарно-эпидемиологической станции (СЭС), обслуживающей предприятие. Он проводится для уточнения санитарно-гигиенической обстановки на отдельных производственных участках и рабочих местах в целях оценки эффективности планово-периодического контроля. Объем и периодичность инспекционного контроля планируются с учетом данных планово-периодического контроля и результатов медицинского наблюдения за состоянием здоровья персонала.

При работе с бериллием и его соединениями обязательному контролю подлежат: воздух рабочих, бытовых и других вспомогательных помещений, поверхности оборудования, стен, полов и других конструктивных

ных элементов помещений, спецодежда, дополнительные СИЗ (кроме СИЗ разового пользования), кожные покровы персонала.

Контроль воздуха рабочих помещений проводится в целях своевременного принятия мер при обнаружении повышенной концентрации вредных аэрозолей или планирования мероприятий по улучшению условий труда.

Для отбора проб аэрозолей при планово-периодическом контроле оборудуется стационарный пост, располагаемый на уровне дыхания в такой точке помещения, где можно выявить характерное изменение концентрации аэрозолей в данном помещении. При выборе точек отбора следует избегать участков, на которые может оказывать влияние воздух соседних помещений, а также участков, где возможно образование застойных, непрветриваемых зон. Продолжительность отбора пробы должна соответствовать периоду возможного колебания концентрации аэрозолей (продолжительность технологической операции, смены и т. д.).

Отбор проб аэрозолей проводится на фильтры ФПП. В качестве побудителя тяги при отборе проб на стационарных постах удобно использовать вакуумную систему.

В соответствии с требованием ГОСТ 12.1.005-76 "Воздух рабочей зоны — общие санитарно-гигиенические требования" отбор проб при планово-периодическом контроле должен проводиться ежесменно.

При оценке эффективности технических мероприятий по снижению концентрации аэрозолей в воздухе рабочих помещений пробы отбирают на рабочем месте или в зоне обслуживания оборудования на уровне дыхания.

Время отбора и скорость аспирации выбираются такими, чтобы на фильтре могло накопиться достаточное для уверенного определения количество бериллия. Пробы отбирают на фильтры ФПП, укрепленные в фильтродержателе. В качестве аспиратора могут использоваться любые побудители тяги с достаточной производительностью (например, аспиратор типа ПРУ). По окончании отбора фильтр должен быть помещен в транспортную кассету.

При оценке эффективности санитарно-технических мероприятий и конкретизации санитарной обстановки должно быть отобрано последовательно некоторое количество проб. Число последовательно отобранных проб n может быть определено по формуле $n = 2^m - 1$, где m — показатель надежности.

Показатель надежности выражает число последовательных проб с результатом не выше заданного (например, средняя концентрация аэрозолей до проведения оцениваемого санитарно-технического мероприятия). Показатель надежности определяют опытным путем с учетом конкретных условий труда и технологического процесса. В основе определения этого показателя должны лежать сведения о характере изменения концентраций аэрозолей: чем чаще возможно изменение концентрации, тем выше должен быть показатель надежности. Обычно коэффициент надежности колеблется в пределах 2—4.

Для получения надежных результатов одновременно должно быть отобрано несколько проб (серия). Размещение и количество точек отбора определяются конкретной задачей исследования. При отборе в каждой серии по одной пробе оценка результата исследования не представляет сложности. В случае отбора нескольких проб одновременно могут возникать осложнения, связанные с отнесением серии в группу проб,

превышающих или не превышающих заданную величину. Здесь возможны следующие ситуации: все пробы превышают (не превышают) заданную величину или часть проб превышает (не превышает) заданную величину. Оценка первой ситуации в принципе ничем не отличается от оценки второй ситуации, при которой серия может быть отнесена к не превышающей заданную величину только в том случае, если средняя концентрация аэрозолей в этой серии статистически достоверно ниже заданной величины.

В зависимости от назначения рабочих помещений при контроле загрязнения рабочих поверхностей после генеральной уборки определяют качество отмывки поверхностей оборудования и ограждающих конструкций и оценивают санитарное состояние. В обоих случаях плотность загрязнения (масса загрязняющего вещества на единицу площади) не должна превышать ПДУ. Цель контроля — предупреждение загрязнения воздуха рабочих помещений за счет редисперсии поверхностного загрязнения и снижения уровней загрязнения спецодежды и кожных покровов персонала, обусловленных непосредственным контактом персонала с загрязненными поверхностями.

Загрязненность поверхностей определяют методом мазков. Необходимые материалы и оборудование для взятия мазков следующие: ватные тампоны массой 0,2—0,3 г, 1—2%-ный раствор соляной кислоты, пинцет, трафарет известной площади, полиэтиленовые маркированные конверты, блокнот, карандаш.

На контролируемую поверхность накладывают трафарет. Пробу отбирают путем протирания ограниченной трафаретом поверхности последовательно тремя тампонами, из которых первые два смочены раствором соляной кислоты, а третий сухой. Каждый тампон после использования складывают загрязненной поверхностью внутрь и помещают в один полиэтиленовый конверт. Эффективность снятия загрязнения данным способом приближается к 60—70% на уровне допустимой плотности загрязнения. Точки отбора проб выбирают на наиболее загрязняемых участках. На каждой такой точке должно быть отобрано не менее трех проб.

Цель контроля качества стирки спецодежды — оценка степени загрязнения спецодежды и эффективности ее очистки для своевременного устранения опасности, возникающей при контакте кожных покровов с загрязненной спецодеждой. Контроль подпадает каждая партия спецодежды. Контроль может осуществляться одним из трех методов или их комбинацией: по содержанию бериллия в промывной воде, методом вакуумирования, капельным экспресс-методом.

Контроль качества стирки спецодежды по содержанию бериллия в промывной воде после последнего полоскания основан на предположении, что содержание бериллия в промывной воде соответствует количеству бериллия, оставшемуся на поверхности одежды. Имеется возможность быстрого определения бериллия в промывной воде сразу после окончания стирки, не вынимая одежды из машины, с помощью прибора типа "Анализ".

Метод вакуумирования достаточно точно отражает степень загрязнения спецодежды, но не дает полного представления об истинном содержании бериллия в ткани. При отборе пробы в качестве пылевсасывающего устройства используют бытовой пылесос, обеспечивающий скорость движения воздуха в сечении насадки не менее 5 м/с. Участок спецодежды, подлежащий контролю, закрепляют на специальной рамке. Ва-

куумирование производят в течение 30 с. Загрязнение спецодежды оценивается по количеству определенного на фильтре бериллия, приходящегося на 1 см² спецодежды. Достоинство метода — в быстроте взятия пробы и в возможности отбора проб с любого участка спецодежды независимо от материала; недостаток — длительность определения бериллия в фильтре. Поэтому метод вакуумирования может служить только для корректировки предыдущего.

Капельный экспресс-метод позволяет определять содержание бериллия во всей толще ткани. К недостаткам метода можно отнести невозможность проведения реакции на окрашенных тканях.

Цель контроля загрязненности кожных покровов — оценка эффективности отмытки кожных покровов в душе. В связи с этим контроль должен быть организован в гардеробной домашней одежды. Для сокращения объема контроля достаточно определить остаточное загрязнение на ладонях.

Контроль можно производить двумя способами: с предварительным отбором проб загрязнения методом мазков и с помощью капельного экспресс-метода. Первый способ, техника исполнения которого описана выше, позволяет в короткое время отобрать значительное число проб. Однако он недостаточно оперативен. На проведение контроля капельным экспресс-методом требуется 5–7 мин, что позволяет принимать своевременные меры по повышению качества отмытки кожных покровов. При обследовании желательно, чтобы весь персонал, имевший контакт с бериллием, прошел этот контроль.

Периодичность контроля в конечном счете определяет степень информированности контролируемых органов о санитарном состоянии контролируемых объектов.

Ориентировочно можно рекомендовать следующую периодичность контроля:

- контроль производственной атмосферы — ежесменно;
- контроль состояния рабочих поверхностей;
 - в рабочих помещениях (полы, стены, оборудование) — 1 раз в месяц после выполнения генеральной уборки;
 - в административно-бытовых помещениях — 1 раз в месяц;
- контроль качества стирки спецодежды — ежесменно, каждую партию;
- контроль загрязненности кожных покровов — 1 раз в квартал.

При планировании планово-периодического контроля необходимо принимать во внимание, что контролируемые участки, санитарное состояние которых по каким-либо причинам является неустойчивым, должны подвергаться более частому контролю. При достижении более устойчивого санитарного состояния (отсутствие превышений ПДК или ПДУ в течение года) и при постоянном, неизменяемом технологическом процессе частота контроля может быть сокращена.

Санитарное состояние контролируемых объектов может быть оценено как удовлетворительное при условии, что не будут превышены ПДУ и ПДК бериллия, приводимые ниже.

ПДК бериллия в воздухе рабочих помещений составляет $1 \cdot 10^{-3}$ мг/м³, в атмосферном воздухе в качестве контрольной величины можно использовать $1 \cdot 10^{-5}$ мг/м³. ПДУ загрязнения полов и стен устанавливают в зависимости от материала поверхностей: для гладких, малосорбирующих материалов (металл, метлахская и кафельная плитки и т.п.) — 2,0 мг/м², для легкосорбирующих поверхностей (кирпич, бетон) — 5,0 мг/м²; для полов административно-бытовых помещений —

0,5 мг/м². При контроле качества стирки спецодежды ПДУ зависит от метода контроля. При контроле по промывной воде ПДК бериллия составляет при стирке верхней одежды $5 \cdot 10^{-3}$ мг/л, при стирке нательного белья — $2 \cdot 10^{-3}$ мг/л. При контроле методом вакуумирования ПДУ содержания бериллия в верхней одежде составляет 0,5 мг/м², в нательном белье — 0,05 мг/м². При использовании экспресс-метода ПДУ составляют для лавсановой ткани 1,0 мг/м², хлопчатобумажной ткани 2,5 мг/м². ПДУ загрязнения кожных покровов — $1 \cdot 10^{-2}$ мг/м².

5.6. Средства индивидуальной защиты

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) являются дополнительной мерой защиты персонала от воздействия вредных производственных факторов. К СИЗ относятся спецодежда, применяющаяся для защиты кожных покровов от воздействия факторов производства; очки для предохранения глаз от механических, термических и химических воздействий, а также светофильтры для защиты глаз; респираторы различного типа для защиты органов дыхания от воздействия токсических веществ; перчатки (рукавицы) и спецобувь. Кроме того, в особо неблагоприятных случаях, когда защитные свойства СИЗ окажутся недостаточными, используются дополнительные СИЗ, к которым относятся суконные куртки, применяемые для защиты от брызг расплавленного металла, резиновые или синтетические (пластиковые) фартуки, бахилы, рукавицы для защиты от воздействия кислот, щелочей и других реагентов, промышленные противогазы, пневмошлемы, пневмомаски, пневмокостюмы и т. п. для работы в атмосфере, загрязненной газами, парами или высокими концентрациями аэрозолей бериллия. Порядок использования СИЗ определяется соответствующими правилами техники безопасности.

При получении и переработке бериллия и его соединений в производственных условиях применяют обычно полный комплект спецодежды, в который входят нательное хлопчатобумажное белье, носки (чулки, портянки), костюм (брюки и куртка, комбинезон), берет (косынка), перчатки (рукавицы). При работе с концентрированными минеральными кислотами и в плавильном отделении применяют костюмы из грубошерстного сукна, являющегося более стойким материалом к воздействию кислот и высоких температур.

В настоящее время для изготовления костюмов все шире начинают использовать синтетические ткани, ткани из смеси натуральных и искусственных волокон, ткани с противоусадочными, огнестойкими, водо- и кислотоупорными пропитками. Костюмы, изготовленные из смешанных тканей, обладают большей механической стойкостью по сравнению с костюмами, изготовленными из хлопчатобумажных или суконных тканей, и не уступают костюмам из синтетических тканей. В то же время за счет лучшей воздухопроницаемости самочувствие рабочих при работе в костюмах из смешанных тканей значительно лучше, чем в костюмах, изготовленных только из синтетических тканей. Материал спецодежды для рабочих бериллиевого производства одновременно должен быть воздухопроницаемым и обладать хорошими пылездерживающими свойствами.

Спецодежда должна иметь наименьшие количества разрезов, чтобы под нее не попадала пыль, содержащая бериллий. Исследования типографии загрязнения кожных покровов показали, что при расположении застёжек нательной рубашки и куртки на груди загрязненность области груди стояла на втором месте после загрязнения рук.

Во всех помещениях, в которых в ходе производственного процесса возможно превышение ПДК бериллия, обязательно применение респираторов. Тип респиратора следует выбирать, исходя из максимально возможной концентрации бериллия в воздухе рабочих помещений. При выборе типа респиратора необходимо учитывать, что его реальная эффективность в производственных условиях составляет около 70–80% паспортной. Это обусловлено прежде всего нарушением плотности прилегания респиратора к коже по линии обтюрации вследствие неправильного надевания его, анатомических особенностей головы или каких-либо иных причин.

Если ожидаемая концентрация бериллия будет выше $0,1 \text{ мг/м}^3$, то применение одного респиратора может оказаться недостаточным. В этом случае необходимо использовать дополнительные СИЗ органов дыхания (шланговые противогазы, пневмокостюмы, пневмомаски, пневмоскафандры и т. п.). Такие же дополнительные средства следует применять и для защиты от действия паров и газов бериллия или его соединений.

В дополнительных СИЗ органов дыхания должна быть предусмотрена принудительная подача чистого воздуха, которая осуществляется по специальной линии, обеспечивающей в точке присоединения шланга к защитному средству давление 500 мм вод. ст. Расход воздуха на одну единицу СИЗ должен составлять $15 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Персонал, занятый непосредственно обслуживанием оборудования, должен пользоваться перчатками (рукавицами) для предохранения рук от загрязнения бериллием. Вид перчаток (хлопчатобумажные, брезентовые, резиновые и т.п.) должен соответствовать роду работ. Хлопчатобумажные перчатки служат для защиты рук при контакте с загрязненными поверхностями оборудования. Брезентовые рукавицы применяют при выполнении грубых физических работ (например, такелажные работы, ремонт или демонтаж оборудования и т.п.). Резиновые (пластиковые) перчатки используют для защиты рук от воздействия растворов, загрязненных бериллием, а также от воздействия кислот и щелочей.

Для предупреждения попадания бериллия или его соединений в организм через ЖКТ необходимо строго соблюдать правила личной гигиены. Хранение и прием пищи в помещении, где ведутся какие-либо работы с бериллием, его соединениями или бериллийсодержащими материалами, должны быть строго запрещены.

5.7. Очистка рабочих поверхностей и средств индивидуальной защиты

Загрязнение рабочих поверхностей, оборудования, спецодежды и других СИЗ происходит как при непосредственном контакте с технологическими продуктами, так и при оседании на них аэрозолей из воздушной среды. В зависимости от характера производства (металлургическое, металлообрабатывающее и т. п.) бериллий в загрязнении может быть представлен комплексом соединений, обладающих самыми разно-

образными свойствами (силикат бериллия, сульфат, фторид, металлургический бериллий, гидроокись, окись, фторбериллат аммония и др.), т.е. в загрязнение входят как водо- и кислоторастворимые, так и нерастворимые соединения. Механизм загрязнения поверхностей зависит от физико-химических свойств бериллиевых соединений, их агрегатного состояния, а также от свойств загрязненной поверхности. Основная часть загрязнения удерживается на поверхности за счет сил адгезии даже в случае попадания на нее технологических растворов.

Загрязненные СИЗ представляют опасность для персонала, являясь одной из причин поражения кожи и слизистых. Кроме того, они служат основным источником загрязнения воздуха санитарно-бытовых помещений и спецпрачечной.

Загрязненные поверхности вносят существенный вклад в загрязнение производственной среды вследствие редисперсии поверхностного загрязнения.

Все методы очистки поверхностей подразделяются на механические и физико-химические. К первой группе относятся методы, связанные с механическим удалением загрязняющего вещества, иногда даже со сломом поверхности (вакуумирование, соскабливание и т. п.), ко второй – методы очистки, основанные на применении поверхностно-активных веществ, комплексообразователей, агрессивных сред и т. п.

Выбор соответствующего метода очистки должен регламентироваться характером и составом загрязнения, свойствами и состоянием материала поверхности, а также преследуемой целью. Так, механические методы очистки применяют тогда, когда нужно удалить свободно лежащее слабофиксированное нерастворимое загрязнение, либо в случае необходимости проведения полной очистки. Недостатком этих методов является необходимость использования специального оборудования или агрессивных веществ. При использовании второй группы методов представляется широкая возможность выбирать в зависимости от конкретных условий моющие средства или составлять их композиции. Одной из таких композиций, получившей широкое распространение, явился керосиновый контакт Петрова. Входящая в его состав серная кислота растворяет загрязнение, а поверхностно-активные вещества предотвращают ресорбцию растворенных веществ. В силу этих свойств керосиновый контакт оказался наиболее эффективным моющим средством при отмывке любых поверхностей от загрязнений различными веществами.

В настоящее время на промышленных предприятиях можно выделить четыре вида уборки рабочих и вспомогательных помещений:

- регулярная уборка, выполняемая персоналом на своих рабочих местах в конце смены;
- разовая уборка, выполняемая для ликвидации случайного загрязнения или после окончания производственной операции, сопровождавшейся загрязнением рабочих поверхностей;
- систематическая ежедневная уборка, выполняемая в условно-чистых и административно-бытовых помещениях;
- генеральная ежемесячная уборка всех помещений, выполняемая всем рабочим персоналом.

Ни один вид уборки не исключает другого, все они дополняют друг друга.

В качестве моющих средств могут быть использованы горячая вода, 1–2%-ный раствор керосинового контакта, 1–2%-ный раствор фтористого аммония.

В зависимости от особенностей технологического процесса, выбранного способа и санитарно-технического обеспечения отмывку поверхностей можно производить либо путем обильного смачивания поверхности моющим раствором с помощью обтирочного материала с последующим осушением, либо путем смыывания загрязнения струей воды из шланга с последующим осушением поверхности с помощью обтирочного материала. Оба способа позволяют удалять до 90% загрязнения. При использовании первого способа можно применять любое моющее средство или их композицию. Расход воды и моющих средств должен составлять не менее 1,5 л/м², ибо в противном случае не будет полностью удалено загрязнение. При втором способе в качестве моющего средства может быть использована только вода. Этот способ может быть реализован в помещениях, где имеются дренажные устройства (трапы, желоба). Наряду с "мокрой" очисткой везде, где имеются условия, следует применять "сухую" очистку, производимую с помощью пневмоотсосов. Во всех случаях пневмоотсосы должны быть оборудованы соответствующими насадками, обеспечивающими их максимальную эффективность.

При отмывке поверхностей с помощью моющих растворов непременным инвентарем является обтирочный материал (ветошь), служащий для нанесения моющего раствора и для осушения поверхностей (или только для осушения поверхностей). После многократного использования в обтирочном материале может накопиться такое количество бериллия, которое превысит средний уровень допустимого загрязнения поверхности для данного участка или по крайней мере достигнет его. В этом случае эффективность очистки поверхностей может снизиться до нуля, а в отдельных случаях обтирочный материал сам может превратиться в источник загрязнения. Для исключения возможности создания такого положения рекомендуется не допускать накопления бериллия в обтирочном материале свыше 200 мг/м². В производственных условиях невозможно контролировать накопление загрязнения в обтирочном материале ежедневно. Гораздо проще периодически определять скорость накопления загрязнения и устанавливать предельный срок использования обтирочного материала.

Применение механического способа очистки (например, вакуумирование) для спецодежды малоэффективно. Поэтому более рациональной является обработка спецодежды в моющих растворах. Выбор моющих композиций для спецодежды из различных типов тканей (хлопчатобумажная, смесь шерсти с синтетикой, лавсан и т. п.) и пленочных СИЗ ограничен вследствие возможности деформации этих материалов под действием агрессивных сред.

В зависимости от характера загрязнения состав моющих средств может быть различен. Высокая эффективность отмывки (90–99%) растворимых соединений бериллия достигается применением комплексобразующих средств и слабых растворов кислот (например, трилон Б, щавелевая и соляная кислоты и др.). Для удаления труднорастворимых соединений (в частности, гидроокиси, окиси) наиболее перспективной является обработка спецодежды в растворах нейтральных фторидов при повышенных температурах с дальнейшими ее стиркой в растворах поверхностно-активных веществ и полосканием. Из поверхностно-активных веществ наибольшее распространение получили мыло, стиральные порошки, препараты ОП-7, ОП-10 и др. Вместе со стиральными средствами используют водоумягчители (триполифосфаты, гексаметафосфат натрия, сода и др.), применение которых экономит до 25% моющих средств.

Обработка дополнительных пленочных СИЗ проводится по той же схеме, но с корректировкой условий обработки в зависимости от свойств материалов обрабатываемых изделий (температурный режим, концентрация растворов, продолжительность обработки и т.п.).

5.8. Санитарно-бытовое обслуживание и личная гигиена персонала

Использование СИЗ не исключает возможности загрязнения кожных покровов. В связи с этим прохождение персоналом ежедневной санитарной обработки по окончании работ с бериллием является обязательным. Для полной очистки кожных покровов мытье должно быть тщательным и продолжаться достаточное время (около 15 мин). Норма расхода мыла на одного человека — 15 г. Качество отмывки считается удовлетворительным, если остаточная загрязненность составляет 0,01 мг/м².

Загрязнение кожных покровов бериллием в течение рабочей смены не должно превышать 0,03 мг/м². Такой уровень загрязненности при шестичасовой экспозиции (продолжительность смены) обычно не приводит к развитию кожных поражений. Эту величину рекомендуется использовать при оценке эффективности защитных свойств спецодежды, периодически контролируя уровень загрязненности кожных покровов персонала перед прохождением им санитарной обработки.

Все лица, имеющие какие-либо повреждения кожи (ссадины, царапины, порезы), должны перед работой обработать их медицинским клеем БФ-6 или аналогичными препаратами (например, фурапластом), а при отсутствии их — заклеить пластырем (необходимо помнить, что пластырь плохо держится на запотевшей коже).

Санитарное обслуживание персонала обеспечивается организацией санитарно-бытовых помещений. Наилучшими в гигиеническом отношении являются санитарно-бытовые помещения, устроенные по типу санитарного пропускника и разделяющиеся на "чистую" и "грязную" гардеробные, между которыми размещается душевая.

В состав чистой гардеробной входят гардероб домашней одежды и комната для хранения чистой спецодежды. В составе грязной гардеробной должны быть предусмотрены помещения для снятия и сбора грязной спецодежды.

Для прохода из душевой в гардероб домашней одежды должна быть устроена преддушевая, в которой хранится запас полотенец. Рядом с душевой следует размещать санузел, оборудованный умывальником с подачей холодной и горячей воды.

Проход из чистой гардеробной в грязную следует предусматривать не через душевую, а минуя ее — для исключения встречных потоков персонала.

Гардероб домашней одежды рассчитывается на самообслуживание с открытым хранением одежды. Площадь помещения должна соответствовать списочному составу двух смежных смен с наибольшим числом работающих из расчета 0,5 м² на 1 человека. В гардеробе должны быть предусмотрены скамьи и приспособления для хранения верхней одежды, белья, головных уборов и обуви.

Душевые оборудуются из расчета 1 рожок и 3 места в преддушевой на каждые пять человек наибольшей смены. Не рекомендуется размещать душевые и преддушевые у наружных стен здания. Душевые оборудо-

дуются открытыми кабинами. Каждая кабина должна иметь индивидуальные смесители холодной и горячей воды. Пол в душевых должен иметь уклон в сторону, противоположную входу.

Площадь гардероба спецодежды должна соответствовать площади гардероба домашней одежды. Здесь должно быть оборудовано устройство для хранения и сушки спецодежды и обуви, помещение для раздельного сбора грязной спецодежды и нательного белья и приспособление для увлажнения собираемой спецодежды (водораспыляющие форсунки и т. п.).

Около санпропускника должна размещаться респираторная, предназначенная для хранения респираторов и дополнительных СИЗ. Площадь респираторной должна соответствовать численности рабочих в самой большой смене из расчета 0,15 м² на 1 человека, но не менее 4 м².

Для внутренней отделки санитарно-бытовых помещений необходимо применять материалы, легко отмывающиеся от бериллия и его соединений. Для покрытия полов целесообразно в основных помещениях использовать пластик и линолеум. В душевых полы должны быть покрыты метлахской плиткой, стены на высоту до 3 м покрываются глазурованной плиткой, а верхняя часть стен и потолки окрашиваются влагостойкими красками. Перегородки между производственными и бытовыми помещениями могут быть выполнены на всю высоту из стеклоблоков. Вся мебель должна быть покрыта пластиком.

Спецодежду необходимо регулярно очищать от производственных загрязнений (стирка). Сроки стирки спецодежды регламентируются отраслевыми нормативами. При определении срока носки следует руководствоваться временем накопления загрязнения до уровней, превосходящих ПДУ, которое в реальных условиях не превышает времени одной смены.

При различных манипуляциях со спецодеждой в грязной гардеробной, когда происходит ее встряхивание (при раздевании, сортировке, раскладке и т. п.), в воздух переходит нефиксированная часть имеющегося на одежде загрязнения. В зависимости от характера загрязнения и материала спецодежды в воздух может выделяться от 0,05 до 0,5% бериллия, содержащегося в ткани.

Переход бериллия в аэрозольную фазу может приводить к значительному загрязнению воздуха санитарно-бытовых помещений. Наличие эффективной общеобменной вентиляции, обеспечивающей десятикратный воздухообмен, и увлажнение грязной спецодежды позволяют снижать концентрации бериллия до значений, не превышающих ПДК.

Для стирки спецодежды на территории предприятия должна быть оборудована спецпрачечная, в которой наряду с соответствующими рабочими помещениями должно быть предусмотрено помещение для постоянного контроля за достаточностью очистки спецодежды от бериллия.

Транспортировать спецодежду в спецпрачечную следует в мешках на грузовом транспорте, кузов которого покрыт легкомоющим материалом. Мешки для транспортировки спецодежды могут быть изготовлены из хлопчатобумажных, пластиковых или бумажных материалов. Первые два вида мешков можно очищать так же, как и спецодежду, бумажные после использования надо уничтожать вместе с отходами производства.

6. ГИГИЕНА ТРУДА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ И ОБРАБОТКЕ СПЛАВОВ, СОДЕРЖАЩИХ БЕРИЛЛИЙ

В промышленности все более широкое применение находят сплавы, содержащие в своем составе бериллий. С учетом возможной степени загрязнения воздушной среды, сплавы условно подразделяются на две основные группы: сплавы с высоким содержанием бериллия (от 20% и более) и сплавы с низким содержанием бериллия (до 2,5%). В первую группу в основном входят сплавы на основе алюминия, используемые в качестве конструкционных материалов.

Ко второй группе относятся следующие сплавы:

- литейные алюминиевые сплавы, содержащие до 0,5% бериллия;
- сплавы на основе меди с содержанием до 2,5% бериллия (бериллиевые бронзы);
- сплавы на основе железа, никеля, кобальта, содержащие до 2,5% бериллия.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что аэрозоль дезинтеграции сплавов первой группы оказывает на организм специфическое действие, характерное для бериллия и его окислов.

Исследования аэрозолей дезинтеграции сплавов второй группы показали отсутствие какого-либо специфического действия, характерного для бериллия. Таким образом, механическая обработка этих сплавов может производиться в общем рабочем помещении на обычном оборудовании.

6.1. Гигиена труда при получении и обработке сплавов с высоким содержанием бериллия

Сплавы подвергаются механической обработке, в том числе на металлорежущих станках (точение, фрезерование, сверление и т. д.). Обрабатывать сплавы необходимо в специально оборудованных помещениях при обязательном наличии местных пылеотсасывающих устройств, максимально приближенных к месту обработки. Устройство полного укрытия станков оказалось малоэффективным, так как в местах аэродинамических теней скапливаются крупная стружка и пыль, что при очистке укрытия приводит к появлению пыли сплава в зоне дыхания рабочего. Наилучший эффект пылеулавливания достигается при использовании сменных насадок различной конфигурации, устанавливаемых на станках при скорости движения воздуха в открытом сечении насадки 25–50 м/с. Это обеспечивает скорость движения воздуха в местах контакта инструмента с изделием не менее 10 м/с. При точении внутренних полостей деталей хорошее пылеудаление достигается путем присоединения патрубка местного отсоса к передней бабке станка. Мелкую слесарную доработку изделий (зачистка заусенцев, прогонка резьб и т. д.) следует проводить в шкафу с вытяжкой через панель, устроенной в столе.

Термообработка заготовок необходима для их пластической деформации (прессование, прокат, выдавливание и т. д.), отжига, отпуска и т. п. Сплавы подвергаются нагреву в термических печах при температуре 450°C. При этих условиях не выделяются соединения бериллия в воздух. Даже в пробах воздуха, отобранных непосредственно из печи, бериллий не обнаружен.

Сплавы бериллия на алюминиевой основе подвергаются различным операциям пластической деформации. Чаще всего применяют холодный и горячий прокат. При этом процессе выделения в воздух пыли сплава не происходит. Раскрой листов из сплавов также не приводит к образованию аэрозолей бериллия.

Горячее прессование металлического бериллия, заключенного в стальную оболочку (при температуре 1110°C), практически не приводит к образованию аэрозоля конденсации бериллия, однако при нарушении целостности оболочки происходит выделение аэрозоля в концентрации 3–5 мкг/м³. Прокат бериллиевой проволоки, заключенной в металлическую оболочку, не сопровождается загрязнением воздушной среды соединениями бериллия. При прокате бериллиевых заготовок, заключенных в эмалевую оболочку, также отсутствует выделение аэрозолей бериллия.

Прессование изделий из сплавов, предварительно нагретых в печах сопротивления, сопровождается выделением бериллия непосредственно у пресса. Однако при достаточной вентиляции в пробах воздуха, отобранных непосредственно на рабочем месте машиниста, бериллия не обнаружено.

Механическая обработка сплавов (точение, фрезерование) характеризуется образованием высокодисперсной пыли (до 2 мкм – 59,4%, от 2 до 5 мкм – 13,8%, от 5 до 10 мкм – 14,8%, более 10 мкм – 12%), т. е. 73,2% частиц пыли способны глубоко проникать в дыхательные пути и вызывать специфический процесс. Однако применение местных пылеотсасывающих устройств полностью обеспечивает удаление образующейся пыли.

Зачистка листов сплавов пневматической бормашинной является наиболее неблагоприятным процессом, так как сопровождается значительным выделением пыли сплавов с высоким содержанием бериллия. Проведение этого процесса с применением струи воды, подаваемой в место зачистки, не дало благоприятного эффекта, и содержание бериллия в воздухе не снизилось. Поэтому в целях снижения запыленности воздуха необходимо в воду, подаваемую к месту зачистки, добавлять поверхностно-активные вещества (ОП-7, ОП-10). Зачистку листов можно проводить только в специальном изолированном помещении с применением полного комплекта спецодежды и респираторов.

Для изготовления изделий из сплавов применяют самые различные виды сварок (аргонодуговая, контактная, диффузионная, электронно-лучевая и т. д.).

Аргонодуговая сварка является наиболее неблагоприятным процессом, так как воздух рабочих помещений может загрязняться окислами бериллия в высоких концентрациях. Например, в факеле дуги содержание бериллия достигает 270–6000 мкг/м³. Поэтому сварку следует проводить в герметичной камере с наличием местной механической вытяжной вентиляции, что обеспечивает чистоту воздуха рабочего помещения, в то время как в самой камере содержание бериллия достигает 675–2542 мкг/м³. При раскрытии камеры выделяется от 2 до 8 мкг/м³ бериллия. Для устранения загрязнения воздуха необходимо увеличение скорости его движения в рабочем проеме камеры до 1,5 м/с и более.

При аргонодуговой сварке в контролируемой атмосфере вакуумная камера после достижения вакуума 10·10⁻² мм рт. ст. заполняется аргоном до давления 20,5·10⁴ Па, после чего производят сварку. Во время этого процесса в воздухе рабочего помещения бериллия не об-

наруживается, в то же время его концентрация внутри камеры может достигать 580–7250 мкг/м³. Продувка сварочной камеры в течение 10 мин перед ее раскрытием предупреждает загрязнение воздушной среды.

Следует отметить, что на деталях, подвергающихся сварке, оседает сварочный аэрозоль, ввиду чего детали надо переносить в укрытие и только после тщательной их протирки бензином, спиртом или другими веществами их можно подвергать дальнейшим манипуляциям.

Электронно-лучевую сварку бериллия и его сплавов проводят только при наличии глубокого вакуума (1·10⁻⁴ – 1·10⁻⁵ мм рт. ст.), в связи с чем сам процесс сварки не сопровождается загрязнением воздуха бериллием и его соединениями. Однако на стенках вакуумной камеры происходит достаточно интенсивное оседание частиц бериллия. При очистке с помощью наждачной бумаги внутренних стенок камеры от "нагара", составляющего из аэрозоля конденсации сплава, создаются высокие концентрации бериллия. Проведение этой операции влажным путем (смыв нагара 5%-ным раствором соляной кислоты) приводит к снижению содержания бериллия в воздухе до ПДК.

Оборудование вакуумной камеры местной механической вентиляцией, включаемой до вскрытия камеры, предупреждает загрязнение воздуха рабочего помещения. В целях уменьшения загрязнения внутренних стенок вакуумной камеры рекомендуется применять съемные экраны и укрытия отдельных деталей. В дальнейшем защитные экраны извлекают из вакуумной камеры и очищают влажным способом.

В тех случаях, когда это возможно, необходимо заменять аргонодуговую сварку электронно-лучевой, так как последняя с гигиенической точки зрения является, безусловно, предпочтительнее.

Диффузионная сварка бериллия и его сплавов основана на использовании глубокого вакуума (1·10⁻⁴ – 1·10⁻⁹ мм рт. ст.) при температуре свариваемых изделий 400–900°C и достаточно сильном сдавливании изделий, в результате чего возникает диффузия частиц и происходит плотное соединение их. В процессе сварки отмечается весьма незначительное загрязнение вакуумной камеры. Обычно раскрытие вакуумной камеры не сопровождается загрязнением воздуха аэрозолями бериллия. Однако при диффузионной сварке больших деталей (например, общей площадью 100 см² и более) концентрация бериллия внутри сварочной камеры резко увеличивается, что может вести к загрязнению воздуха рабочего помещения соединениями бериллия при раскрытии камеры. Для предупреждения этого следует камеры сварки обеспечивать местной механической вытяжной вентиляцией для продувки их непосредственно перед раскрытием.

При контактной сварке в зоне прохождения тока (между электродами) происходит очень быстрое разогревание металла, за счет чего и достигается сварка. В момент кратковременного разогрева металла происходит "выплеск" (выброс) относительно крупных частиц свариваемого металла. Наряду с выбросом крупных частиц в воздух рабочего помещения происходит выделение высокодисперсной пыли (аэрозоль конденсации).

Сварочные машины, предназначенные для контактной сварки, должны быть размещены в отдельных изолированных помещениях и оборудованы эффективными местными пылеотсасывающими устройствами с обязательной очисткой выбрасываемого воздуха. Лица, непосредствен-

но обслуживающие сварочные машины, должны обязательно использовать полный комплект спецодежды и респираторы.

Электрохимическая размерная обработка предложена для массового производства идентичных деталей сложной конфигурации. Гигиеническая оценка опытного технологического процесса показала его большие преимущества перед другими способами обработки, связанными с большим съемом металла, и прежде всего перед механической обработкой. Исследования на электрохимической установке (электродит 15%-ного раствора $NaCl$, напряжение 12 В, плотность тока 40 А/см², скорость съема металла 0,005 мм/с, площадь обработки 37 мм²) свидетельствуют о том, что концентрация бериллия в электролите после 80 мин обработки составляла 570 мг/л, в то же время содержание бериллия в воздухе не превышало 0,2–0,6 мкг/м³. Повышения содержания бериллия в воздухе в зависимости от увеличения его концентрации в электролите обнаружено не было.

В процессе механической обработки бериллия он тут же переходит в нерастворимую форму — гидроокись бериллия. Растворимых соединений бериллия в составе электролита не было обнаружено. Это обстоятельство намного облегчает очистку электролита, ибо достаточно фильтрация его через плотную ткань.

Сборка является одной из трудоемких и распространенных операций, в которой занято большое количество рабочих. Эта сборка является повторной, и при ней исключаются всякие операции по доводке деталей. Обязательным условием сборки является поступление на участок деталей, тщательно очищенных от поверхностного загрязнения. При многократном ввинчивании и вывинчивании бериллиевых винтов, а также при насадке бериллиевых подшипников на бериллиевые валы в производственных условиях при серийной работе загрязнения воздуха бериллием не происходит. Процесс сборки можно проводить в общих рабочих помещениях без соблюдения особых требований, предъявляемых к работам с бериллием.

Спецодежда (хлопчатобумажное белье, шапочка или косынка, лавсановая куртка, брюки и носки) выдается каждому рабочему, находящемуся в специальных помещениях, где проводится работа с бериллием и сплавами с высоким содержанием металла. Смена спецодежды проводится ежемесячно. Так как содержание бериллия в воздухе цехов по обработке бериллия незначительно, то загрязнение спецодежды даже в цехах механической обработки невелико. Однако и такое незначительное загрязнение спецодежды может служить потенциальным источником загрязнения воздуха в момент раздевания.

Применение конкретных СИЗ, особенно при проведении аварийных и ремонтных работ, полностью определяется производственной обстановкой. Например, кроме спецодежды, используемой рабочими при механической обработке бериллия и его сплавов (содержание 20% и более), необходимо предусматривать применение специальных пневмокостюмов с подачей в них свежего воздуха при операциях, связанных с большим выделением аэрозолей бериллия. К такого рода операциям относятся работы по смене вентиляционных фильтров грубой и тонкой очистки (ФПП). После работы пневмокостюмы подвергаются обмыву под душем в помещении, расположенном непосредственно около вентиляционных очистных камер, где и должны оставаться на хранении.

6.2. Гигиена труда при получении и обработке сплавов с низким содержанием бериллия

Все бериллиевые бронзы подразделяются на два вида сплавов — высокопрочные, содержащие от 1,7 до 2,5% бериллия, и сплавы, обладающие хорошими электропроводными свойствами, содержащие от 0,7 до 0,15% металла.

Бериллиевые бронзы обычно производятся в открытых индукционных печах. В тигель печи загружают шихту, после разогрева печи до температуры 1150–1200°C в расплавленный материал добавляют медно-бериллиевую лигатуру и через 10–12 мин готовый сплав разливают в водоохлаждаемый кристаллизатор. Обычно приготовление бериллиевых бронз ведут под слоем графита для предохранения от образования окислов и чрезмерного "угара" бериллия.

Перед самой разливкой сплава литейщик вручную снимает при помощи футерованной ложки шлак с поверхности металла и относит его в шлаковницу. Плавка сплавов ведется при достаточно высокой температуре, ввиду чего анализ проб воздуха должен проводиться обязательно методом предварительного спекания пробоотборных фильтров с бифторидом калия. Использование 5%-ного раствора соляной кислоты позволяет определять в среднем около 15% бериллия, т. е. основная часть бериллия в составе аэрозоля конденсации находится в виде высокообогащенной окиси бериллия. Содержание соединений бериллия в воздухе при плавке бериллиевой бронзы на литейной площадке составляет от 0,3 до 60,0 мкг/м³. Наибольшие концентрации соединений бериллия на литейной площадке отмечаются в тех случаях, когда в качестве шихты применялась стружка бериллиевой бронзы, и, напротив, при использовании в качестве шихты чистых металлов концентрация бериллия была наименьшей.

В момент снятия шлака литейщиком и переноса его к месту хранения в воздухе литейной площадки содержание бериллия резко увеличивается и составляет около шлаковницы 4,6–270 мкг/м³ (в среднем 77 мкг/м³).

При разливе сплава, когда струя металла находится вне зоны действия вытяжной вентиляции, содержание аэрозолей бериллия на рабочем месте литейщика повышается и составляет от 10 до 75 мкг/м³.

В шлаке содержание бериллия достигает 6–8%, в то время как в самом сплаве находится в пределах 2%. Это свидетельствует о том, что операция снятия шлака и его транспортировка связаны с возможным воздействием бериллия на человека.

Загрязнение воздушной среды соединениями бериллия происходит не только около печи плавки сплава, но и на расстоянии 3–6 м от печи и составляет 0,6–6 мкг/м³. Изучение состава аэрозоля конденсации при плавке бериллиевой бронзы позволило установить, что соотношение содержания меди и бериллия в воздухе рабочего помещения резко отличается от такового в сплаве. Если в сплаве соотношение содержания меди и бериллия составляет 49:1, то в составе аэрозоля конденсации это соотношение составляет 82–17, т. е. в этом случае с поверхности расплава происходит усиленное испарение бериллия, который тут же превращается в окисел.

Все изложенное выше относительно гигиенической характеристики процесса плавки бериллиевой бронзы позволяет сделать заключение о том, что этот процесс характеризуется весьма интенсивным загрязнением

воздушной среды окислами бериллия и должен производиться в изолированном помещении при обязательном оборудовании печи местной вытяжной вентиляцией с укрытием всех мест возможного выделения соединений бериллия. Следует отметить, что процесс снятия шлака с поверхности металла должен проводиться под укрытием, а хранить шлак необходимо в воде. В прошлом процесс разборки сухого шлака выполнялся в специальном помещении вручную. В настоящее время этот процесс запрещен и разборку шлака можно проводить только при обильном увлажнении.

Опыт эксплуатации отдельного помещения для плавки бериллиевой бронзы показал, что если печь оборудована эффективной местной механической вентиляцией, то содержание соединений бериллия в воздухе составляет 0,4–1,5 мкг/м³. Обычно в производстве бериллиевой бронзы конечным продуктом являются прутки и лента.

Для получения больших рулонов ленты используют сварочную машину. Концы ленты соединяют с помощью аргодуговой сварки. Этот технологический процесс несомненно опасен в связи с возможностью загрязнения воздушной среды окислами бериллия. В момент сварки ленты содержание бериллия в факеле составляет 400–2160 мкг/м³, а при увеличении силы тока до 300 А оно может достигать 529–4500 мкг/м³. В аэрозолях конденсации, образующихся при сварке ленты бериллиевой бронзы, соотношение содержания меди и бериллия еще более изменяется и составляет 57:32, т. е. в этом случае из "ванны" расплавленного металла происходит еще большее испарение бериллия, чем при плавке бериллиевой бронзы. Сварка ленты бериллиевой бронзы должна проводиться в специальном укрытии, оснащем местной механической вытяжной вентиляцией, обеспечивающей скорость движения воздуха в рабочем проеме не менее 1,5 м/с.

Все изложенное относительно характеристики процессов, сопровождающихся возгонкой металлов (плавка, сварка), свидетельствует о том, что проведение указанных процессов обязательно требует организации очистки выбрасываемого воздуха. Очистка воздуха, отсасываемого от плавильных печей, должна осуществляться с помощью двухступенчатой системы, а от сварочной установки – с помощью фильтров ДПП.

Контактная сварка изделий из бериллиевой бронзы сопровождается относительно малым загрязнением воздушной среды, и при оснащении установки местной механической вентиляцией содержание бериллия в зоне дыхания не превышает 1 мкг/м³. В этом случае очистка воздуха не требуется. Слитки, полученные при разливе сплава, обычно подвергаются горячему прокату (температура 300°C). Данные анализа отобранных проб воздуха показали, что при этом процессе не происходит какой-либо возгонки компонентов сплава и соотношение содержания металлов то же, что и в самом сплаве. Так, анализ проб пыли показал, что соотношение содержания меди и бериллия составляет 98:1,96, т. е. в воздухе имеется аэрозоль дезинтеграции.

Сплавы на железной основе содержат до 1,5%, а на никелевой – до 2,5% бериллия. Сплавы характеризуются очень высокой прочностью, антикоррозийностью, сопротивлением к усталости и т. п. Ввиду того, что температура плавления этих сплавов составляет 1500–1600°C, плавка в открытых печах недопустима. В этом случае происходит интенсивное испарение бериллия с поверхности расплавленного металла, в связи с чем в воздухе рабочего помещения могут создаваться концентрации окислов бериллия, во много раз превышающие допустимую. В настоящее время

такие сплавы плавят только в печах при вакууме (1·10⁻² мм рт. ст.); разливку ведут также в вакууме.

Сам процесс плавки и разлива сплавов характеризуется относительно малым загрязнением воздушной среды. Загрязнение происходит в момент загрузки очередной партии шихты через специальное загрузочное устройство. Существенное снижение степени загрязнения воздушной среды достигается путем предварительной многократной продувки загрузочной камеры с помощью местной механической вытяжной вентиляции, подсоединяемой через специальный вакуумный затвор к загрузочной камере. Вакуумные печи, предназначенные для плавки сплавов, должны быть оборудованы специальными вакуумными затворами для обеспечения вентилирования собственно вакуумной камеры. Раскрывают камеру вакуумной печи после проведения серии плавов для очистки стенок от осевшего "нагара". Очистку стенок печи от конденсата следует проводить методом аспирации при работающей местной вытяжной вентиляции из камеры печи, обеспечивающей скорость движения воздуха в проеме камеры 1,5 м/с.

Весь воздух, отсасываемый из полости печи, а также удаляемый с помощью общеобменной вентиляции, подлежит обязательной очистке. Выхлоп вакуумных насосов, обслуживающих плавильные печи, должен быть подсоединен к системе вытяжной вентиляции, так как в составе выхлопных газов насосов имеется масляный туман, содержащий мельчайшие частицы бериллия. Опыт эксплуатации цеха по производству и обработке бериллиевых сталей показывает, что в основном в литейном цехе содержание бериллия в воздухе на рабочих местах обслуживания вакуумных печей варьирует от 0,2 до 0,8 мкг/м³. Однако при нарушении режима эксплуатации вакуумных печей (недостаточная продувка загрузочной камеры, вакуумной камеры печи и т. д.) концентрация бериллия составляет 1,5–6 мкг/м³. Следует отметить, что анализ соотношения содержания основы сплава (железо, никель) и бериллия в отбираемых пробах воздуха в литейном цехе показал изменение по сравнению с аналогичным соотношением в сплаве в сторону увеличения содержания бериллия (в сплаве – железо 98,5%, бериллий 1,5%; в воздухе – железо 85,3%, бериллий 14,1%).

Процессыковки и проката сплавов характеризуются образованием аэрозоля дезинтеграции, где соотношение содержания основы сплава и бериллия не изменяется, что свидетельствует об отсутствии возгонки элементов, входящих в сплав. Отсюда следует, что гигиеническая характеристика всех технологических операций может производиться только по основе сплава (железо, никель).

Гигиеническая оценка контактной сварки показала, что этот процесс сопровождается образованием аэрозоля конденсации. Содержание бериллия в воздухе достигает 1–5 мкг/м³, однако при скорости движения воздуха в проеме укрытия 1,5 м/с бериллий в воздухе не был обнаружен.

Основой литейных алюминиевых сплавов является алюминий; содержание бериллия в них не более 0,5%. Из основных свойств сплавов следует отметить высокую вакуумплотность, антикоррозийность, высокую прочность и др.

Сплавы плавятся в открытых индукционных печах при температуре плавления 740°C. Бериллий вводится в сплав в виде 4%-ной алюминиево-бериллиевой лигатуры. Процесс плавки и разлива сплава характеризуется очень малым выделением соединений бериллия в воздух рабочих по-

мещений. Так, в литейном цехе, печи которого были оснащены вытяжной вентиляцией в виде зонтов, бериллий на рабочем месте литейщика отсутствовал. В то же время в пробах, отобранных в воздуховоде вытяжной вентиляции, бериллий был выявлен в каждой пятой пробе и содержание его колебалось от 0,1 до 2 мкг/м³. Таким образом, наличие местной вытяжной вентиляции над печами в виде зонтов обеспечивает полное удаление выделяющегося бериллия.

Однако процесс приготовления этих сплавов включает обязательный процесс рафинирования, который заключается в том, что в тигель с уже готовым сплавом для его очистки погружается определенная навеска хлористого марганца (в количестве 0,2% массы сплава) на дно тигля. Погружаемая соль быстро разлагается и в виде пузырьков газа барботирует к поверхности, увлекая за собой различные загрязняющие сплав вещества.

Обычно процесс рафинирования солями занимает короткий промежуток времени (2–3 мин). Содержание бериллия в отходящих газах резко увеличивается. Соответственно за этот период происходит максимальное выделение бериллия с поверхности жидкого металла.

Изучение состава выделяющегося аэрозоля в момент рафинирования позволило установить, что в его составе находятся водорастворимые соединения бериллия, в частности хлористый бериллий в количестве 15–17% общего содержания бериллия. В том случае, если рафинирование сплава проводится с помощью газообразного хлора, то выделение бериллия и образование хлористого бериллия становятся еще более интенсивными.

Замена хлористых солей и газообразного хлора нейтральным газом — аргоном — в качестве рафинирующего вещества позволила полностью ликвидировать выделение бериллия из сплава. Такой же эффект достигается при использовании ультразвука. В связи с этим следует отказаться от использования хлора и его солей, в противном случае оно должно проводиться в специальном укрытии типа вытяжного шкафа с обязательной очисткой выбрасываемого воздуха.

Отлитые изделия в некоторых случаях подвергают заварке дефектов с помощью аргонодуговой сварки. Изучение этого процесса показало, что при наличии сварочного поста загрязнения воздушной среды соединениями бериллия не происходит.

Таким образом, производство алюминиевых литейных сплавов, содержащих до 0,5% бериллия, может быть размещено в обычных рабочих помещениях при обеспечении их необходимой вентиляцией.

6.3. Определение вида соединений бериллия, выделяющихся при получении и обработке сплавов

В связи с различной токсичностью бериллиевых соединений важное гигиеническое значение приобретает вопрос о составе выделяющихся аэрозолей при различных технологических операциях по получению и обработке сплавов. Идентификация вида соединений бериллия важна и для сточных вод, так как позволяет рационально разрабатывать мероприятия по их очистке. Описанные ранее методы анализа бериллия позволяют определять общее его количество в исследуемых пробах, но не дают ответа на вопрос о составе присутствующего загрязнения. Применение методики последовательной обработки проб избирательными растворителями

(в частности, водой и разбавленной соляной кислотой) дает возможность определить три основные группы бериллиевых соединений, выделяющихся при получении и обработке сплавов:

- водорастворимые, в состав которых могут входить в основном хлориды и фториды (пайка, сварка с использованием флюсов);
- кислоторастворимые (главным образом металлический бериллий);
- нерастворимый остаток, в состав которого входят высокотемпературные окислы. Разложение этого остатка должно проводиться путем его сплавления с флюсами (например, с бифторидом калия).

Использование этой схемы анализа дает возможность идентифицировать состав выделяющихся аэрозолей как при операциях механической обработки, так и при термических процессах (различные виды сварки, пайки и т. д.).

Предложенная схема анализа проб воздуха рабочих помещений и полученные данные о составе выделяющихся аэрозолей позволяют сформулировать основные положения о выборе методов анализа проб при серийном контроле.

1. При механической обработке сплавов с низким содержанием бериллия (до 2,5%) достаточно производить весовое определение пыли.

2. При механической обработке сплавов с высоким содержанием бериллия пробы следует разлагать в разбавленных кислотах (соляной или азотной в зависимости от основы сплава) и определение вести по бериллию.

3. При термических процессах (литье, сварка, пайка, плавка и т. п.) пробы необходимо переводить в раствор путем сплавления золы фильтра с соответствующим флюсом (в частности, с бифторидом калия). Определение следует вести только по бериллию. В связи с тем, что в пробах, отбираемых при обработке и получении сплавов, присутствуют в значительном количестве другие компоненты сплава, мешающие определению бериллия (железо, медь, алюминий, магний и пр.), можно при анализе использовать экстракционный метод с ацетилацетоном либо экстракцию с применением 8-оксихинолина.

7. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При решении вопросов охраны окружающей среды, в частности коммунальной гигиены, необходимо учитывать следующие основные положения: бериллий содержится в естественных условиях в окружающей среде, а превышение естественного уровня содержания может быть обусловлено загрязнением, возникающим при эксплуатации, во-первых, промышленных объектов обычного типа за счет использования различных видов топлива и других причин и, во-вторых, предприятий, занятых получением бериллия и использующих его соединения в производстве. Правильное сопоставление уровней поступления металла во внешнюю среду и содержания его в ней должно служить основанием для вынесения заключения об оценке загрязнения бериллием окружающей среды, о возможном поступлении его в организм лиц из населения, а также о мерах, направленных на предупреждение загрязнения атмосферы отходами производства.

Бериллий также встречается в космосе (на Солнце, планетах Солнечной системы, в метеоритах и т. д.). Он содержится в земной коре.

Имеются местности с наибольшим содержанием металла, поэтому необходимо учитывать этот момент при оценке содержания бериллия в объектах окружающей среды в различных районах.

7.1. Естественное содержание бериллия в окружающей среде

Естественная циркуляция бериллия в окружающей среде обусловлена его содержанием в земной коре. Это положение подтверждается исследованиями, выполненными в самых различных странах. Так, содержание металла составляет $1,7 \cdot 10^4 \div 10,0 \cdot 10^{-4}$ вес. %. Наиболее близким к реальному следует считать среднее содержание в пределах $(3,5 \div 4,0) \cdot 10^{-4}$ вес. %, хотя указываются и более значительные колебания.

Уровни содержания бериллия в пробах почвы колеблются также в узких пределах и составляют, вес. %: в глине $2 \cdot 10^{-4}$, песке $5 \cdot 10^{-4}$, гранитных скалах, вулканических породах $(1,2 \div 11,4) \cdot 10^{-4}$, иле рек $2,3 \cdot 10^{-4}$, иле моря $(10 \div 30) \cdot 10^{-4}$.

Содержание металла в почве соответствует среднему содержанию его в земной коре.

Бериллий и его соединения в процессе выветривания из почв и пород поступают в окружающую воздушную среду. Кроме того, они вымываются и мигрируют с грунтовыми и поверхностными водами. Поэтому бериллий обнаружен в воде природных источников: рек — $0,00003$ мг/л, бериллий — $0,0001$ мг/л, океанов — $0,00005$ мг/л. Бериллий содержится и в морях — $0,0001$ мг/л, океанов — $0,00005$ мг/л. Бериллий содержится и в водопроводной воде. В США его содержание в водопроводной воде составляет $0,00003 - 0,00006$ мг/л, в нашей стране согласно ГОСТ 2874-73 "Вода питьевая" содержание бериллия в воде не должно превышать $0,0002$ мг/л.

На содержание бериллия в воздухе оказывает влияние наличие его долгоживущих изотопов, образующихся в космическом пространстве при распаде бора, кислорода, азота. Эти изотопы обнаружены кроме воздуха в метеоритах, дождевой воде, поверхностных слоях вод океанов.

Наличие бериллия в атмосферном воздухе не вызывает сомнения, однако этот вопрос исследован менее подробно. На уровни содержания металла в воздухе влияет не только его естественное содержание в природе, но и промышленное загрязнение, обусловленное сжиганием топлива, выхлопными газами автотранспорта, выбросами промышленных предприятий. Так, содержание бериллия в воздухе городов Англии составляет $0,0009$ мкг/м³, а в воздухе сел — $0,00006$ мкг/м³.

Промышленное загрязнение воздуха соединениями бериллия вызывает настороженность у врачей и гигиенистов. Предлагается постоянно контролировать уровни загрязнения, особенно в районе предприятий, загрязняющих воздух и окружающую среду соединениями бериллия. ООН (1972 г.) предлагает считать допустимым содержание бериллия в воздухе, равное $0,004$ мкг/м³. По данным Федерального ре- гистра США от 7/XII 1971 г., а также Акта чистого воздуха США за 1970 г., содержание бериллия в атмосферном воздухе не должно превышать $0,01$ мкг/м³.

7.2. Содержание бериллия в биологических объектах

Наличие бериллия в почве и воде приводит к переходу его в растения и организм человека. Наиболее ранними исследованиями в 1893 г.

доказано содержание металла в растениях на острове Эльбы, где почвы богаты бериллием: в ламинарии, пшенице, печени животных. Таким образом, бериллий содержится в основных пищевых продуктах. Например, в Австралии содержание металла в продуктах питания человека колеблется в широких пределах и составляет: в мясе и рыбе — до $5,7$, карто- феле — $0,78$, бобах — $0,65$, томатах — $1,05$, яйцах — $0,78$, молоке — $0,83$, дрожжах — $1,62\%$ веса сухого остатка.

В условиях Ленинграда содержание бериллия в обычном суточном рационе составляет в среднем $0,07$ мкг при максимальном значении $0,15$ мкг. Эти уровни значительно ниже рекомендованных МКРЗ, однако полностью соответствуют балансу поступления бериллия в организм че- ловека и выведения его из него в условиях промышленного города.

7.3. Содержание бериллия в топливе и загрязнение им окружающей среды

Бериллий способен концентрироваться в ископаемых углях. В част- ности, он обнаружен в золе угля Донбасса в количестве $1,14 \cdot 10^{-3}\%$ (по окиси бериллия). Максимальное содержание бериллия в золе отечественных пород угля составляет $0,1\%$, а среднее — $0,03\%$. В отечест- венных породах нефти бериллий не обнаружен. В небольшом количестве он выявляется в нефти Польши и Германии. Наличие бериллия в угле и нефти приводит к загрязнению атмосферного воздуха при сжигании.

7.4. Естественное содержание бериллия в органах и биосредах человека

Согласно теории В. И. Вернадского, в природных условиях создается равновесие уровней содержания металла во всех объектах внешней среды, в том числе и в организме человека. В естественных условиях со- держание металла в организме человека обусловлено равновесием меж- ду поступлением и выведением его соединений. По данным МКРЗ (Пуб- ликация 23, 1977 г.), суточное поступление бериллия в организм чело- века составляет: с пищей, включая воду, 12 мкг, с водой 1 мкг, с возду- хом менее $0,01$ мкг. При этом суточное выделение металла составляет: с мочой 1 мкг, с калом 10 мкг, за счет других потерь 1 мкг.

Наблюдения за содержанием бериллия в отдельных органах и в орга- низме в целом малочисленны и противоречивы. Особенно это касается легких и биосред. Так, колебание уровней металла в легких составляет $(1,0 \div 7,3) \cdot 10^{-6}$ г/орган, а суточное выведение бериллия с мочой колеб- лется в пределах $0,0001 - 2,8$ мкг/сут. Содержание бериллия в органах и биосредах подвержено значительным колебаниям, что зависит от кон- кретных условий жизни и труда (табл. 7.1).

У большинства жителей промышленных городов, не имеющих произ- водственного контакта с бериллием, содержание его в биосредах не зависит от пола и возраста. Поэтому приведенные уровни могут быть рекомендованы как предельные естественные концентрации для населе- ния большинства промышленных районов страны.

Суточное выведение бериллия с калом и мочой в среднем составля- ет $0,102$ мкг при максимальном выведении $0,544$ мкг. Превышение этих уровней свидетельствует о дополнительном поступлении его соединений в организм персонала или отдельных лиц из населения в районе распо- ложения предприятия, использующего соединения бериллия.

У сельских жителей содержание бериллия в биосредах меньше и может вообще не выявляться мориновым методом. Это расценивается не как отсутствие металла в биосреде, а как тот факт, что его содержание находится в пределах уровней, не превышающих чувствительность метода определения металла. В связи с неравномерностью выведения бериллия из организма с мочой у этих же людей в другие дни бериллий

Таблица 7.1
Естественное содержание бериллия в биосредах человека

Биосреда	Единица измерения	Содержание бериллия	
		среднее	максимальное
Моча	мкг/сут	0,024	0,253
Кал	мкг/сут	0,078	0,291
Кровь	мкг%	0,014	0,030
Желчь В	мкг%	0,032	0,074

Таблица 7.2
Естественное содержание бериллия в организме человека

Орган	Среднее содержание, 10^{-6} г%	Содержание, 10^{-6} г/орган	
		среднее	максимальное
Легкие	0,05	0,55	2,50
Почки	0,04	0,12	0,45
Печень	0,07	1,24	4,25
Скелет	0,02	2,87	42,70
Селезенка	0,03	0,05	0,38
Мышцы	0,01	4,60	31,96
Головной мозг	0,02	0,31	4,69
Тонкий кишечник	—	0,06	0,17
Толстый кишечник	—	0,02	0,19
Грудина	0,02	—	—
Лимфоузлы средостения	0,06	—	—
Желчный пузырь	0,03	—	—
Кожа, г/дм ²	0,01	0,71	17,70
Организм в целом	—	10,53	105,00

может быть обнаружен. Кроме того, при внутривенном введении комплексона-пентафоцина во всех случаях увеличивалось содержание бериллия в моче, что является подтверждением наличия бериллия в организме всех людей. Это же доказано при непосредственном определении бериллия в органах людей. В табл. 7.2 представлены средние и максимальные уровни содержания бериллия в органах людей, не имеющих производственного контакта с соединениями металла.

Местами преимущественной инкорпорации металла являются легкие, печень, лимфоузлы средостения, почки. Об этом можно судить по

концентрации металла в органах. Способность мышц и кожи депонировать металл значительно меньше.

Представленные в таблице уровни содержания металла в органах и организме в целом могут быть рекомендованы как пределы естественного содержания бериллия для населения промышленных районов страны.

7.5. Охрана окружающей среды при получении и обработке бериллия и его соединений

На промышленных предприятиях образуются три основных вида отходов производства: газы и аэрозоли (вентиляционные выбросы), жидкие отходы (промышленные стоки), твердые отходы (хвосты гидрометаллургического передела, шлак, металлолом и др.). Общим свойством всех видов отходов является наличие в них бериллия, который вследствие высокой токсичности предопределяет необходимость специальных мер по обращению с отходами, направленных на предотвращение загрязнения окружающей среды и защиту населения прилегающих районов от воздействия бериллия.

Вентиляционные выбросы, содержащие аэрозоли бериллия, образуются практически на всех технологических участках бериллиевого производства. Основной вклад в вентиляционные выбросы вносят те технологические операции, где ведутся работы с сухими технологическими продуктами (дробление, шихтовка, получение порошка, затаривание сухой продукции и т. п.), или же технологические процессы, которые ведутся в высокотемпературных условиях (возгонка аэрозолей).

Кроме аэрозолей бериллия в вентиляционных выбросах обычно содержатся аэрозоли побочных продуктов и газообразные отходы, образующиеся на различных этапах химико-металлургического процесса.

Бериллийсодержащие вентиляционные выбросы перед поступлением в атмосферу должны подвергаться очистке. Средства очистки определяются в зависимости от состава выбросов, их дисперсности, концентрации (скрубберы, электрофилтры, рукавные филтры и др.). В случае необходимости должна применяться многоступенчатая система очистки. Собираемая в очистных устройствах бериллийсодержащая пыль должна возвращаться в технологический процесс для извлечения из нее бериллия.

Существующие технические средства не позволяют добиваться полной очистки воздушных выбросов от бериллия и других вредных веществ. Кроме того, воздух в районе расположения предприятия загрязняется также за счет неорганизованных поступлений бериллия из цехов и других технологических сооружений.

Степень очистки организованных выбросов должна быть такой, чтобы суммарный дебит организованных и неорганизованных поступлений в атмосферу при самых неблагоприятных условиях не приводил к превышению ПДК бериллия на границе санитарно-защитной зоны, установленной для предприятия.

Основным технологическим процессом, в котором образуется наибольшее количество жидких отходов, является гидрометаллургический передел. В меньшем количестве бериллийсодержащие промышленные стоки образуются и при других технологических процессах.

Главным принципом обращения с жидкими отходами производства является их повторное использование в технологическом процессе (создание замкнутой, безотходной системы технологического водооборо-

та) и стремление к максимальному снижению количества сточных вод, сбрасываемых в естественные водоемы.

Определенная часть жидких отходов гидрометаллургического производства после извлечения из них полезного компонента обычно используется для гидротранспорта твердой фракции хвостов на хвостохранилище. Остальные жидкие отходы, как правило, должны очищаться от твердых взвесей, подвергаться обессоливанию и возвращаться в технологический процесс для повторного использования. Оставшаяся пульпа (рассол) обычно сбрасывается на хвостохранилище, если она не представляет ценности с точки зрения дополнительного извлечения из нее важных компонентов.

Современный технический уровень еще не всегда позволяет добиться полностью замкнутого цикла технологического водоснабжения. Поэтому определенная часть условно чистых вод сбрасывается в открытые проточные водоемы. Эти сбросные воды должны подвергаться очистке от бериллия и других вредных химических веществ до такого уровня, который не создавал бы в водоеме превышения установленных ПДК и не оказывал бы неблагоприятного воздействия на флору и фауну.

Основную и неизбежную часть твердых отходов предприятия по получению бериллия составляют хвосты гидрометаллургического передела, которые подлежат захоронению на хвостохранилище. Поскольку исходным сырьем для гидрометаллургической переработки, как правило, является концентрат, то объем твердой фракции хвостов существенно меньше, чем при переработке необогащенных руд. Поэтому для удаления хвостов обычно сооружаются хвостохранилища наливного типа, ограждающая дамба которых возводится из местного сырья, а не намывается из хвостового материала. Для размещения наливного хвостохранилища также могут использоваться естественные понижения рельефа (бессточные впадины, балки, овраги и т. п.).

По дну котлована хвостохранилища и внутренним откосам ограждающих дамб должен быть предусмотрен гидроизолирующий экран из водонепроницаемых глинистых пород, толщина которого определяется проектом. Гидроизолирующий экран должен обеспечивать снижение фильтрации хвостовых вод из прудка хвостохранилища в целях предотвращения загрязнения бериллием и другими химическими соединениями грунтовых вод. Гребень ограждающей дамбы и ее наружные откосы должны быть защищены от ветровой эрозии (каменная наброска, дернование или посев трав). При строительстве хвостохранилища должны быть предусмотрены гидротехнические сооружения, исключающие попадание ливневых, паводковых и талых вод в чашу хвостохранилища.

Удаление хвостов на хвостохранилище должно проводиться гидротранспортом по закрытому пульпопроводу. Одна из ниток пульпопровода должна быть резервной. Осветленные воды из прудка хвостохранилища должны возвращаться в технологический процесс. Сброс неочищенных дебалансных вод из хвостохранилища в открытую гидросеть не допускается.

Сооруженное с соблюдением перечисленных санитарно-технических требований наливное хвостохранилище не приводит к заметному загрязнению бериллием окружающей среды. Умеренное загрязнение атмосферного воздуха и территории может проследиваться на расстоянии около 200–400 м от хвостохранилища за счет пыления с высыхающих в летнее время пляжей отстойного прудка. Размер санитарно-защитной зоны вокруг хвостохранилища должен быть принят с некоторым запасом

(100–200 м) по отношению к границе зоны загрязнения по согласованию с органами Госсаннадзора.

Территория хвостохранилища должна быть ограждена так, чтобы исключить проникновение на нее лиц, не связанных с производством, и домашних животных. В зависимости от местных условий ограда может располагаться на расстоянии около 100–150 м от ограждающих дамб. За пределами ограды территория санитарно-защитной зоны по согласованию с органами Госсаннадзора может использоваться для коллективного сельского хозяйства (земледелие, сенокошение, выпас скота).

Существенным источником загрязнения окружающей среды в районе хвостохранилища могут быть сухие бериллийсодержащие отходы (строительный мусор, шлак, металлолом и т. п.) при их транспортировке и складировании на территории. Потери сухих отходов при транспортировке приводят к загрязнению дорог, а взметывание бериллийсодержащей пыли ветром и при движении автотранспорта — к загрязнению атмосферного воздуха. Атмосферный воздух загрязняется также при открытом сжигании сгораемых отходов на территории хвостохранилища.

Для предупреждения бериллиевого загрязнения окружающей территории при обращении с сухими отходами должны приниматься специальные меры. Перевозить отходы следует только после их предварительного увлажнения на специально оборудованном автотранспорте, исключающем их просыпание. Дороги должны иметь асфальтовое покрытие и в летнее время периодически поливаться. На территории хвостохранилища отходы надо разгружать в отстойный прудок или в специально открытые траншеи. Сжигать отходы необходимо в специальных установках с очисткой отходящих газов и дыма.

На различных технологических этапах производства по получению бериллия образуются и другие твердые отходы, которые в ряде случаев могут быть использованы как сырье для получения побочной химической продукции (фторид аммония, фторид магния и др.) или для изготовления строительных материалов (фторогипс и т. п.). Условия обращения с этими отходами и возможность их использования должны согласовываться с органами Госсаннадзора.

Обращение с загрязненным металлоломом без соответствующих мер предосторожности может привести к бериллиевым поражениям персонала, занимающегося его утилизацией, а также к загрязнению окружающей среды. Механическое воздействие на загрязненный металлолом (погрузка, сортировка, брикетирование и т. п.) и огневая резка могут повлечь за собой загрязнение воздуха рабочих помещений аэрозолями бериллия до уровней, значительно превышающих допустимые. Поэтому металлолом, идущий на утилизацию, должен подвергаться обязательной предварительной очистке.

Огневая резка негабаритного металлолома, как и все другие операции по подготовке загрязненного металлолома к очистке, должна проводиться с соблюдением соответствующих мер техники безопасности и промышленной санитарии, предусмотренных для персонала основных цехов предприятия по получению бериллия (спецодежда, СИЗ органов дыхания и др.).

Средняя загрязненность очищенного металлолома, допускающая проведение дальнейших операций по его утилизации, не должна превышать 5,0 мг/м². Металлолом, не идущий на утилизацию, подлежит захоронению на хвостохранилище.

7.6. Охрана окружающей среды при работе с бериллиевыми сплавами

Захоронение отходов производства по обработке бериллийсодержащих материалов является сложной и до конца не решенной проблемой. Стружка металлического бериллия и сплавов, содержащих более 20% бериллия, которая задерживается в циклонах, подлежит отправке на заводы для переработки в герметичных контейнерах. Вывоз контейнеров из цехов по обработке бериллия и его сплавов можно производить только после тщательной промывки контейнеров снаружи и заключения санитарно-промышленных лабораторий. Отходы сплавов бериллия, содержащих до 2,5% бериллия, не должны смешиваться с отходами других металлов, а должны поступать на предприятия по получению бериллия только в брикетированном виде.

Отходы бериллия, которые не могут быть отправлены для дальнейшей переработки в целях извлечения из них бериллия, должны подвергаться захоронению на хвостохранилище. При неблагоприятных гидрологических условиях расположения мест захоронения отходов бериллия необходимо создание специальных влагонепроницаемых могильников из бетона. Перед использованием могильников следует проверить их водостойкость. Другим методом захоронения бериллиевых отходов является их бетонирование. Полученные бетонные блоки захороняют в траншеи.

Наиболее сложным является захоронение загрязненных фильтров тонкой очистки, так как они большого размера и при возрастающем производстве заполнение ими могильников и мест захоронения происходит очень быстро. Для уменьшения размера захороняемых фильтров необходимо проводить их разборку. При этом ткань ФПП, загрязненную бериллием, а также деревянные части касет фильтров упаковывают в полиэтиленовые мешки и помещают в могильники или бетонируют. Пластмассовые гофры фильтров после тщательной промывки и заключения санитарно-промышленной лаборатории могут быть сожжены.

Сухая разборка фильтров сопровождается интенсивным загрязнением воздуха тонкодисперсным аэрозолем бериллия, концентрации которого в воздухе производственных помещений могут достигать десятков миллиграммов. Поэтому разборку можно производить только в пневмокостюмах с принудительной подачей чистого воздуха. Наиболее рационально разбирать фильтры в увлажненном состоянии на специально оборудованных рабочих местах. Отработанные фильтры помещают в специальные емкости с душирующими установками или полностью погружают в воду. Рабочие места должны быть оборудованы эффективной системой местной вытяжной вентиляции. Изолированные помещения для переработки отходов следует располагать в непосредственной близости от помещения, где находятся очистные сооружения.

Сточные воды, загрязненные бериллием в процессе разборки фильтров, должны поступать на очистные сооружения. Рабочие, выполняющие разборку фильтров и упаковку отходов, кроме общего комплекта спецодежды должны быть снабжены резиновыми сапогами, фартуками и перчатками.

Вывоз упакованных отходов из специального помещения на места захоронения производится после заключения санитарно-промышленной лаборатории. Заполненные отходами траншеи следует засыпать слоем

земли с последующей одерновкой и консервировать с установкой предупредительных знаков.

Отходы, незначительно загрязненные бериллием (пришедшая в негодность спецодежда, использованные респираторы "Лепесток" и др.), не обязательно захоронять в землю. Если их можно отстирать или отмыть, то после заключения санитарно-промышленной лаборатории об отсутствии в них бериллия их можно вывозить на обычные свалки или сжигать.

На предприятиях по обработке бериллия, сплавов, содержащих более 20% бериллия, окиси бериллия, очистке подвергают все сточные воды от уборки помещений, прачечных, душевых, помещений по переработке отходов, промывки деталей и пр. Использование отстойников для очистки сточных вод оказалось малоэффективным вследствие плохой смачиваемости бериллиевой пыли и низкой скорости ее оседания в воде.

Наиболее эффективно применение принудительной фильтрации на пресс-фильтрах с использованием фильтрующего слоя из лавсана. При правильном монтаже фильтров и использовании доброкачественной ткани бериллий в сточных водах после фильтрации не обнаруживается. На эффективность работы фильтров большое влияние оказывает рН сточных вод. Недопустимо попадание кислых стоков на фильтры, так как при этом на них не только оседают водорастворимые соли бериллия, но и могут растворяться частицы металлического бериллия, задержанные на фильтрах, в связи с чем происходит загрязнение водоемов. Экспериментальные исследования эффективности очистки сточных вод при различном рН показали, что при рН = 9,0 растворения металлического бериллия не происходит, при рН = 6,5 растворяется и проходит через фильтры 0,0002% бериллия, а при рН = 4,0 ÷ 0,17%. Поэтому на предприятиях должен быть установлен строгий контроль за рН сточных вод в емкости, помещенной перед фильтрами, так как для эффективного улавливания нерастворимых соединений реакция должна быть нейтральной или слабощелочной.

8. КЛАССИФИКАЦИЯ БЕРИЛЛИЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ

Характер и последовательность развития бериллиевых поражений у человека зависят в основном от химических и физических свойств воздействующего фактора (вид соединения, его растворимость, дисперсность, концентрация, длительность воздействия и т.п.). Поэтому наиболее обоснованной является этиопатогенетическая классификация бериллиевых заболеваний, которая раскрывает зависимость и взаимосвязь между причиной и механизмом развития ответной и патологической реакций (табл. 8.1). Определяющая роль в токсическом действии всех соединений принадлежит бериллию, но это ни в коей мере не отрицает значимости биологического действия того соединения, в состав которого он входит.

Клинические наблюдения свидетельствуют о том, что основным критическим органом является тот, через который бериллий попадает в организм: верхние дыхательные пути и легкие, кожные покровы и слизистые. Исключение составляет ЖКТ, в котором с бериллием образуются комплексы, вследствие чего резко снижается токсичность бериллия при этом пути поступления.

Таблица 8.1

Классификация бериллиевых поражений

Этиологический фактор (вид соединения)	Воздействие	Клиническая форма	Степень тяжести и стадия развития	Исходы, отдаленные последствия и осложнения
Растворимые соединения бериллия	Острое и подострое	Назофарингит, трахеобронхит, бронхоbronхиолит, пневмонит. Конъюнктивит и дерматозы	Легкая, средняя и тяжелая степени	Полное выздоровление. Хронический бронхит. Бронхоэктазы. Эмфизема легких. Бронхиальная астма. Дыхательная недостаточность. Легочное сердце. Сердечная недостаточность
Нерастворимые и малорастворимые соединения бериллия	Хроническое	Хронический, преимущественно гранулематозный и интерстициальный, бериллиоз, быстро и медленно прогрессирующий. Гранулема кожи	I, II и III стадии	Эмфизема. Спонтанный пневмоторакс. Дыхательная недостаточность. Легочное сердце. Сердечная недостаточность
Растворимые, малорастворимые и нерастворимые соединения бериллия	Хроническое	Бериллиоз. Хронический токсический бронхит. Дерматозы	I, II и III степени тяжести хронического бронхита	Эмфизема. Хронический бронхит. Бронхоэктазы. Дыхательная недостаточность. Легочное сердце. Сердечная недостаточность
Сочетание соединений бериллия с другими пылевыми факторами (кварц, никель и др.)	Хроническое	Хронический бериллиоз в сочетании с силикозом и другими поражениями с более выраженной тяжестью течения	I II и III стадии	Эмфизема. Спонтанный пневмоторакс. Туберкулез. Хронический бронхит. Бронхиальная астма. Дыхательная недостаточность. Легочное сердце. Сердечная недостаточность

Все формы бериллиевых поражений, даже при основном их клиническом проявлении со стороны одного органа или системы, являются заболеванием всего организма. Это положение следует учитывать при острых и хронических заболеваниях. Например, при всех видах воздействий наблюдается общетоксический эффект. В настоящее время не возникает сомнения в том, что при хроническом бериллиозе гранулемы обнаруживаются преимущественно в легких, однако они выявляются и в других органах и системах. Это лишний раз говорит о системном поражении организма при хроническом воздействии малорастворимых и нерастворимых соединений бериллия.

Необходимо учитывать особенность динамики развития патологического процесса. После острых и подострых форм интоксикации наступает значительное улучшение, а у некоторых больных — полное выздоровление. Однако у большинства больных происходит более или менее быстрое формирование отдаленных последствий (хронический бронхит, эмфизема, пневмосклероз и т. п.).

Таблица 8.2

Классификация бериллиевых поражений кожи

Этиологический фактор	Воздействие	Патогенез	Течение заболевания	Клинические формы
Растворимые соединения бериллия	Острое	Контактные неаллергические дерматозы	Острое	Эритематозные и язвы
	Хроническое	Контактные аллергические дерматозы	Хроническое	Фолликулярно-узелковые и язвы
	Хроническое	Контактные дерматозы	Острое	Эритематозные и эритематозно-везикулезные
Нерастворимые соединения бериллия (окись бериллия, металл)	Хроническое	Контактные гематогенные, аллергические дерматозы	Хроническое	Эритематозно-папулезные и экзема
	Хроническое	Контактные гематогенные, аллергические дерматозы	Хроническое	Гранулема

При развитии хронического поражения обычно наблюдается различной продолжительности скрытый период, т.е. отрезок времени от начала работы с бериллием до первых клинических проявлений заболевания. Следует подчеркнуть, что этот период колеблется от нескольких месяцев до 10–15 лет. Иногда проявления болезни обнаруживаются через многие годы после прекращения работы с бериллием. У всех больных в дальнейшем заболевание прогрессирует, хотя можно выделить медленно и быстро прогрессирующие формы. Однако даже при своевременной и интенсивной терапии на полное выздоровление большинства больных рассчитывать не следует.

Опыт свидетельствует о том, что как острые, так и хронические бериллиевые поражения легких не осложняются туберкулезным процессом.

При воздействии различных пылевых факторов возможно комбинированное поражение легких. Например, у больных наблюдалось сочетание силикоза и хронического бериллиоза, что в значительной степени определяло особенность и тяжесть течения заболевания.

В основу классификации бериллиевых дерматозов также положен этиопатогенетический принцип. В зависимости от вида соединения, вызвавшего заболевание кожи, все дерматозы делятся на две группы: дерматозы от растворимых соединений и дерматозы от нерастворимых соединений (табл. 8.2).

Ввиду того, что растворимые соединения бериллия обладают как раздражающими, так и сенсибилизирующими свойствами, в первой группе целесообразно выделить две подгруппы: контактные неаллергические и аллергические дерматозы. Во второй группе вследствие отсутствия у нерастворимых соединений раздражающих кожу свойств необходимость подобного деления отпадает.

9. КЛИНИКА, ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ ЛЕГОЧНЫХ ПОРАЖЕНИЙ

9.1. Клиника и диагностика острых поражений

Острые поражения легких могут развиваться при массивном поступлении преимущественно растворимых соединений бериллия. В настоящее время такое поступление может иметь место только в аварийных ситуациях. Тяжесть острых поражений органов дыхания различна, определяется она уровнем токсического воздействия и распространенностью процесса. Наблюдается вариабельность клинических форм поражения от легкого острого назофарингита до острого пневмонита с отеком легкого.

Острый назофарингит. Клиническая картина не имеет специфических черт и существенных отличий от назофарингита простудного характера. Основными жалобами являются раздражение в носу и глотке, выделения из носа, отхождение небольшого количества слизистой мокроты. При объективном обследовании отмечается отечность и гиперемия слизистой носа и глотки, иногда с небольшим количеством точечных кровоизлияний, трещин и изъязвлений. Эти явления, как правило, не сопровождаются повышением температуры, изменениями со стороны крови и другими общими явлениями. Длительность острых явлений 1–7 сут. Однако атрофические изменения слизистой и перфорации носовой перегородки могут держаться в течение нескольких месяцев.

Острый трахеобронхит. Сроки появления клинических симптомов после пребывания в зоне высоких концентраций бериллия варьируют от нескольких часов до 1–2 сут. Этот вид поражения характеризуется сухим кашлем, небольшой одышкой при физическом напряжении, болями за грудиной. При обследовании отмечается гиперемия слизистых верхних дыхательных путей (сочетание с назофарингитом), в легких определяется перкуторно ясный легочный звук, иногда с коробочным оттенком, прослушиваются свистящие сухие хрипы. При рентгенологическом исследовании изменений не выявляется или обнаруживаются усиление и местами нечеткость бронхососудистого рисунка. Температура нормаль-

ная или субфебрильная. Со стороны периферической крови наблюдается умеренный лейкоцитоз с палочкоядерным сдвигом. Ускорение СОЭ до 30 мм. В некоторых случаях отмечаются лимфопения, моноцитоз. Токсические бронхиты характеризуются более легким клиническим течением, чем бронхиолиты или пневмониты. Длительность острого периода от 8 сут до 2–3 нед.

Острый бронхопневмонит и пневмонит. Развивается внезапно или является продолжением острого трахеобронхита при нарастании клинических явлений и распространении патологического процесса на бронхиолы. Появляются одышка, особенно при движении или физическом напряжении, мучительный кашель, сухой или с выделением густой, слизистой мокроты. Иногда, особенно по ночам, наблюдаются удушье приступообразного характера и обильное потоотделение, колющие боли в груди, головная боль, общая слабость, потеря аппетита и похудание. Заболевание протекает с субфебрильной температурой, реже температура повышается до 38°C. При перкуссии легких отмечается легочный звук с коробочным оттенком, в отдельных случаях притупление перкуторного звука в нижних отделах легких. Нижние границы легких нередко опущены, экскурсии их ограничены. Аускультативно на фоне жесткого дыхания выслушивается большое количество сухих, средне- и мелкопузырчатых влажных хрипов, крепитация. Дыхание резко учащено. Отмечаются явления акроцианоза. Тоны сердца приглушены, умеренно выражена тахикардия. Увеличена печень. Нередки диспепсические явления, астенизация, невротические реакции.

При рентгенологическом исследовании обнаруживается усиление бронхососудистого рисунка, а у некоторых больных – перибронхиальная вуаль и точечная инфильтрация различной интенсивности, расширение корней легкого. В тяжелых случаях рентгенологические изменения напоминают картину “снежной бури”. Это свидетельствует о развитии токсического отека легкого. Гематологические показатели характеризуются теми же изменениями, что и при остром трахеобронхите, но более выражены: лейкоцитоз достигает 13–15 тыс, более выражен палочкоядерный сдвиг, СОЭ ускорена до 50 мм/ч.

В течении острого бронхопневмонита и пневмонита различают два периода:

первый – экссудативный, связанный с нервно-сосудистыми нарушениями и непосредственным действием токсического вещества (расстройство кровообращения в легких);

второй – воспалительно-токсический, нередко связанный с присоединением вторичной инфекции. Заболевание приобретает затяжной характер. Наблюдается обилие диффузных экссудативных явлений, выраженная кардиопульмональная недостаточность, интермиттирующая лихорадка. Воспалительный процесс в легких может протекать по типу тяжелой бронхопневмонии. Длительность заболевания колеблется от трех до четырех недель, при осложнениях увеличивается до шести-восьми недель. Молниеносно или медленно развивающиеся бронхопневмонит и пневмонит проходят бесследно или приводят к уплотнениям межуточной, перибронхиальной и периваскулярной ткани с развитием бронхопневмосклероза.

Острое отравление дымом, туманом и парами соединений бериллия в целом приводит к развитию поражений различной степени тяжести. Легкая степень характеризуется раздражением слизистых оболочек глаз, развитием назофарингита, трахеита и трахеобронхита. При средней

степени интоксикации на фоне более выраженных и тяжелых конъюнктивитов и поражения верхних дыхательных путей наблюдается развитие бронхоbronхиолита и пневмонита. При тяжелом поражении отмечается быстрое развитие и наиболее выраженное поражение всей системы дыхания, которое сопровождается тяжелыми клиническими проявлениями, приводящими к отеку легких и сердечно-сосудистой недостаточности.

Наиболее грозным осложнением при острой интоксикации в дальнейшем является очаговая пневмония, значительно ухудшающая течение болезни и прогноз. Эти пневмонии отличаются вялым течением, незначительной температурной реакцией, выраженным астматическим компонентом и склонностью к коллаптоидным состояниям.

9.2. Отдаленные последствия острых поражений

Исходы острых поражений органов дыхания бериллием и его соединениями могут быть различны: выздоровление, развитие осложнений и отдаленных последствий, смерть при крайне тяжелой интоксикации (в редких случаях). Характер исхода определяется уровнем воздействия и тяжестью поражения. Особого внимания заслуживают поздние осложнения, развивающиеся после стихания острых токсических явлений в разные сроки, но не позднее года. Основными поздними осложнениями, развивающимися в отдаленные сроки, являются инфекционные процессы в бронхах и легких (хронический бронхит, пневмосклероз, эмфизема, бронхиальная астма, легочное сердце). Самым частым осложнением является хронический бронхит, нередко осложняющийся ателектазами и дистелектазами с мелкоочаговыми бронхопневмониями, бронхопневмосклерозом, бронхоэктазами, легочным сердцем, дыхательной и сердечной недостаточностью. Ведущей причиной, определяющей склонность к хроническому неблагоприятному течению, является ранний и стойко сохраняющийся бронхоспазм, снижение антиинфекционной резистентности организма, способствующее присоединению и прогрессированию вторичной инфекции, развитию осложнений, упорно му течению болезни.

Немаловажное значение имеют сроки и качество лечения больных в стационаре в остром периоде интоксикации. Недостаточное лечение больных в начальном периоде заболевания, отсутствие систематического наблюдения со всей полнотой лечебно-профилактических мероприятий в дальнейшем нередко приводили к развитию вторичных бронхолегочных осложнений с длительным и упорным течением, в том числе при нетяжелых токсических острых поражениях. Этот факт отрицательно сказывался на уровне и структуре заболеваемости рабочих, перенесших острые формы интоксикаций.

Целесообразно выделять несколько групп больных с отдаленными последствиями. К первой группе должны быть отнесены лица с хорошим исходом острой интоксикации, т.е. находящиеся в состоянии клинического выздоровления. Надежность выздоровления в каждом конкретном случае должна подтверждаться повторными клинико-функциональными, рентгенологическими, лабораторными обследованиями, при которых не обнаруживались признаки заболевания в органах дыхания, а также отсутствием обращений к врачу по поводу болезней органов дыхания.

Во вторую группу выделяют больных с наличием остаточных явлений, в частности отдельных рентгенологических и функциональных симптомов (ограниченный бронхопневмосклероз, отдельные небольшие сдвиги показателей при исследовании функции внешнего дыхания), при полном отсутствии клинических симптомов заболевания органов дыхания.

Особую группу должны составить больные с неблагоприятным исходом острого поражения (хронический бронхит, хроническая пневмония). При наблюдении за этими больными следует учитывать фазу (обострение, ремиссия), стадию процесса, особенности течения болезни, характер и тяжесть имеющихся легочных и внелегочных осложнений.

По течению процесса в бронхах и легких можно выделить следующие контингенты больных:

- больные с почти непрерывно текущим инфекционно-воспалительным процессом в легких и бронхах (при наличии бронхоэктазов);

- больные с рецидивирующим инфекционным процессом в бронхах и легких. При этом возможно выделение редко рецидивирующего типа течения (при наличии одного обострения в год) и часто рецидивирующего типа течения (при двух-пяти рецидивах в год);

- больные в состоянии стойкой ремиссии, с начальными стадиями хронического бронхита или хронической пневмонии.

При наблюдении за больными обязательны следующий комплекс исследований: осмотр терапевта, рентгенограмма органов грудной клетки в двух проекциях, пневмотахометрия, спирография (в покое и при нагрузочных пробах с бронхолитиками), клинический анализ крови, биохимические анализы (протеинограмма, С-реактивный белок, сиаловые кислоты, сулемовая проба), бактериологическое исследование мокроты.

Последствия острых поражений могут приводить к тяжелым и необратимым изменениям системы органов дыхания с последующим вовлечением в процесс сердечно-сосудистой системы и развитием легочного сердца. Все это приводит к снижению, а в дальнейшем к потере трудоспособности и выходу на инвалидность. У некоторых больных, даже только при хроническом бронхите, заболевание быстро прогрессирует, приводит к быстрому формированию тяжелой эмфиземы с выраженной легочно-сердечной недостаточностью.

В связи с своеобразием и тяжестью течения отдаленных последствий острых поражений растворимыми соединениями бериллия необходима своевременная и правильная диагностика начальных их проявлений. Для обнаружения этих изменений особое значение имеют изучение и оценка внешнего дыхания, особенно выявление скрытого бронхоспазма. Своевременная профилактика и лечение, особенно правильное трудоустройство, в большинстве случаев позволяют предотвратить или замедлить прогрессирование заболевания, в частности инфекционных осложнений. Однако у некоторых больных, несмотря на своевременное принятие всех необходимых мер, не удается значительно повлиять на развитие патологического процесса.

9.3. Клиника хронических поражений

Хроническое воздействие соединений бериллия приводит к формированию хронических поражений легких, в частности при воздействии

растворимых соединений возможно развитие хронического токсического бронхита, нередко протекающего с выраженным бронхоспастическим компонентом. Заболевание формируется постепенно и характеризуется преимущественно сухим кашлем, который особенно беспокоит по утрам, и одышкой при физической нагрузке. В легких при auscultации выслушиваются различной тональности сухие хрипы, а в нижних отделах — иногда влажные хрипы. Изменения легких прогрессируют и приводят к развитию и формированию эмфиземы, пневмосклероза, дыхательной и сердечной недостаточности. Присоединение банальной инфекции утяжеляет течение и ускоряет прогрессирование заболевания.

С практической точки зрения по тяжести клинического течения хронические бронхиты разделяются на легкие, средние и тяжелые. Хронические бронхиты легкой степени — это, как правило, неосложненные бронхиты "раздражения" с преимущественным поражением крупных бронхов. Они протекают без заметного нарушения бронхиальной проходимости, поэтому одышка не выражена. Клиническая симптоматика не стойкая. Имеется кашель с большим или меньшим количеством отделяемой мокроты. Хрипы в легких часто не прослушиваются. При исследовании показателей вентиляции легких изменений в каждом конкретном случае не определяется, но при групповом (массовом) исследовании и статистическом сравнении со здоровыми лицами, можно отметить существенные различия по некоторым показателям (ЖЕЛ, ФЖЕЛ в 1 с., мощность выдоха). Следовательно, дыхательная недостаточность при легких бронхитах либо вовсе отсутствует, либо (реже) слабо выражена (I степень).

При хронических бронхитах средней степени тяжести, протекающих с преимущественным поражением мелких бронхов, имеются признаки нарушения бронхиальной проходимости, наблюдаются осложнения в виде астматических проявлений, эмфиземы легких, легочной гипертензии и частых обострений воспалительных явлений. Однако при стойком лечении воспалительные явления исчезают, бронхиальная проходимость восстанавливается. Характерно наличие дыхательной недостаточности I и II степени по обструктивному, а иногда и рестриктивному типу.

Хронические бронхиты тяжелой степени — это всегда осложненные бронхиты со стойким нарушением бронхиальной проходимости и необратимой эмфиземой легких, с частыми обострениями инфекционного процесса, явлениями пневмосклероза и легочного сердца. Такие бронхиты плохо поддаются лечению. Им сопутствуют дыхательная недостаточность II и III степени и признаки сердечной недостаточности. Изменения в бронхо-легочной системе носят тяжелый необратимый обструктивно-рестриктивный характер.

Рассмотренная форма патологии имеет большое значение, так как она возникает при воздействии незначительных концентраций бериллия, превышающих ПДК на порядок или более.

Воздействие нерастворимых и малорастворимых соединений металлов приводит к развитию хронического бериллиоза — диффузного легочного гранулематоза. Эта форма патологии развивается при различной степени и продолжительности контакта. Наблюдается возникновение тяжелых форм бериллиоза при коротком периоде контакта с соединениями. Значительно чаще заболевание развивается после длительного скрытого периода (10–15 лет и более). В нашей стране и за рубежом за последние годы диагностируются лишь единичные новые случаи заболевания, для которых наиболее характерны длительный скрытый

период и менее тяжелое течение. Последний факт обусловлен в значительной степени улучшением условий труда и ранней диагностикой, а следовательно, своевременным выводом из условий производства и лечением. Безусловно, указанные положения не исключают возможности развития заболевания через короткий промежуток времени после начала контакта с нерастворимыми соединениями бериллия.

Клиническая картина хронического бериллиоза характеризуется рядом особенностей, отличающих его от других профессиональных заболеваний легких и приближающих его к аллергическим заболеваниям с системным поражением органов. Так, при бериллиозе клиническая симптоматика более разнообразна и иногда предшествует развитию рентгеноморфологических изменений легких.

На начальном этапе развития и в дальнейшем наблюдаются кашель, чаще сухой, иногда с выделением небольшого количества слизистой мокроты, одышка при небольшом физическом усилии, боль в груди, похудание, периодическое повышение температуры. Из объективных данных преобладают симптомы, свидетельствующие о поражении органов дыхания: цианоз, при физикальном исследовании рано выявляются катальные явления. Все эти изменения прогрессируют.

При исследовании функции дыхания вентиляционные нарушения определяются лишь при наличии бронхобронхиолита, эмфиземы легких, плевро-диафрагмальных и плевро-перикардиальных сращений. Процессы диффузии газов через легочно-капиллярные мембраны нарушаются с начальных стадий бериллиоза, изменяются состав газов крови и кислотно-щелочное равновесие. Эти изменения будут рассмотрены ниже в специальном разделе.

Нарушение диффузионной способности легких ведет к развитию артериальной гипоксемии, увеличению количества редуцированного гемоглобина, что является одним из основных механизмов раннего развития цианоза у больных бериллиозом и последующего увеличения числа эритроцитов.

При рентгенологическом исследовании больных хроническим бериллиозом выявляются две формы изменений: преимущественно интерстициальная и гранулематозная. Однако нередко изменения имеют смешанный характер.

На рентгенограммах интерстициальная форма бериллиоза определяется по диффузному усилению и деформации легочного рисунка в обоих легких за счет периваскулярного, перибронхиального и интерстициального фиброза. При прогрессировании заболевания легочный рисунок имеет мелкосетчатое строение вследствие усиления интерстициального склероза и появления видимых стенок мелких бронхов. Эти изменения более отчетливо выявляются на увеличенных рентгенограммах, которые имеют большое диагностическое значение.

Гранулематозная форма хронического бериллиоза характеризуется наличием в обоих легочных полях, во всех их отделах мелкопятнистых теней на фоне усиленного и деформированного легочного рисунка за счет мелких бронхов и сосудов. Гранулемы могут быть мелкими (1–2 мм) и крупными (3–4 мм). Соответственно выделяют мелкогранулематозную и крупногранулематозную формы. Мелкогранулематозная форма характеризуется наличием в легких множественных мелкоочечных теней, напоминающих наждачную бумагу. Более отчетливо указанные изменения выявляются на первично увеличенных снимках.

Гранулематозные тени перемежаются с буллезной перинодулярной эмфиземой и с поперечным сечением мелких бронхов. Утолщенные бронхи и мелкие деления сосудов создают своеобразную сетчатую структуру деформированного сосудистого рисунка. Корни легких увеличены и уплотнены в основном за счет лимфатических узлов. Определяются плевро-диафрагмальные и плевро-перикардиальные сращения. При прогрессировании патологического процесса возможно слияние гранул с образованием полей фиброза и нарастанием эмфиземы. Корни смещаются кверху и в стороны. Обызвествления гранулем не наблюдаются.

Интерстициальная форма характеризуется более легким клиническим течением и относительно менее выраженным прогрессированием патологического процесса. По всей видимости, эта форма отлична от гранулематоза и является последствием хронического воздействия бериллия без выраженных аллергических изменений: так, при этой форме кожные тесты могут быть отрицательными.

Гранулематозные изменения сочетаются с более тяжелой клинической симптоматикой и более быстрым прогрессированием, а при своевременном лечении уменьшением этих изменений.

В большинстве случаев клиническое прогрессирование заболевания соответствует нарастанию рентгенологически выявляемых изменений. Уменьшение рентгенологических признаков бериллиоза, как правило, сопровождается улучшением клинической картины болезни. Однако клиническое улучшение редко протекает параллельно улучшению рентгено-морфологических проявлений болезни.

В начале развития бериллиоза возможно первичное изменение миокарда вследствие токсического действия бериллия. Все дальнейшие изменения обусловлены прогрессированием легочной недостаточности. Так, состояние сердечно-сосудистой системы характеризуется главным образом симптомами легочного сердца, развивающимися на фоне дыхательной недостаточности, нарастающими параллельно тяжести заболевания и дистрофии миокарда.

При начальных стадиях заболевания изредка определяется глухость сердечных тонов II тона над легочной артерией. При выраженных стадиях бериллиоза тоны сердца глухие, акцент II тона — над легочной артерией, нередко у верхушки сердца систологический шум, отмечаются расстройства периферического кровообращения с выраженной тахикардией, отеками на нижних конечностях, асцитом, увеличенной печенью, замедленным кровотоком, высоким венозным давлением.

Таким образом, при хроническом бериллиозе изменения со стороны сердечно-сосудистой системы характеризуются главным образом симптомокомплексом хронического легочного сердца, а в отдельных случаях — дистрофией миокарда, связанной как с аллергическими проявлениями, свойственными бериллиозу, так и с явлениями гипоксии.

Весьма часто при бериллиозе наблюдается нерезко выраженная лимфопатия, в основном за счет увеличения кубитальных лимфатических узлов, увеличения печени и нарушения функциональных проб (в частности имеют место положительные осадочные пробы), увеличение селезенки. Со стороны ЖКТ отмечается гипосекретия желудочного сока с отсутствием свободной соляной кислоты и значительным снижением общей кислотности.

Специфических изменений со стороны центральной и перифери-

ческой нервной системы при бериллиозе не наблюдается, за исключением явлений астенизации, обусловленных тяжелым соматическим страданием и гипоксией.

В периферической крови наблюдаются повышенное содержание эритроцитов и гемоглобина, повышение вязкости крови, снижение СО₂, особенно при III стадии бериллиоза. Изменения красной крови обусловлены компенсаторной реакцией костного мозга в ответ на гипоксию в связи с изменением диффузионных процессов в альвеолярных мембранах, сопутствующих хроническому бериллиозу.

При бериллиозе наблюдаются нарушение белкового обмена, выражающееся в увеличении общего белка, диспротеинемии с резкой гипергаммаглобулинемией (увеличение глобулиновых фракций с резко выраженной гаммаглобулинемией), в снижении альбумино-глобулинового коэффициента, уменьшение содержания SH-групп в белковых фракциях сыворотки крови. Частота и степень выраженности этих изменений нарастают по мере прогрессирования патологического процесса.

Происходят нарушения и в окислительных процессах — увеличивается коэффициент кислотообразования, указывающий на накопление в организме недоокисленных продуктов. Функция коры надпочечников сохраняется при снижении функциональной резервной возможности.

При гранулематозной форме поражений легких у всех больных наблюдаются положительные кожные пробы с растворимыми соединениями бериллия. Как правило, эти аллергические пробы резко положительны. Высокая аллергизация организма выражается в частых реакциях на самые различные воздействия. Это необходимо учитывать при медикаментозном лечении.

При интерстициальной форме поражения указанные выше изменения реактивности организма выражены в значительно меньшей степени. Так, кожные пробы иногда отрицательны; они положительны чаще у тех больных, которые перенесли в прошлом профессиональные бериллиевые дерматозы.

В биосредах больных (в крови, моче, кале, слюне, желудочном соке и др.) может обнаруживаться бериллий. Повышенное содержание бериллия в биосредах указывает на наличие производственного контакта. Однако резкое увеличение содержания бериллия в биосредах у здоровых людей может служить ранним признаком высокого накопления его в легких и возможности развития поражения в них. Как правило, в отдаленные сроки заболевания не наблюдается увеличенного выведения бериллия по сравнению с естественным фоном.

Необходимо помнить о неравномерности распределения бериллия в организме. Например, отмечено его накопление в желчи. Определение бериллия в биосредах и обнаружение его высокого содержания могут служить показанием для применения комплексонов.

Приведенные данные свидетельствуют, с одной стороны, о преимущественном поражении легких при рассмотренных формах заболевания, а с другой — о поражении всех органов и систем, особенно при гранулематозной форме.

В процессе развития и прогрессирования хронического бериллиоза по выраженности клинических и рентгенологических изменений проходит три стадии развития. Как правило, полного выздоровления достигнуть даже при лечении не удается.

По тяжести течения заболевания выделяются следующие клинические

кие варианты хронического бериллиоза:

—легкий (малосимптомный, медленно текущий, преимущественно интерстициальный) хронический бериллиоз со скудной объективной и субъективной симптоматикой;

—прогрессирующий бериллиоз, преимущественно гранулематозный процесс, с более выраженными клиническими, иммунологическими и рентгенологическими проявлениями, нередко сопровождающийся подъемом температуры.

При прогрессирующем хроническом бериллиозе клинические и рентгенологические признаки болезни возникают параллельно, а в отдельных случаях клинические проявления опережают рентгенологические изменения, при этом наблюдается высокий уровень антилегочных, антикардиальных, антипеченочных и антикареоидных антител, выраженность последних определяет прогрессирование и прогноз заболевания.

Стадии хронического бериллиоза отражают степень выраженности процесса.

Первая стадия бериллиоза: больные предъявляют жалобы на одышку при физическом напряжении, боль в груди, кашель, иногда похудание. Объективно: умеренно выраженные явления эмфиземы легких, катаральные изменения (непостоянно), без заметных нарушений функций внешнего дыхания. Температура нередко субфебрильная. Имеются умеренно выраженные сдвиги в белковой формуле крови за счет увеличения грубо дисперсных фракций, преимущественно γ -глобулинов. На рентгенограмме легких отмечаются умеренное усиление и деформация сосудисто-бронхиального рисунка за счет мелких единиц деления. Тени корней несколько сгущены и уплотнены. При гранулематозной форме на фоне деформированного рисунка видны в небольшом количестве округлые тенеобразования, расположенных в средних и нижних отделах легких.

Вторая стадия характеризуется более активными жалобами: одышка при небольшом физическом усилии, кашель чаще сухой, иногда с выделением скудной мокроты, усиливающийся при движении, сопровождающийся болями в груди, нередко боли в суставах, мышцах, похудание. Объективно: питание понижено, цианоз губ и ногтей, ногти в виде часовых стеклышек, нередко прощупываются мелкие шейные, локтевые лимфатические узлы, число дыханий 20–25 в 1 мин, явления бронхо-бронхиолита, умеренно выраженная эмфизема легких, значительные функциональные нарушения. Явления легочного сердца — увеличение границы сердца вправо, тахикардия, акцент II тона над легочной артерией, увеличение и расщепление зубца Р и Т на ЭКГ. Часто наблюдается увеличение печени с нарушением ее функциональной способности, иногда увеличение селезенки. В белковой формуле крови — гипергаммаглобулинемия с повышением содержания γ -глобулинов до 3 г% и более, снижение альбумино-глобулинового коэффициента, значительные изменения осадочных проб. Температура субфебрильная, с периодическим повышением до 38°C и выше.

На рентгенограмме на фоне измененного бронхо-сосудистого рисунка наблюдают равномерную диссеминацию большого количества округлых тенеобразований, чередующихся с многочисленными округлыми участками просветлений, окруженных цилиндрическим ободком бронхиальных стенок. Корни легких расширены, структура их изменена. Плевро-кардиальные и плевро-диафрагмальные сращения.

Третья стадия: характерны жалобы на одышку, усиливающуюся

при малейшем движении, постоянный сухой кашель, резкое похудание, боли в конечностях, груди, общая слабость. Объективно: выраженный цианоз лица, губ, ногтевых лож. Пальцы имеют форму барабанных палочек, ногти — часовых стеклышек. Число дыханий может доходить до 35–40 в 1 мин. Выражена эмфизема легких. Границы легких опущены. Подвижность легочных краев не определяется. Дыхание ослаблено, прослушивается обилие влажных хрипов, шум трения плевры. Выраженные функциональные нарушения. Прогрессирующее нарастание явлений суб- и декомпенсации легочного сердца. Печень увеличена, функциональная способность ее снижена. Нередко развивается гепато-лиенальный синдром. Резкое нарушение белкового обмена (гипергаммаглобулинемия с повышенным содержанием γ -глобулинов до 4,5 г% и выше, снижение альбумино-глобулинового коэффициента до 0,7–0,5). Температура субфебрильная с частым подъемом до высоких цифр. Компенсаторная полиглобулия, высокая вязкость крови. На рентгенограмме: значительная эмфизематозность, на всем протяжении определяется большое количество гранул, напоминающих картину снежной бури. Между гранулами видны многочисленные мелкие участки буллезной эмфиземы. По мере прогрессирования процесса на фоне этих изменений могут появиться грубые церротические поля, перемежающиеся с крупно-буллезной эмфиземой. Корни расширены, инфильтрированы. Наблюдается наличие грубых плевральных сращений. Сердце типа легочного.

Патологическая анатомия при хроническом бериллиозе характеризуется диффузным поражением обоих легких с наличием плевриальных и плевроперикардиальных сращений. Плевра всегда утолщена. Легкие эмфизематозны, часто с массивными вздутиями и напоминают кистозные легкие. Буллезные вздутия придают поверхности среза губкообразный характер. На поверхности среза выделяются желтовато-белые узелки. Прикорневые лимфатические узлы обычно увеличены.

При микроскопическом исследовании ткани легкого выявляются распространенный неказеозный гранулематоз и хронический межочечный пролиферативный процесс.

Клеточные или гиалинизированные гранулемы наблюдаются в каждом случае хронического бериллиоза. Патоморфологические поражения локализуются главным образом в перегородках альвеол, под плеврой, перибронхиально, периваскулярно, часто на границе вторичных долек. Самые мелкие и самые ранние гранулемы состоят из свободно лежащих концентрически расположенных эпителиоидных клеток, окруженных беспорядочно расположенным скоплением лимфоцитов и иногда плазматических клеток. В дальнейшем между отдельными клетками могут появиться ретикулярные волокна и по мере увеличения отложения коллагена и его организации — небольшие склеротические очаги. С увеличением размера гранулемы и, вероятно, с ее созреванием появляются гигантские клетки Лангганса и клетки, содержащие инородные тела. Гранулемы могут сливаться и образовывать конгломераты. Эпителиоидные и гигантские клетки постепенно гиалинизируются. Внутри гигантских и реже в эпителиоидных клетках можно наблюдать включения трех видов: звездчатые тела, конхоидальные (тела Шаумана) и кристаллы. Звездчатые тела наблюдаются редко и имеют тот же вид, что и при саркоидозе, туберкулезе, лепре, гистоплазмозе и некоторых других заболеваниях.

Конхоидальные тела, которые также наблюдаются при саркоидозе и туберкулезе, в основном располагаются в гигантских клетках и, по

данным американских авторов, обнаруживаются при хроническом бериллиозе в 80% случаев. Конхоидальные тела образуются в гигантских клетках, которые при определенных условиях могут разрушаться, и тогда конхоидальные тела можно обнаружить вне клеток. Существует мнение, что конхоидальные тела могут стимулировать образование гигантских клеток.

Интерстициальный процесс ведет к утолщению альвеолярных перегородок за счет лимфоцитов и плазматических клеток, нарушению диффузионных процессов и развитию альвеолярно-капиллярного блока.

Интерстициальную воспалительную реакцию при хроническом бериллиозе рассматривают как основной дифференциально-диагностический синдром, отличающий данное заболевание от саркоидоза, которому не свойствен интерстициальный процесс. Однако только гистологическая дифференциация во многих случаях невозможна.

При хроническом бериллиозе в пораженном легком наблюдаются изменения в стенках артерий, в периферических легочных сосудах — небольшие множественные эмболы. Были обнаружены и кистозные изменения в легких как результат буллезной эмфиземы при длительно текущих и выраженных формах бериллиоза.

Помимо изменений в легочной ткани патологоанатомические изменения обнаруживаются и в других органах. При макроскопическом исследовании сердце обычно имеет форму легочного, при этом нередко наблюдается тромбоз расширенного ушка правого предсердия. В печени довольно часто отмечаются явления длительного застоя с геморрагическим центральным некрозом. Нередко бывает увеличена селезенка в результате застоя и гиперплазии пульпы. Появляются изменения в костном мозге вследствие застоя и гиперплазии в системе кровотока; происходит утолщение периоста ребер и длинных костей. Первичные гранулематозные изменения обнаруживаются в печени, селезенке, почках, скелетных мышцах, миокарде, плевре, лимфатических узлах и костном мозге. Указанная гранулематозная реакция сопровождалась клеточной реакцией подобно той, которая наблюдалась в легких.

В реальных производственных условиях происходит комбинированное воздействие различных производственных факторов (растворимые и малорастворимые соединения бериллия, бериллий и силиций, комплекс аэрозолей бериллия, меди, цинка, никеля и др.), поэтому наблюдается развитие смешанных форм заболеваний.

Токсико-химическое поражение органов дыхания растворимыми и малорастворимыми соединениями бериллия в некоторых случаях характеризуется прогрессирующим течением по типу хронического бронхита с присоединением вторичной инфекции и периодическими обострениями: подъемом температуры, усилением кашля, выделением гнойной мокроты, появлением одышки, катаральными изменениями в легких, явлениями бронхоспазма, выраженной дыхательной недостаточностью по смешанному типу (обструктивному и рестриктивному). На рентгенограммах легких в этих случаях помимо усиления деформации бронхо-сосудистого рисунка и корней могут определяться двусторонний диффузный гранулематоз, плевродиафрагмальные и плевроперикардальные сращения. Вместе с тем может отмечаться отчетливая выраженность иммунологических изменений, свидетельствующих об активности гранулематозного процесса, свойственного бериллиозу.

Гранных выше клинических проявлений (одышка, цианоз и др.) рентгенологическое исследование, при котором выявляется диссеминированный процесс в обоих легких с мелкими и крупными гранулемами, установление и выявление нарушения диффузионной способности легких, а также положительная и выраженная аллергическая кожная проба с растворимыми соединениями бериллия. В связи с высокой чувствительностью к бериллию и для исключения возможного побочного действия кожной пробы целесообразно использовать капельный метод тестирования. Опыт свидетельствует, что в этом случае общей реакции и ухудшения самочувствия не наблюдается.

Все другие симптомы (изменение рассмотренных выше иммунологических показателей, белковый обмен, клиническая картина заболевания и др.) имеют меньшую диагностическую значимость. Так, увеличение содержания бериллия в биосредах может наблюдаться только в начальном периоде и указывать на наличие производственного контакта.

Дифференциальная диагностика пневмокониоза, саркоидоза легких (болезнь Бенье—Бека—Шаумана), диффузного прогрессирующего интерстициального фиброза (синдром Хамман—Рича), туберкулеза и ревматического диссеминированного поражения легких, милиарного карциноматоза и диссеминированной формы рака должна основываться на рентгенологической характеристике, изменении диффузионной способности легких и повышенной чувствительности к бериллию, а также на связи с условиями труда и клинических особенностях течения заболевания.

За рубежом в последние годы большое значение придается прижизненной биопсии гранулем. На основании наличия металла и клеточной реакции выносится окончательное заключение о характере заболевания. Такой подход обусловлен желанием полностью избежать ошибок в диагностике этого сложного заболевания, особенно в тех случаях, когда отсутствуют достаточно убедительные данные о профессиональном воздействии бериллия.

Значительно сложнее диагностика других форм поражения. Так, весьма трудна диагностика интерстициальной формы хронического бериллиоза. Больные с этим заболеванием встречаются значительно реже, и некоторые авторы отрицают возможность развития этого поражения изолированно. При достаточно характерной рентгенологической картине, более доброкачественном течении, менее выраженном изменении диффузионной способности легких и аллергических реакций кожные пробы с растворимыми соединениями могут быть отрицательными. Они бывают положительными у лиц, перенесших ранее профессиональный дерматоз.

Последствия острых поражений легких и первичный хронический токсический бронхит не имеют четких признаков, отличающих их от банального бронхита и других форм заболевания легких. Однако накопленный клинический опыт и наблюдения в динамике позволяют отметить некоторые, хотя и недостаточно четкие, особенности этой формы поражения.

У значительной части больных, перенесших острую интоксикацию растворимыми соединениями бериллия, наблюдается быстрое прогрессирование заболевания, в частности хронического бронхита. Характерными являются выраженный бронхоспазм и значительное повышение чувствительности к различным химическим веществам, в том числе к лекарством. На фоне прогрессирующей эмфиземы легких достаточно быстро развивается сердечно-легочная недостаточность. Для этой группы

больных характерно раннее появление одышки, особенно при физической нагрузке, нередко это первая жалоба наряду с указанием на наличие кашля. На фоне указанных тяжелых нарушений функции внешнего дыхания могут полностью отсутствовать морфологические изменения, выявляемые при рентгенологическом исследовании.

Присоединение инфекции приводит к значительноному прогрессированию заболевания. Течение болезни характеризуется периодическими обострениями, характер и особенности которых обуславливаются многими причинами: условиями труда и жизни, вредными привычками, характером флоры и др. Определение профессионального характера легочной патологии возможно только на основании сведений о наличии в прошлом острой интоксикации и последующем развитии заболевания, которое приводит в конечном счете к формированию хронического бронхита.

При отдаленных последствиях острых поражений и хроническом токсическом бронхите, как и при хроническом бериллиозе, поражаются и другие органы и системы. Именно поэтому клиническая картина заболевания несколько более выражена, чем при других формах патологии легких. Так, может изменяться белковый обмен, может нарушаться функция печени, могут происходить и другие изменения, свидетельствующие о нарушениях обмена и изменениях реактивности.

9.6. Неотложная помощь при острых поражениях

Основные задачи неотложной помощи при острых поражениях сводятся к предотвращению дальнейшего поступления в организм соединений бериллия, оказанию первой медицинской помощи по жизненным показаниям, проведению в ранние сроки мероприятий по удалению попавшего бериллия и его соединений, устранению тягостных субъективных симптомов, сортировке и обеспечению срочной госпитализации пострадавших.

При оказании неотложной помощи следует учитывать, что ранние клинические симптомы поражений при ингаляционном поступлении могут развиваться сразу или спустя 24–72 ч. Возможно более постепенное нарастание клинических симптомов, в связи с чем необходимо начинать оказывать первую медицинскую помощь и лечение, не ожидая проявления развернутой клинической картины заболевания (табл. 9.1).

При оказании неотложной помощи особое значение имеют своевременность и правильная последовательность проведения мероприятий, учет степени тяжести поражения, его характера и локализации. Необходимо быстрое удаление пострадавшего из зоны токсического действия, освобождение его от средств индивидуальной защиты и обеспечение покоя. Неотложная помощь должна начинаться с проведения срочных мероприятий по жизненным показаниям (устранение острой сердечно-сосудистой слабости, восстановление дыхания), а затем следует принимать меры по предотвращению дальнейшего поступления бериллия в организм и быстрейшему его удалению. Во всех случаях тяжелых поражений первые лечебные мероприятия должны быть направлены на борьбу с возможным отеком легких, с явлениями коллапса.

После проведения мер неотложной помощи пострадавший как можно быстрее доставляется в стационар, где должны быть продолжены основные лечебные мероприятия. Длительность нахождения больного в стационаре определяется тяжестью заболевания.

Таблица 9.1

Этапы и объем неотложной помощи при острых поражениях легких

Клиническая форма	Само- и взаимопомощь	Первая доврачебная помощь на здравпункте	Первая врачебная помощь (здравпункт, поликлиника)	Специализированная врачебная помощь в поликлинике и стационаре
Назофарингит и трахит	Удаление из зоны токсического воздействия. Освобождение от средств индивидуальной защиты. Снятие спецодежды. Направление на здравпункт	Для ликвидации верхних дыхательных путей назначают теплые щелочные ингаляции с 2–3%-ным раствором пищевой соды. В нос закапывают 2–3%-ный раствор эфедрина или 2–3%-ный раствор вокаина с 0,1%-ным раствором адреналина	Назначают симптоматические средства, купирующие кашель, и десенсибилизирующие средства. При резком отеке и спазме гортани обеспечивают срочную эвакуацию. В других случаях – госпитализацию для последующего наблюдения в стационаре до трех суток	При резком рефлекторном отеке гортани с развитием механической асфиксии показано введение десенсибилизирующих средств (пипольфен, димедрол, супрастин, гидрокортизон). При отсутствии эффекта – срочная трахеотомия
Трахеобронхит	То же	То же	Назначают симптоматические средства, купирующие кашель, и десенсибилизирующие средства. При наличии бронхоспастического компонента применяют бронходилататоры. Обеспечивают эвакуацию в стационар	Обязательное наблюдение в стационаре до 3 суток, так как трахеобронхит может явиться предвестником более тяжелого поражения органов дыхания. Назначают: обильное теплое питье (чай, щелочные минеральные воды); раздражающие средства (горчичники, банки на грудную клетку); при кашле – кодеин с гидрокарбонатом натрия, ингаляцию 2%-ного раствора пищевой соды; при бронхоспазме – бром; расширяющие вещества (эфедрин, эуфиллин); по показаниям – антибиотики. В дальнейшем срок пребывания в стационаре определяется тяжестью клинических проявлений

Продолжение табл. 9.1.

Клиническая форма	Само- и взаимная помощь	Первая доврачебная помощь на здравпункте	Первая врачебная помощь (здравпункт, поликлиника)	Специализированная врачебная помощь в поликлинике и стационаре
Острый бронхит, бронхит и пневмония	То же	То же	Внутривенно вводят гипертонический раствор глюкозы 40%-ный — 20 мл и хлористого кальция 10%-ный — 10 мл для повышения осмотического давления и предупреждения отека легких. Проводят длительную кислородотерапию, лучше непрерывную. Назначают сердечно-сосудистые средства (камфора, кардиамин, по показаниям — строфантин) и средства, купирующие кашель и бронхоспазм. Обеспечивают срочную эвакуацию санитарным транспортом в стационар	Обеспечивают строгий постельный режим. Проводят мероприятия, предупреждающие отек легких, в случае присоединения инфекции назначают антибиотики. Дают средства, купирующие кашель, и другие симптоматические средства. Назначают то же, что и при трахеобронхите, а также: для устранения альвеолярной гипоксии (при $PO_2 < 60$ мм рт. ст.) искусственную вентиляцию легких через интубационную трубку или трахеостому; при отеке легких: а) ингаляции пеногасителей (антифомси-лана); б) средства, снижающие давление в малом кругу кровообращения (ганглиоблокаторы, мочегонные, фулфин); в) сердечные гликозиды (строфантин, коргликон)

Как указывалось выше, одной из основных задач неотложной помощи является проведение мероприятий по быстрейшему удалению бериллия из организма. За последние годы разработаны и изучены комплексобразующие соединения (аминоалкилфосфоновые хеланты), которые ускоряют выведение металла из организма. Поэтому в дальнейшем наряду с использованием обычных методов целесообразно применять комплексы — фосфицины и ДТФФ. Наибольшую эффективность следует ожидать при их использовании непосредственно после поражения. Целесообразно применять сочетанное аэрозольное и внутривенное введение комплексонов. В этом случае достигается максимальная элиминация бериллия из легких и других органов. Вводить комплексоны необходимо в течение 5–7 сут.

Более позднее введение комплексонов малоэффективно, а в отдаленные сроки острых токсических поражений бериллием нецелесообразно. При хроническом поступлении бериллия применение комплексонов возможно только при высоком уровне накопления его в легких и других органах в виде 7–10-дневного курса. Применение комплексонов необходимо во всех случаях сочетать с другими основными лечебно-профилактическими мерами.

9.7. Профилактика и лечение поражений легких

Выше был рассмотрен комплекс гигиенических требований, направленный на обеспечение безопасных условий труда и полное исключение возможности развития легочных поражений. При обнаружении заболеваний во всех случаях необходимо проводить тщательный анализ причин их возникновения, чтобы принимать конкретные меры по устранению источников загрязнения воздуха металлом и его соединениями в концентрациях, превышающих ПДК. В большинстве случаев это связано с нарушением технологии производства или его несовершенством, которое необходимо устранить для исключения дальнейшего загрязнения окружающей среды.

Весь комплекс профилактических мероприятий можно разделить на две большие группы. Первую и главную составляет полное обеспечение техники безопасности. Вторую группу составляют медицинские мероприятия, в том числе ранняя диагностика бериллиевых поражений, профилактика развития осложнений и отдаленных последствий, например, после острых и подострых легочных поражений.

Мероприятия по выявлению начальных форм патологии должны проводиться не только при периодических осмотрах персонала, но и при обычных обращениях за медицинской помощью. Врач должен знать и помнить, что начальные проявления заболевания неспецифичны и только при достаточном внимании и углубленном исследовании иммунобиологических показателей, изменения обмена и др. возможно их выявление. Во всех случаях следует изучать и сопоставлять развитие патологии с условиями труда.

После выявления заболевания все больные должны быть поставлены на диспансерный учет и в зависимости от характера и выраженности поражения подвергаться систематическому медицинскому наблюдению и лечению, но не реже 2 раз в год.

Лечение хронического бериллиоза, в особенности его гранулематозной формы, должно быть направлено на подавление аллергической реакции организма. Поэтому определяющее значение имеет применение кор-

Глюкокортикоидной терапии, эффективность которой убедительно показана. Более того, положительный результат гормональной терапии подтверждает наличие гранулематозной формы берилюза. У некоторых больных применение стероидных гормонов приводит не только к резкому клиническому улучшению, но и к полному исчезновению гранул (по данным рентгенологических исследований).

В целом имеющиеся данные свидетельствуют о том, что указанная гормональная терапия при отсутствии противопоказаний к ее применению является основным методом лечения хронического берилюза.

Продолжительность применения и дозировка гормональных средств, в том числе преднизолона и др., определяются стадией и клиническими особенностями течения заболевания. Эффективно наиболее раннее применение этих препаратов. Однако перед началом их применения следует, во-первых, окончательно убедиться в правильности постановки диагноза и, во-вторых, определить стадию заболевания и его прогрессирования. Лечение необходимо начинать как можно раньше.

При I стадии берилюза гормональные средства применяются в средних терапевтических дозах в течение 2–3 мес. В зависимости от степени выраженности положительного эффекта, в частности его стабилизации и даже обратного развития, определяются необходимость проведения повторного курса лечения и его длительность.

При берилюзе II и особенно III стадии необходима более длительная гормональная терапия в течение многих месяцев и вплоть до года. Всем больным проводится курсовая терапия: 2–3 раза в год по 1–1,5 мес., а при III стадии берилюза больным приходится в некоторых случаях проводить постоянную терапию.

Терапия берилюза комплексная и включает в себя оксигенотерапию, широкое применение витаминов, особенно групп В и С, а также — при развитии легочно-сердечной недостаточности — применение кардиологических препаратов.

Больные с осложненным течением острых токсических поражений и хронических токсических бронхитов подлежат тщательному наблюдению и лечению в условиях поликлиники, стационара, санатория. Основными показаниями к стационарному лечению являются: обострение хронического бронхита, острая пневмония, обострение хронической пневмонии, присоединение других осложнений (выраженный астмоидный синдром, легочно-сердечная недостаточность и др.). Основными направлениями стационарного лечения заболеваний являются борьба с инфекционным фактором (антибиотики и сульфамиды), нормализация измененной дыхательной функции (восстановление дренажной функции бронхов, борьба с бронхоспазмом, гипоксемией, легочно-сердечной недостаточностью), стимуляция приспособительных и защитных реакций организма (диета, индивидуальный комплекс лечебной дыхательной гимнастики, физиотерапевтические процедуры).

Выбор лечебных средств должен осуществляться индивидуально и определяться характером инфекционно-воспалительного бронхолегочного процесса (преобладание изменений деструктивного, продуктивного, дистрофического типа или смешанный характер изменений). При осложнениях токсических поражений соединениями бериллия чаще наблюдается преобладание продуктивных или дистрофических изменений. Учитывая особенности действия соединения бериллия, следует уделять внимание тщательно выявлению и снятию нарушений бронхиальной проходимости. Индивидуальный подбор бронхолитиков позволит предотвратить прогрессирование хронических заболеваний бронхов и лег-

ких и развитие тяжелых осложнений (обструктивная эмфизема, легочно-сердечная недостаточность). При стационарном лечении острой пневмонии или при обострениях хронического инфекционного процесса в бронхах и легких, особенно при развитии бронхоэктазов, важное значение имеет упорное лечение антибиотиками и сульфамидами, в том числе эндобронхиальное и аэрозольное их введение.

Следует учесть, что при лечении названных заболеваний, обусловленных двойным патогенным фактором (токсическим и инфекционным), чаще, чем в обычной клинике, могут встречаться аллергические реакции на антибиотики, сульфамиды, ферменты, разжижающие мокроту, и другие лечебные средства. Поэтому, не отказываясь от указанного патогенетического лечения, необходимо сочетать назначение антибиотиков и других средств с добавлением десенсибилизирующих и гормональных (в малом количестве) средств. Особенно тщательно это условие следует соблюдать при аэрозольном введении препаратов. При лечении без учета ведущего значения инфекционного фактора явления вторичной инфекции в бронхах и легких могут тянуться годами и приводить к рецидивам и различным легочным и внелегочным осложнениям. Одним из факторов, определяющих неблагоприятное течение болезни, может быть продолжение контакта больного с раздражающими веществами или пылью, охлаждение тела больного при нерациональном трудоустройстве, наличие добавочной очаговой инфекции верхних дыхательных путей.

После выписки больного из стационара важное место в системе диспансерного наблюдения должно занимать противорецидивное лечение, целью которого является профилактика обострений бронхита или пневмонии.

При подборе средств для профилактического лечения следует учитывать факторы, поддерживающие инфекционно-воспалительный процесс в организме: общую реактивность, наличие и характер вентиляционных нарушений (бронхоспазм и т.п.), фактор аллергии, очаги инфекции верхних дыхательных путей, подлежащие санации, наличие признаков воспалительного процесса в бронхах и легких, оставшихся после последнего обострения, другие осложнения и сопутствующие заболевания. В первую очередь в противорецидивном лечении нуждаются больные с наличием бронхоэктазов, а также с рецидивирующим процессом в органах дыхания. При определении объема противорецидивного лечения необходимо исходить из начальных признаков активности воспалительного процесса. В подострых фазах заболеваний общеклинические признаки воспаления обычно не выражены: отсутствуют температура, лейкоцитоз, повышение СОЭ. Наиболее показательны сдвиги со стороны биохимических тестов (изменения протеинограммы, положительные осадочные пробы и др.).

Для успешного противорецидивного лечения необходимо применять комплекс лекарств, включающий патогенетические и симптоматические средства, который variabelен и должен меняться в процессе лечения каждого больного.

При планировании сроков противорецидивного лечения необходимо учитывать тот факт, что обострения обычно наступают весной и осенью. Следовательно, противорецидивное лечение должно предшествовать возможным обострениям. Частота и продолжительность курсов противорецидивного лечения по общим принципам определяются стадией заболевания, тяжестью течения процесса в бронхах и легких, продолжительностью и стойкостью ремиссии. Однако курсы лечения проводятся не реже 2 раз в год.

При стойкой ремиссии ведущее значение приобретают меры общей профилактики (прекращение контакта с пылью, раздражающими и сенсibilизирующими веществами, закаливание, комплекс дыхательной гимнастики, ограничение курения, диета с богатым содержанием витаминов группы В и С).

9.8. Санаторно-курортное лечение

Санаторно-курортное лечение занимает важное место в комплексном лечении больных хроническим бериллиозом, токсическим бронхитом и лиц с отдаленными последствиями острых поражений. Основная задача терапии сводится к предотвращению дальнейшего прогрессирования патологического процесса. В целях профилактики обострений инфекции важна аэротерапия с проветриванием помещения, прогулками на свежем воздухе, а также другие закаливающие процедуры (ежедневные влажные обтирания тела водой комнатной температуры, душ, обливания и морские купания).

Курортное лечение целесообразно осуществлять как в местных санаториях пульмонологического профиля, так и в санаториях Южного берега Крыма. Местные санатории и санатории-профилактории перед санаториями юга страны имеют существенные преимущества, заключающиеся в том, что пребывание в них не требует времени на акклиматизацию. Поэтому их следует предпочитать при направлении больных на лечение. Этим больным показаны санатории, расположенные в лесной местности с большим содержанием озона и смолистых веществ в воздухе с невысокой влажностью.

Наиболее изучено лечение больных профессиональными заболеваниями легких, проводимое в санаториях Южного берега Крыма, в которых используется комплексное воздействие на организм природных факторов внешней среды, прежде всего климата. Климат Южного берега Крыма, особенно в теплое время года (с мая по октябрь включительно), отличается благоприятными свойствами, позволяющими в наиболее полном объеме проводить климатолечение: аэро-, гелио- и талассотерапию.

Одним из главных эффектов климатолечения является его выраженное десенсибилизирующее действие вследствие стимуляции функции системы гипофиз-надпочечники. Обязательным элементом санаторно-климатического лечебного комплекса является лечебная физкультура, дополняющая и усиливающая терапевтический эффект климатических воздействий.

Положительный эффект после лечения в санаториях Южного берега Крыма отмечается как по субъективным симптомам, так и по объективным показателям, определяемым с помощью инструментальных методов исследования. Одышка, кашель, боли в грудной клетке, головная боль, повышенная раздражительность и другие проявления болезни у большинства больных становятся менее выраженными, а некоторые патологические изменения к концу лечения полностью исчезают. В результате климатолечения существенно улучшается вентиляция и, по-видимому, соотношение вентиляции к кровотоку в легких, что приводит к повышению насыщения крови кислородом и улучшению окислительных процессов в организме. Положительные сдвиги в вентиляции легких и газовом составе крови ведут к благоприятным изменениям гемодинамики, что выражается в выравнивании пульса

и сосудистого тонуса, отчетливой тенденции к нормализации артериального давления, уменьшении функциональной перегрузки правого сердца, улучшении сократительной функции миокарда и т.п. Наиболее эффективно длительное лечение в санаториях.

Отдаленные результаты санаторно-климатического лечения на ранних стадиях заболевания свидетельствуют о сохранении достигнутого эффекта у большинства больных на протяжении 8—12 мес. Ежегодное повторное лечение на курорте закрепляет положительные сдвиги предыдущего курса, способствуя замедлению и стабилизации воспалительно-склеротического процесса в легких.

Санаторно-климатическое лечение на Южном берегу Крыма не показано больным с острыми поражениями органов дыхания бериллием (острые трахеобронхиты, острые бронхоальвеолиты, острые пневмониты), а также больным хроническим бериллиозом III стадии и хроническим токсическим бронхитом тяжелой степени, осложненных инфекцией, спонтанным пневмотораксом или тяжелой дыхательной и сердечной недостаточностью.

9.9. Экспертиза трудоспособности

Вопросы экспертизы трудоспособности при острых интоксикациях соединениями бериллия и при бериллиозе тесно связаны с правильной диагностикой, тяжестью состояния, особенно функцией дыхания и сердечно-сосудистой системы, компенсаторной реакцией организма, осложнениями и отдаленными последствиями.

При решении вопросов трудоустройства больных с выраженными стадиями бериллиоза, силикотуберкулеза, с токсико-химическим поражением (токсический бронхит и грануломатоз), токсического бронхита и пневмосклероза крайне важно учесть, что обратного развития патоморфологического субстрата без лечения не наблюдается; характерным является прогрессирование процесса и после того, как действие этиологического фактора прекратилось.

Однако своевременное прекращение контакта с бериллием и его растворимыми соединениями на начальных этапах развития процесса (первая стадия бериллиоза и легкая степень токсического бронхита) и правильное трудоустройство во многих случаях могут предотвратить развитие болезни.

При подозрении на бериллиоз или другие смешанные формы, о которых шла речь выше, необходимо обязательное строгое динамическое наблюдение с применением рентгенологического контроля.

При диагностировании хронического бериллиоза, токсического бронхита, токсико-химического поражения (токсический бронхит, грануломатоз) независимо от тяжести заболевания дальнейший контакт с бериллием и другими токсическими веществами должен быть прекращен. В каждом конкретном случае решение вопросов экспертизы трудоспособности проводится дифференцированно.

При I стадии бериллиоза, а иногда и при II, при нерезко выраженных токсических бронхитах, отсутствии дыхательной недостаточности, других осложнений и сопутствующих заболеваний, отягощающих основной процесс, обычно у больных трудоспособность сохранена. В отдельных случаях больные бериллиозом I стадии и легкой степенью хронического токсического бронхита могут продолжать работу в контакте с токсич-

ческими веществами при соответствующих санитарно-гигиенических условиях труда и тщательном врачебном контроле. Однако, как правило, даже при 1 стадии бериллиоза больные подлежат рациональному трудоустройству, когда трудовой процесс соответствует функциональным возможностям больного и не приносит ущерба его здоровью.

Работа должна соответствовать специальной и общеобразовательной подготовке больного, его профессиональным навыкам и возрасту. Во всех случаях противопоказана работа с любыми токсическими веществами, пылью, связанная с физическим напряжением, в смены, с выездами в длительные командировки. Если при трудоустройстве снижается квалификация или имеются значительные ограничения трудоустройства больных в связи с малой квалификацией, то такие лица подлежат направлению во ВТЭК.

Для лиц молодого и среднего возраста при трудоустройстве следует учитывать возможности их производственного роста, получения новой квалификации. Эти положения должны учитываться при определении для них срока инвалидности.

Больные с выраженными формами бериллиоза, смешанными формами токсико-химических поражений, при токсическом бронхите и пневмоклерозе с наличием бронхоэктазов и частыми обострениями хронической пневмонии, сопровождающимися дыхательной недостаточностью, легочным сердцем или спонтанным пневмотораксом, должны направляться во ВТЭК для установления инвалидности. В отдельных случаях для такого рода больных может быть рекомендована легкая надомная работа, согласно их трудовым навыкам.

Не рекомендуется дальнейший контакт с бериллием и его растворимыми соединениями после перенесенной острой интоксикации, даже при полном обратном развитии патологического процесса в организме, так как возможна сенсibilизация к указанным веществам.

Больные с последствиями острых токсических поражений бериллием и легочным бериллиозом имеют право на получение возмещения ущерба, причиненного их здоровью. Поэтому при наличии соответствующего направления администрации, профсоюзной организации предприятия или суда и акта расследования профзаболевания ВТЭК определяет степень утраты общей и профессиональной трудоспособности в процентах в соответствии с основными положениями методических указаний "О порядке определения степени утраты профессиональной трудоспособности (в процентах) при освидетельствовании во ВТЭК рабочих и служащих, получивших увечье, либо иное повреждение здоровья, связанное с их работой", утвержденных приказом Министерства социального обеспечения РСФСР № 8 от 24 января 1972 г.

10. КЛИНИКА, ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ ПОРАЖЕНИЙ КОЖИ И СЛИЗИСТЫХ

10.1. Клиника бериллиевых дерматозов

Характер, частота и распространенность бериллиевых дерматозов определяются уровнем непосредственного производственного контакта с соединениями бериллия и их агрегатным состоянием. Так, растворимые соединения бериллия (фтористые, сернокислые, солянокис-

лые, уксусные и другие соли) при попадании на кожу вызывают развитие контактных дерматозов, экзем и язв. Практически нерастворимые соединения (окись, гидроокись, металлический бериллий и др.) при достаточной степени их очистки от примесей солей таких поражений не вызывают. Наблюдаются лишь единичные случаи кожных гранулем при внедрении в глубокие кожные повреждения окиси и металлического бериллия.

Подтверждением роли степени контакта с соединениями бериллия в происхождении дерматозов является распределение больных по профессии и характеру локализации поражений. Бериллиевыми дерматозами преимущественно болеют рабочие основных профессиональных групп, имеющие наибольший контакт с растворимыми соединениями бериллия. Наиболее подвержены бериллиевым дерматозам рабочие со стажем работы до одного года, это связано с низким уровнем профессиональных знаний и отсутствием навыков в работе, что приводит к частым нарушениям правил техники безопасности. Чаще всего бериллиевые дерматозы возникают в течение первого месяца работы. В последующем частота их появления убывает. После полугода работы регистрируются единичные новые случаи бериллиевых дерматозов и экзем. Зависимость частоты возникновения язв от стажа такая же. Это связано с тем, что микротравмы, являющиеся обязательным условием возникновения язв, наиболее часты у рабочих, имеющих малый стаж работы.

Сезонность при бериллиевых дерматозах выражена нерезко. Наблюдается лишь учащение рецидивов дерматитов и экзем в летний период в связи с усилением потливости и мацерации кожи, определяющих увеличение проницаемости соединений бериллия.

Характерна локализация бериллиевых дерматозов преимущественно на открытых участках кожного покрова. Наиболее часто поражаются тыл кисти и сгибательная поверхность нижней трети предплечий. Нередко встречаются поражения кожи лица и шеи. Отмечаются сочетанные поражения различных участков кожного покрова. Указанная локализация бериллиевых дерматозов обусловлена недостаточной защитой их средствами индивидуальной защиты (спецодеждой).

Распространенность поражений при бериллиевых дерматитах различна, чаще она ограничивается областью контакта с соединением бериллия. Однако при воздействии большого количества соединений бериллия, при развитии повышенной чувствительности к бериллию и резко выраженном гипергидрозе возможно развитие распространенных высыпаний и на участках кожного покрова, защищенных СИЗ.

Структура бериллиевых дерматозов тесно связана с условиями труда, которые определяют степень контакта работающих с технологическими растворами. В период пусконаладочных работ, характеризующихся высокой степенью контакта рабочих с соединениями бериллия, в структуре бериллиевых дерматозов преобладают контактные, неаллергические формы: язвы и фолликулярно-узелковые дерматиты. По мере улучшения условий труда, уменьшения степени воздействия соединений бериллия общее число дерматозов снижается, при этом преобладают аллергические формы поражений: эритематозно-везикуло-папулезные дерматиты и экземы.

Бериллиевый контактный дерматит развивается в местах непосредственного воздействия солей бериллия через непродолжительный латентный период, равный в среднем 7–20 сут. В зависимости от морфоло-

гии кожных высыпаний различают: эритематозный дерматит, эритематозно-везикулезный, эритематозно-папулезный и фолликулярно-узелковый.

Эритематозный дерматит развивается чаще у рабочих, имеющих контакт с аэрозолями солей бериллия. Наиболее часто он локализуется на лице, шее, тыльной стороне кистей и предплечьях. Характеризуется возникновением эритемы в месте контакта с соединениями бериллия. Эритема отличается яркостью окраски и небольшой отечностью. Границы ее нечеткие. Эритематозное поражение век ведет к возникновению типичной картины "воспалительных очков". На коже лба, щек и шеи эритема обычно имеет линейное расположение, соответствующее границе прилегания к коже шапочки и воротника. Течение эритематозного дерматита различно. В некоторых случаях возникает кратковременная эритема лица, наблюдаемая часто у рабочих после окончания смены. Через 10–12 ч, происходит полное обратное развитие воспалительной реакции.

У большинства больных эритематозный дерматит держится около 4–5 сут. При продолжении контакта с соединениями бериллия эритематозный дерматит может рецидивировать. Клиническая картина в этом случае приобретает черты хронического воспаления кожи и характеризуется более упорным течением заболевания и наличием зуда. У половины больных с эритематозным дерматитом может наблюдаться сенсибилизация к бериллию.

Эритематозно-везикуло-папулезный дерматит — наиболее распространенная форма контактных бериллиевых дерматитов; возникает чаще при контакте с концентрированными растворами солей бериллия. Это заболевание характеризуется возникновением ограниченных эритематозно-везикулезных и эритематозно-папулезных высыпаний, располагающихся чаще всего на тыльной стороне кистей и нижней трети сгибательной поверхности предплечий. В течении болезни бывают рецидивы. При недостаточном лечении и неправильном трудоустройстве возможна трансформация этого дерматита в экзему.

Фолликулярно-узелковый дерматит в отличие от других форм заболевания — преимущественно контактная неаллергическая разновидность дерматитов. В большинстве случаев он локализуется на сгибательной поверхности нижней трети предплечий. Возникает чаще у рабочих, имеющих контакт с пылью и кристаллами солей бериллия. Название указывает на локализацию узелковых элементов — фолликулы. Изредка возможно развитие папуло-везикулезных элементов в устье фолликула. Размер узелковых элементов варьирует от булавочной головки до мелкой горошины. Цвет их зависит от давности высыпаний. Сразу после появления — узелки ярко-красные, впоследствии по мере стихания острых явлений появляются синюшно-багровые и синюшно-бурые оттенки. Характерно изолированное расположение элементов, отсутствие склонности их к слиянию. При частом рецидивировании высыпаний возможно появление эритематозного фона между узелками, что делает эту форму дерматита сходной с эритематозно-папулезным дерматитом.

Бериллиевая экзема занимает второе место после дерматита в структуре бериллиевых дерматозов. Первичная бериллиевая экзема наблюдается редко. Обычно она является следствием аллергического бериллиевого дерматита. Наиболее часто экзематозные высыпания локализуются на тыльной стороне кистей у основания большого пальца. Характерно возникновение ограниченных, нередко инфильтрированных

эритематозно-везикуло-сквамозных очагов. Везикуляция является признаком обострения экзематозного процесса и сопровождается, как правило, возникновением зуда различной интенсивности. Вне обострения бериллиевая экзема обычно представлена ограниченными эритематозно-сквамозными очагами с умеренно выраженной инфильтрацией, многочисленными трещинками по ходу естественных складок кожи. К признакам экзематозного процесса относится наличие отдаленных от основного очага высыпаний: эритематозных и эритематозно-везикуло-папулезных (аллергиды).

Бериллиевая экзема — аллергическое, часто рецидивирующее заболевание. При нерациональном лечении, неправильном трудоустройстве, наличии сопутствующих заболеваний нервной системы, желудка, кишечника, печени, ряда аллергических заболеваний кожи (эпидермофития) возможен переход бериллиевой экземы в полиэтиологическую, характеризующуюся поливалентной сенсибилизацией, перманентным течением, резистентностью к лечению.

Язвы наиболее распространены при воздействии больших концентраций бериллия. Частота их возникновения непосредственно связана с микротравматизмом. Возникают они на месте кожных повреждений, загрязненных солями бериллия, чаще на поверхности пальцев рук в связи с их частым ранением.

Течение бериллиевых язв длительное. Возникают они после инкубационного периода продолжительностью от одной до нескольких недель. Вначале это островоспалительное поражение кожи с выраженной периферической реакцией. Края язвы в этот период отечны, на дне — гной. С течением времени, по мере стихания острых явлений, у язвы формируется плотный валикообразный край, окружающий кратерообразный дефект. Внутренний край язвы отвесный, несколько поднятый у основания. Сверху язвочка обычно прикрыта плотносидящей серозно-геморрагической коркой, слегка западающей в центре. Ярко-воспалительный цвет начального периода сменяется в это время синюшно-бурыми и бурыми оттенками. В этот период язва представляет типичную картину "птичьего глазка".

При гистологическом исследовании края язвы обнаружено наличие в эпидерме окантоза с гиперкератозом и лимфоплазмозитарного инфильтрата с коллагеновыми волокнами в подлежащем слое. Рубцевание происходит самопроизвольно через 2–3 мес с образованием типичного "штампованного рубца". При этой форме кожные пробы с растворимыми соединениями бериллия отрицательны.

Язва в стадии "птичьего глазка" клинически сходна с другим бериллиевым поражением кожи — гранулемой. Случаи возникновения кожных бериллиевых гранул чрезвычайно редки. Они могут появляться на месте порезов кожи осколками люминесцентных ламп при попадании окиси и металлического бериллия в глубокие кожные повреждения у рабочих, занятых в производстве этих соединений и изделий из них. После длительного скрытого периода — от нескольких месяцев до десяти лет — в основании рубчика на месте бывшего пореза (травмы) появляется узелок плотнотканной консистенции размером от булавочной головки до фасоли. Характерно западение центра и наличие в его области плотнотканной чешуйки-корки. Цвет узлов варьирует от багрово-синюшного до телесного. Гранулема обычно на две трети погружена в толщу кожи. На видимой поверхности обычно имеется растянутый инфильтратом рубчик на месте бывшего кожного повреждения.

При гистологическом исследовании гранулем в дерме наблюдается хроническое воспаление с образованием бугорков с некрозом в центре, разрастанием редких эпителиоидных, веретенообразных клеток с единичными многоядерными клетками типа клеток Ланганса. Кожная гранулема часто сочетается с гранулематозной формой легочного бериллиоза. Кожные пробы с растворимыми соединениями бериллия, как правило, резко положительные.

Наблюдаются единичные случаи кожных гранулем у больных с гранулематозной формой легочного бериллиоза, что подтверждает возможность их гематогенного возникновения.

10.2. Диагностика бериллиевых дерматозов

При диагностике бериллиевых дерматозов необходимо руководствоваться следующими основными критериями:

- наличие производственного контакта с бериллием и его соединениями;
- возникновение заболевания после начала работы с соединениями бериллия и отсутствие кожной патологии (экзема, дерматиты) до поступления на работу;
- характер клинических проявлений и локализация заболевания;
- характер течения заболевания в период работы, в отпуске и при исключении производственного контакта с бериллием;
- наличие сходных кожных поражений у других рабочих данного цеха, рабочего места;
- положительные кожные пробы с растворимыми соединениями бериллия.

Так как клинические проявления бериллиевых дерматозов не имеют специфических черт, диагностическая ценность их невелика. Для диагностики бериллиевого дерматоза важно установить связь кожного поражения с контактом с соединениями бериллия. В связи с этим особую важность приобретает четкое знание технологического процесса, условий труда и действующих профессиональных вредностей на отдельных рабочих местах. Локализация поражений на открытых участках кожного покрова — важный диагностический признак, так как служит доказательством контактного пути развития дерматоза.

Большое диагностическое значение имеет изучение характера течения дерматоза. Появление высыпаний в период работы, улучшение в выходные дни и полное обратное развитие в период отпуска, рецидивирование дерматоза после возвращения на рабочее место — все это подтверждает роль профессиональных факторов в происхождении дерматоза. Выявление групповых, однотипных поражений у рабочих одного цеха облегчает диагностику, хотя появление единичных случаев (гранулем) не исключает их профессионального характера.

При диагностике бериллиевого дерматита и экземы исходным условием должна быть полная уверенность в отсутствии этих болезней у рабочего до начала контакта с бериллием и его соединениями. При клинико-морфологической диагностике дерматитов важен учет первичных элементов. При развитии эритематозно-везикуло-папулезного дерматита возможны затруднения в дифференциации их с экземой. В этих случаях рекомендуется руководствоваться классическими отличительными признаками дерматита и экземы. Немаловажное значение в установлении причины дерматоза имеют кожные пробы растворимыми со-

единениями бериллия. Эти пробы воспроизводят естественный контакт организма с аллергеном и способствуют выявлению повышенной чувствительности к веществу, которое является предполагаемой причиной заболевания. Эпикутанные пробы имеют подсобное значение в диагностике бериллиевых дерматозов: положительные результаты их подтверждают правильность диагноза, но отрицательные не отвергают его.

Получение отрицательных результатов кожных проб при бериллиевых дерматитах, экземах и гранулемах возможно по следующим причинам:

- тестирование проведено, когда сенсибилизация еще не возникла;
- участок кожного покрова, выбранный для тестирования, находится в состоянии анергии;
- метод тестирования недостаточно чувствителен;
- причиной дерматоза является не сенсибилизация к бериллию, а раздражающее действие его солей.

Для выявления аллергических сдвигов при бериллиевых дерматозах рекомендуется пользоваться компрессной беспластырной методикой. В качестве аллергена используется 1%-ный раствор фторбериллата аммония с $pH=5,0 \div 5,5$ и растворы с более низкой концентрацией. Употреблять большие концентрации этого раствора нельзя, так как он обладает раздражающими свойствами. Аллерген накладывается на кожу на 24 ч. Определение результатов производится через 48 и 72 ч, и они оцениваются по шкале Блоха как слабopоложительные (+—), положительные (+, ++), резкоположительные (+++) и бурные (++++).

Положительные реакции, возникшие через 72 ч и позже (на четвертые—седьмые сутки), относятся к реакциям воспаления.

Существует четкая зависимость частоты возникновения положительных кожных проб от клинической формы бериллиевого дерматоза и методики постановки тестов.

Компрессная беспластырная методика тестирования в 2 раза чувствительнее, чем капельная. Поэтому ей надо отдать предпочтение, выявляя аллергическое сдвиги при бериллиевых дерматозах. Повторное тестирование больных рекомендуется проводить не раньше чем через год, так как сближение сроков тестирования может способствовать получению неправильных результатов. Сенсибилизация к бериллию в большинстве случаев моновалентна. Сочетание положительной кожной пробы на бериллий с одним из контрольных аллергенов (формалин, сулема, скипидар) наблюдается редко.

Повышенная чувствительность к бериллию сохраняется длительно (до 17—22 лет) даже при отсутствии клинических проявлений дерматозов.

Аллергологическое обследование методом кожной пробы здоровых людей, не имевших производственного и бытового контакта с соединениями бериллия, показывает отсутствие у них положительных результатов. Следовательно, уровень сенсибилизации к бериллию определяется степенью контакта с бериллием и его соединениями. Важно отметить, что, как правило, у здоровых и больных людей не было отмечено ухудшение состояния здоровья после постановки кожных тестов.

10.3. Лечение бериллиевых дерматозов

Метод лечения бериллиевых дерматозов зависит от клинической формы. При аллергических, часто рецидивирующих дерматитах и экзе-

мах целесообразно проводить лечение в условиях стационара. При отсутствии такой возможности лечение можно проводить амбулаторно с условием устранения контакта с бериллием и его соединениями.

Специфических средств лечения бериллиевых дерматозов не существует. Проводится оно по общим принципам терапии дерматологических больных. Рекомендуется назначение хлористого кальция — 10%, глюконата кальция — 10%, тиосульфата натрия — 30% по 10 мл внутривенно на курс лечения 10–15 инъекций; антигистаминных препаратов (димедрол, супрастин, пипольфен и др.) или гистоглобулина 2 раза в неделю на курс лечения 5–8 инъекций.

В комплексе лечебных средств показано назначение витаминов группы В, особенно В₁, В₆ и В₁₂. Седативные препараты назначаются лицам, страдающим повышенной возбудимостью нервной системы.

Лечебное питание является важным моментом десенсибилизирующей терапии. В рационе больных с аллергическими бериллиевыми дерматитами и экземами показано ограничение соли и углеводов. Исключаются продукты, богатые холестерином, а также вещества и напитки, возбуждающие центральную нервную систему. Необходимо отдавать предпочтение продуктам, богатым калием и кальцием, а также витаминам С, групп В и А.

Общее лечение должно сочетаться с назначением наружных средств. Выбор их зависит от остроты процесса и характера высыпаний. В случае наличия яркой эритемы, отека, мокнутия, везикуляции показаны примочки, влажно-высыхающие повязки, водно-спиртовые взвеси и кортикостероидные мази.

После стихания острых явлений назначается более активная рассасывающая, противовоспалительная наружная терапия пастами, мазями, кремами, содержащими деготь, серу, салициловую кислоту в постепенно возрастающих концентрациях (от 1–2 до 5–10%). Эффективными наружными средствами являются кортикостероидные мази, особенно фторированные соединения (синалар и др.). Лечение фторированными кортикостероидными мазями проводится под постоянным врачебным наблюдением для предупреждения их побочного действия. Нецелесообразно использовать эти мази более двух недель и на обширные участки кожного покрова ввиду возможности их резорбтивного действия. Особенно осторожно эти меры назначаются при локализации высыпаний на лице.

При лечении больных с контактными неаллергическими дерматитами можно ограничиться назначением наружных средств. При выраженной экссудации и отеке эффективны примочки, влажно-высыхающие повязки с 2%-ным раствором борной кислоты, 0,1–0,25%-ными растворами резорцина, ихтиола, риванола, азотнокислого серебра, свинцовой воды, а также с отварами череды, чистотела, шалфея, ромашки и дубовой коры. Для предупреждения пересушивания кожи целесообразно примочки чередовать или сочетать с применением индифферентных жиров, кортикостероидных мазей. В последующем, по мере стихания острых явлений, назначаются мази, содержащие ихтиол, нафталан, деготь, серу. Эффективно сочетанное применение кортикостероидных мазей с пастами и мазями, содержащих рассасывающие препараты в форме двухслойного наложения их на очаг. Первый слой — кортикостероидная мазь, второй слой — мазь или паста, содержащая нафталан, ихтиол или деготь. Сочетанное применение мазей способствует предотвращению раздражения кожи и усилению рассасывающего эффекта.

Значительно сокращает срок лечения бериллиевых язв куретаж дна и краев в целях извлечения попавших частичек и кристаллов солей бериллия. При дальнейшем лечении назначаются синтомициновая или стрептомициновая эмульсия, мазь Вишневского, что препятствует возникновению вторичной инфекции и способствует эпителизации язвы.

При обнаружении бериллиевой гранулемы кожи показано раннее хирургическое удаление ее с последующим втиранием или наложением под окклюзионную повязку на эту область кортикостероидных мазей.

Этим больным следует систематически наблюдаться у терапевта ввиду опасности возникновения легочного гранулематоза.

При бериллиевых дерматитах, экземах показано санаторно-курортное лечение на курортах Сочи — Мацеста, Белокуриха.

10.4. Основные принципы экспертизы трудоспособности у больных бериллиевыми дерматозами

При экспертизе трудоспособности больных с бериллиевыми дерматозами, как и при дерматозах другой этиологии, должны решаться вопросы трудоспособности больных и их правильного трудоустройства.

Кожный покров рабочих бериллиевого производства подвергается влиянию различных соединений бериллия в виде растворов, паров, аэрозолей, пыли и большому количеству химических и физических раздражителей. На эти воздействия кожа не имеет ответных дифференцированных реакций и отвечает в ряде случаев однотипными реакциями. Патологически измененная существующим болезненным процессом, кожа отвечает повышенной реакцией даже на такие влияния внешней среды, которые не оказывают обычно вредного действия на нормальную кожу.

У больных, страдающих заболеваниями кожи, компенсаторные возможности малы, приспособление к неблагоприятным условиям трудовой деятельности снижено. Устойчивость компенсации зависит от индивидуальных особенностей организма, возраста, общего состояния, нервно-психических функций, наличия или отсутствия сдвигов аллергической реактивности и ее степени, сочетания с другими дерматозами (в частности, эпидермофитией). От степени компенсации зависит течение заболевания и трудоспособность. Поэтому врачу при определении профессиональной пригодности больного необходимо установить диагноз заболевания, его этиологию и течение, показания и противопоказания к выполнению данной работы, решить вопросы рационального трудоустройства, рекомендовать мероприятия, направленные на сохранение дальнейшей трудоспособности. При оценке трудоспособности должна учитываться эффективность терапевтических и профилактических мероприятий.

В каждом конкретном случае при проведении экспертизы трудоспособности при бериллиевых дерматозах от врача-эксперта требуется четкое знание не только основ диагностики, особенностей данного заболевания, условий труда в данный момент с учетом вредно действующих факторов, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на течение патологического процесса, но и тех конкретных санитарно-гигиенических условий труда с учетом степени и характера контакта с профессиональными вредностями, при которых больной может продолжать свой труд.

Утрата трудоспособности при бериллиевом дерматозе может быть временной или стойкой. Вопросы установления временной нетрудоспо-

собности, инвалидности, возмещения причиненного ущерба решаются непосредственно лечебным учреждением и ВТЭК в соответствии с действующими инструкциями и положениями.

При контактных бериллиевых дерматитах в зависимости от выраженности клинических проявлений и локализации может наступать временная потеря трудоспособности. Тогда больному выдается листок временной нетрудоспособности на срок лечения, необходимый для восстановления трудоспособности.

В случае частых рецидивов контактного дерматита рекомендуется трудоустраивать больных на работу, связанную с минимальным контактом с растворимыми соединениями бериллия, а в случае продолжения обострений, наблюдающихся чаще всего вследствие постепенного развития сенсибилизации к бериллию, — на работу, полностью исключающую контакт с ними.

При единичных изъязвлениях больной обычно сохраняет трудоспособность и может продолжать свою работу с условием выполнения профилактических мероприятий и лечения.

При множественных изъязвлениях может наступить временная утрата трудоспособности. В этих случаях больной подлежит лечению с выдачей листка временной нетрудоспособности.

У больных аллергическими дерматитами и экземами определяется стойкая моновалентная и поливалентная сенсибилизация к бериллию, сохраняющаяся в ряде случаев много лет, даже после прекращения контакта с металлом, несмотря на десенсибилизирующую терапию. Это обстоятельство обуславливает частые рецидивы заболевания у работающих. Такие больные могут выполнять работу по своей специальности, но без контакта с бериллием и его соединениями. Они должны быть рационально трудоустроены на работу, исключающую контакт с аллергеном.

Больные с бериллиевыми гранулемами кожи, у которых, как правило, наблюдается сенсибилизация к металлу, должны быть трудоустроены на работу вне контакта с бериллием и взяты на диспансерное наблюдение дерматологом и терапевтом. Необходимость выдачи листка временной нетрудоспособности на период лечения при этом заболевании определяется врачом в каждом конкретном случае.

Больные бериллиевыми кожными гранулемами, у которых в отдельных случаях не наблюдается сенсибилизация к металлу, трудоустройству не подлежат. Временная утрата трудоспособности может определяться при этом на период лечения, по окончании которого выздоровевший возвращается к прежней работе.

Рациональное трудоустройство больных, страдающих различными бериллиевыми дерматозами, должно осуществляться комплексно по заключению ВКК и по согласованию с администрацией предприятия и промышленно-санитарной службой.

10.5. Клиника бериллиевых конъюнктивитов

Поражение глаз развивается вследствие непосредственного воздействия бериллия или его соединений в виде кристалла, пыли, аэрозолей, раствора или паров при неблагоприятных условиях труда, в частности при неполной герметизации аппаратуры, недостаточной вентиляции, а также в связи с несовершенством имеющихся защитных средств для глаз. О профессиональном характере заболеваний свидетельствует большая частота

их возникновения у работающих в неблагоприятных условиях труда, а также факт наличия продукта в конъюнктивальном мешке и на ресницах.

Клинически отифференцировать профессиональное заболевание глаз от непрофессионального крайне трудно. Поэтому профессиональным заболеванием слизистой глаз следует считать то, которое возникло в результате непосредственного воздействия бериллия или его соединений на глаз, а также в случае перехода острой формы в хроническую.

Профессиональные заболевания органа зрения по началу и течению делятся на острые и хронические конъюнктивиты.

При острой форме поражения органа зрения в воспалительный процесс вовлекаются кожа век, конъюнктива век и глазного яблока, а также роговая оболочка. На коже век наблюдается гиперемия и отек. В ряде случаев после исчезновения отека на коннективе развивается эритематозный дерматит.

Изменения на слизистой оболочке глаз проявляются в виде отека и гиперемии. В последующем отек конъюнктивы постепенно исчезает, а поверхность ее становится шероховатой и бархатистой, рисунок мейбомиевых железок ступенчатой, гиперемия конъюнктивы медленно уменьшается. Иногда на конъюнктиве век, особенно нижней переходной складки, появляется нерезкая инфильтрация. В начале заболевания резко усиливается васкуляризация лимба, но в дальнейшем постепенно исчезает.

На роговице, чаще в нижнем отделе, появляется отек, поверхность ее становится неровной, а вдоль лимба образуются точечные инфильтраты. Острая форма в большинстве случаев при своевременном оказании неотложной помощи и регулярном лечении заканчивается через 3–7 сут выздоровлением. Если лечение проводится нерегулярно, сроки заболевания удлиняются и острая форма конъюнктивита может перейти в хроническую. Иногда хронический конъюнктивит возникает и без предшествующей острой формы.

При хроническом конъюнктивите наблюдается ряд тех же признаков, что и при остром, но они менее выражены и течение их более длительное. Хронические конъюнктивиты иногда сопровождаются поражением кожи век (эритематозный дерматит). При легкой форме конъюнктивита отмечается незначительная гиперемия слизистой хряща и переходной складки, шероховатость, ступенчатость рисунка мейбомиевых железок.

В более сложных случаях гиперемия конъюнктивы выражена резко и в большей степени на нижних веках, отмечаются отеки и незначительная инфильтрация конъюнктивы, поверхность ее становится шероховатой и бархатистой, отмечаются гипертрофия и увеличение числа сосочков. В результате регулярного лечения большинство симптомов хронического конъюнктивита исчезают бесследно и наступает выздоровление.

10.6. Лечение бериллиевых конъюнктивитов

При заболевании глаз, вызванных бериллием или его соединениями, местная терапия большей частью является единственным и вполне эффективным методом лечения. В ряде случаев местная терапия дополняется общими методами лечения.

Лечение профессиональных поражений глаз начинается с оказания неотложной помощи. Неотложная помощь может быть разделена на три этапа. Важнейшим условием ее является быстрота оказания. Неотложная само- и взаимопомощь состоит в обильном промывании глаз водой, которое осуществляется непосредственно в цехе около рабочего

места, с последующим обращением за помощью на здравпункт. Для промывания глаз водой необходимо предусматривать вблизи рабочего места источник воды.

Неотложная доофтальмологическая медицинская помощь осуществляется фельдшером или врачом на здравпункте и заключается в обильном промывании глаз водой, устранении болевых ощущений путем закапывания раствора дикаина, применении дезинфицирующих глазных капель (раствор альбуцида) или мазей (1%-ная биомитиновая, тетрациклиновая или тетрациклиновая мазь) и направлении больного к специалисту.

Врач-офтальмолог оказывает неотложную офтальмологическую помощь (промывание глаз водой, закапывание раствора дикаина) и продолжает лечение амбулаторно, а при необходимости направляет в стационар. Амбулаторное лечение проводится с выдачей больничного листа. Лечение необходимо начинать с закапывания 3%-ного раствора хлористого кальция или 2%-ного раствора димедрола (2–6 раз в день), каждый раз после 1–2-минутного перерыва следует закапывать раствор тетрациклина или тетрациклиновую мазь (2–3 раза в день) или закладывать за веки кортизоновую или гидрокортизоновую мазь (2–3 раза в день), чередуя ее с биомитиновой или тетрациклиновой мазью. При наличии дерматита на веках необходимо смазывать кожу эмульсией синалара или преднизолоновой мазью.

Лечение хронических конъюнктивитов осуществляется амбулаторно по назначению врача-офтальмолога. При лечении хронических конъюнктивитов используются вещества, которые обладают прижигающим, вяжущим и антисептическим действием, а также витамины и гормоны. Из прижигающих и антисептических средств рекомендуются для лечения азотнокислое серебро, сернокислая медь, сернокислый цинк, танин. Азотнокислое серебро в концентрации 0,1–2% раствора обладает вяжущим и противовоспалительным действием. Проводя лечение проконъюнктивитов, необходимо быть в постоянном контакте с дерматологом, так как при проведении совместной комплексной терапии можно добиться лучшего эффекта в лечении.

Вопросы трудоустройства и экспертизы трудоспособности больных конъюнктивитами решаются в принципе так же, как и при бериллиевых дерматозах.

11. ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ОТБОР И ПЕРИОДИЧЕСКИЕ МЕДИЦИНСКИЕ ОСМОТРЫ РАБОТАЮЩИХ С БЕРИЛЛИЕМ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯМИ

Основная цель профессионального отбора и периодических медицинских осмотров — не допускать к работе лиц с патологией, являющейся противопоказанием к работе на данном производстве, и своевременное обнаружение начальных форм профессиональной патологии, которая может иметь место на данном предприятии.

В приказе Министерства здравоохранения СССР № 400 от 30 мая 1969 г. четко определены основные положения о проведении предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров лиц, подвергающихся в производственных условиях воздействию бериллия, его соединений и сплавов. Так, медицинский осмотр должен проводиться терапевтом и отоларингологом с привлечением по показаниям дерматовенеролога, окулиста и невропатолога. Обязательными являются исследова-

ния периферической крови (лейкоциты, гемоглобин, СОЭ), осадочных реакций и функции внешнего дыхания, а также рентгенография грудной клетки. Периодические медицинские осмотры работающих с бериллием, его соединениями и сплавами должны производиться один раз в 6 мес.

Медицинскими противопоказаниями к работе с бериллием и его соединениями являются следующие заболевания:

- выраженный атрофический ринофарингит, ларингит;
- хронический бронхит, бронхиальная астма, пневмоклероз, эмфизема легких, бронхоэктатическая болезнь;
- органические заболевания сердечно-сосудистой системы с склонностью к декомпенсации;
- хронические заболевания печени;
- нефрит, нефроз, нефросклероз;
- хронические заболевания кожи;
- хронические заболевания переднего отрезка глаз (век, конъюнктивы, роговицы, слезоотводящих путей);
- заболевания эндокринных желез со стойкими нарушениями функций.

Приведенные выше данные о гигиене труда убедительно свидетельствуют о том, что при различных производственных условиях характер взаимодействия и степень опасности возможных последствий не одинаковы. Объем и частота проведения медицинских наблюдений должны определяться особенностями производства. Так, полностью безопасны применение приборов с использованием бериллия, работа с готовыми деталями из его сплавов и их сбор. В этих и во всех подобных случаях нет необходимости в создании каких-либо специальных условий и соответственно в медицинском отборе.

Улучшение условий труда на всех предприятиях, а также отсутствие развития новых бериллиевых поражений позволяют заключить, что периодические медицинские осмотры могут проводиться один раз в год.

При проведении предварительных медицинских осмотров для допуска к работе с наиболее агрессивными соединениями бериллия, в частности растворимыми, необходимо углубленное обследование с обязательным привлечением дерматовенеролога, окулиста, отоларинголога и невропатолога.

При приеме на работу необходимо полностью исключить наличие аллергических заболеваний, реакций и повышенной чувствительности к воздействию химических веществ. Хотя врожденной повышенной чувствительности к бериллию не существует, у лиц, предрасположенных к аллергизации, следует ожидать более быстрого развития сенсибилизации к соединениям металла.

Нецелесообразно допускать к работе с растворимыми соединениями бериллия лиц с хроническими кожными заболеваниями, особенно аллергическими. Лица, страдающие эпидермофитией стоп, до полного излечения не допускаются к работе с водорастворимыми соединениями, так как наличие микоза предрасполагает к возникновению профессиональных поражений кожи и впоследствии способствует более тяжелому их течению.

В связи с особенностями биологического действия бериллия на те производства, где возможно его реальное попадание в организм, беременные женщины и кормящие матери не должны приниматься. Во второй половине беременности и на период кормления грудью женщины должны освобождаться от работы на производствах, связанных с воздействием бериллия.

При работе с металлом и его соединениями неблагоприятные воздействия определяются возможностью попадания бериллия в организм, а также загрязнением кожного покрова и слизистых, поэтому необходимо контролировать поступления бериллия в организм и накопления его в нем на основании определения его содержания в биосредах. Наиболее информативным является исследование мочи и крови, в меньшей степени — кала. При превышении естественного уровня, который был указан выше, можно говорить об увеличении содержания бериллия за счет производственного поступления. При достижении максимального содержания целесообразно исключить дальнейший производственный контакт с металлом до периода нормализации его выведения из организма. Объем и частота проведения исследования биосред определяются с учетом конкретных условий труда.

При работе с растворимыми соединениями необходимо проконтролировать степень загрязнения кожных покровов в период работы и после нее. Уровни содержания бериллия могут превышать естественные (следы металла), но не должны быть более $0,3 \text{ мкг/дм}^2$. После санитарной обработки содержание металла не должно превышать $0,1 \text{ мкг/дм}^2$.

Комплекс медицинских профилактических мероприятий, в частности частота проведения медицинских осмотров, определяется спецификой производства. Например, учитывая закономерность развития дерматозов при воздействии растворимых соединений бериллия, целесообразно наблюдение за рабочими (осмотр кожных покровов) проводить в течение первого месяца еженедельно, а в течение первого полугодия — ежемесячно, что позволит выявить начальные изменения кожи и предотвратить возникновение профессиональных заболеваний и сансублизации к бериллию.

При поступлении на работу и в процессе ее необходимо проводить санитарно-просветительную пропаганду и разъяснять важность соблюдения правил техники безопасности и мер личной защиты для предупреждения возникновения и развития профессиональных бериллиевых поражений. Понимание и знание работающими реальной опасности последствий воздействия бериллия, его соединений и сплавов имеют большое значение в общем комплексе профилактических мероприятий.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева О. Г. Новый взгляд на механизм иммунопатогенеза бериллиоза. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1979, № 2, с. 5–10.
- Алексеева О. Г., Васильева Е. В., Орлова А. А. Прерывание естественной толерантности и влияние химического аллергена бериллия на аутоиммунные процессы. — Бюл. ВОЗ, 1975, т. 51, № 1, с. 48–54.
- Архипова О. Г., Демокидова Н. К. Влияние фосфорорганических комплексонов на активность щелочной фосфатазы при интоксикации бериллием. — Фармакология и токсикология, 1967, т. 30, № 3, с. 352–356.
- Архипова О. Г., Зорина П. А., Сорокина Н. С. Комплексоны в клинике профессиональных заболеваний. — М.: Медицина, 1975.
- Безопасность труда при работе с бериллием и его сплавами/ Акопов И. А., Бобрищев-Пушкин Д. М., Прокопьев А. К., Яценко К. П. — М.: Машиностроение, 1964.
- Бериллий: Пер. с англ./ Под ред. Д. Уайта и Дж. Берка. — М.: Изд-во иностр. лит., 1960.
- Бериллиоз/ Под ред. К. П. Молоканова, А. М. Рашевской, Н. М. Кончаловской. — М.: Медицина, 1972.
- Берман С. И. Меднобериллиевые сплавы. — М.: Металлургия, 1966.
- Бобрищев-Пушкин Д. М., Наумова Л. А., Хелковский-Сергеев Н. А. Определение вида соединений бериллия при различных способах сварки. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1975, № 2, с. 41–43.
- Боровик-Романова Т. Ф., Фарафонов М. М., Грибовская Н. Ф. Спектральное определение микроэлементов в растениях и почвах. — М.: Наука, 1973.
- Быховская М. С., Гринберг С. М., Хализова О. Д. Методы определения вредных веществ в воздухе и других средах: Практическое руководство. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Медгиз, 1961.
- Васильева Е. В., Ермакова Н. Г., Орлова А. А. Специфические гуморальные и клеточные реакции при бериллиозе. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1977, № 7, с. 8–12.
- Васильева Е. В., Иванова Л. А., Соколов В. В. О некоторых воздействиях бериллия на организм. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1979, № 2, с. 15–20.
- Васильева Е. В., Орлова А. А. Роль аутоаллергии в клиническом проявлении бериллиоза. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1973, № 12, с. 27–36.
- Виноградов А. П. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. — М.: Наука, 1962.
- Волков К. Ю. Новые данные о распространении некоторых редких и рассеянных элементов в глинах и углях Подмосковского бассейна. В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым центральных районов Европейской части СССР. — М.: Недра, 1962, с. 182–187.
- Гаркавенко О. С., Умарова Н. У. Содержание SH-групп в белковых фракциях сыворотки крови больных хроническим бериллиозом,

силикозом и силикотуберкулезом. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1966, № 12, с. 27–29.

Гельфон И. А., Орлова А. А. Некоторые клинико-биохимические параллели при бериллиозе. — Клин. медицина, 1969, т. 47, № 6, с. 73–78.

Городинский С. М. Средства индивидуальной защиты для работ с радиоактивными веществами. — М.: Атомиздат, 1967.

Гринберг А. А. Оздоровление условий труда и охрана внешней среды на предприятиях по производству изделий из металлического бериллия. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1976, № 11, с. 6–9.

Ермакова Н. Г. Оценка гиперчувствительности замедленного типа при бериллиозе по тесту торможения миграции лейкоцитов. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1975, № 8, с. 34–40.

Клиника и диагностика бериллиоза: Методические рекомендации/ Орлова А. А., Никитина Л. С., Калитиевская Т. Н., Алексеева О. Г., Васильева Е. И., Николаева Л. Н., Груздева Н. Н. — М.: 1978.

Коган Б. И., Капустинская К. А., Топунова Г. А. Бериллий. — М.: Наука, 1975.

Козлов В. М., Туровский В. Д. Бериллий. Токсикология. Клиника поражения. Гигиена труда/ Под ред. А. И. Бурназяна. — М.: Госатомиздат, 1962.

Кочеткова Т. А. К топологической анатомии бериллиоза. — В кн.: Труды симпозиума по проблеме пневмокониозов. — М.: Медицина, 1959, с. 217–222.

Литвинов Н. Н., Бугрышев П. Ф., Казенашев В. Ф. О токсических свойствах некоторых растворимых соединений бериллия. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1975, № 7, с. 34–37.

Михайлов В. А. Клиника, патогенез и профилактика профзаболеваний химической этиологии на предприятиях цветной и черной металлургии: Сборник статей. — Свердловск: Медицина, 1969. — Ч. 2.

Наумова Л. А. Санитарно-гигиеническая оценка процесса получения алюминий-бериллиевой лигатуры. — Гигиена труда и проф. заболевания, 1969, № 4, с. 36–38.

Новоселова А. В., Бацанова Р. С. Аналитическая химия бериллия. — М.: Наука, 1966.

Пак И. А. Профессиональные заболевания кожи в производстве фотобериллия. — В кн.: Профессиональные интоксикации фторбериллием. — М.: Биомедгиз, 1936, с. 141–146.

Папилов И. И. Бериллий — конструкционный материал (Применение бериллия за рубежом). — М.: Машиностроение, 1977.

Промышленная токсикология и клиника профессиональных заболеваний химической этиологии/ Под ред. А. А. Летавета. — М.: Медицина, 1962.

Рашевская А. М. Бериллий и его соединения: Руководство по внутренним болезням. — М.: Медицина, 1963. — Т. 10.

Санитарные правила по работе с бериллием и его соединениями. — М.: Медицина, 1972.

Силина Г. Ф. Бериллий. Химическая технология и металлургия/ Под ред. В. И. Спицына. — М.: Атомиздат, 1960.

Справочник по гигиене труда/ Под ред. Б. Д. Карпова, В. Е. Ковшило. — Л.: Медицина, 1976.

Справочник профпатолога/ Под ред. Л. Н. Грацианской, В. Е. Ковшило. — Л.: Медицина, 1977.

Сурикова С. Г. Гигиеническая оценка условий труда в производ-

стве бериллиевой бронзы: Материалы конференции молодых научных работников НИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР. — М.: Медицина, 1968.

Токсикология бериллия: Сборник переводов и рефератов иностранной периодической литературы/ Под ред. А. А. Летавета. — М.: Изд-во иностр. лит., 1953.

Хелковский-Сергеев Н. А. Вопросы гигиены труда при различных видах сварки бериллия и его сплавов: Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. мед. наук. — М.: 1974.

Человек. Медико-биологические данные. Доклад рабочей группы Комитета II МКРЗ по условному человеку (Публикация МКРЗ 23): Пер. с англ. — М.: Медицина, 1977.

Andrews G. G., Kazemi H., Hardy H. L. Patterns of lung dysfunction in chronic beryllium disease. — Amer. Rev. Resp. Dis., 1969, v. 100, N 6, p. 791–800.

Bencko V. Hygienicko-toxicologica beryllia. — Ces. Hyg., 1974, v. 19, N 9, p. 447–458.

Cianciara M. Delayed-type immune response by means of skin test with beryllium chloride and beryllium sulfate in workers exposed to beryllium and its compounds. — Pol. Hyg. Lek., 1976, v. 31, N 8, p. 305–306.

Curtis G. H. The diagnosis of beryllium disease, with special reference to the patch test. — Arch. Industr. Hlth, 1959, N 19, p. 150–153.

Frank E., Bulter I. Concentration of beryllium from biological samples. — Amer. Industr. Hyg. Ass. J., 1969, v. 30, p. 559–563.

De Nardi J. M. Acute pneumonitis in beryllium workers with case histories. — In: Pneumoconiosis. — N. Y.: 1950, p. 82–130.

De Nardi J. M., Van Orstrand H. S., Carmody M. G. Chronic pulmonary interstitial granulomatosis (Preliminary report on two patients treated with ACTH). — Arch. Industr. Hyg. Occ. Med., 1951, N 3, p. 543–546.

Dutra F. R. The pneumonitis and granulomatosis peculiar to beryllium workers. — Amer. J. Path., 1948, v. 24, N 6, p. 1137–1165.

Gary J. E., Schatzki R. Radiological abnormalities in chronic pulmonary disease due to beryllium. — Arch. Industr. Hlth, 1959, v. 19, p. 117–125.

Hardy H. L., Tabershaw I. R. Delayed chemical pneumonitis occurring in workers exposed to beryllium compounds. — J. Industr. Hyg. Toxicol., 1946, v. 28, N 5, p. 197–211.

Hasan F. M., Kazemi H. Chronic beryllium disease: a continuous epidemiologic hazard. — Chest, 1974, v. 65, N 3, p. 289–293.

Kang K. J., Bice D., Hoffman E. Experimental studies of sensitization to beryllium, zirconium and aluminium compounds in the rabbit. — J. Allergy Clin. Immunol., 1977, v. 59, N 6, p. 425–436.

Kimmerle G. Beryllium. — Berlin — Heidelberg — New York, Springer-Verlag, 1966, p. 1–86.

Komitowsky D. Beryllium-induced bone sarcomas. — Verh. Dtsch Ges. Pathol., 1974, Bd 58, S. 438–440.

Kühne W. Chronische Berylliose der Lungen unter besonderer Berücksichtigung der Pathomorphologie. — Z. Erkr. Atm., 1975, Bd 143, N 3, S. 263–269.

Luke M. Z., Hamilton L., Hollocher T. C. Beryllium — induced misincorporation by a D. N. A. polymerase: a possible factor in beryllium toxicity. — Biochem. Biophys. Res. Commun., 1975, v. 62, N 2, p. 491–501.

Luckens Mark M. Some aspects of the toxicology of beryllium. — Abstr. Int. Congr. Toxicol. Toronto. 1977. Oakville. Ont., 1977, 14.

Meehan W. R., Smythe L. E. Occurrence of beryllium as a trace element in environmental materials. — Environ. Sci. Technol., 1967, v. 1, N 10, p. 839–844.

Reeves A. L. Endangering of beryllium in the environment. — Z. Arbeitsmed., 1974, Bd 24, S. 46–56.

Reeves A. L. Berylliosis as an autoimmune disorder. — Ann. Clin. Lab. Sci., 1976, v. 6, N 3, p. 256–262.

Reeves A. L. Beryllium in the environment. — Clin. Toxicol., 1977, v. 10, N 1, p. 37–48.

Resnick H., Rochie M., Morgan W. Immunoglobulin concentrations in berylliosis. — Amer. Rev. Resp. Dis., 1970, v. 707, N 4, p. 504–510.

Robert A. G. A consideration of the roentgen diagnosis of chronic pulmonary granulomatosis of beryllium workers. — Amer. J. Roentgenol., 1950, v. 63, N 4, p. 467–487.

Role on in vitro and in vivo tests of hypersensitivity in beryllium workers/Price C.D., Williams W., Jones, Pugh A., Joynson D. H. — J. Clin. Path., 1977, v. 30, N 1, p. 24–28.

Ross W. D., Pyle J. L., Sievers R. E. Analysis for beryllium in ambient air particulates by gas chromatography. — Environm. Sci. Technol., 1977, v. 11, N 5, p. 467–471.

Stoeckle J. D., Hardy H. L., Weber A. L. A chronic beryllium disease: Long-term follow-up of 60 cases, a selective review of the literature. — Amer. J. Med., 1969, v. 46, N 4, p. 545–561.

Stokinger H. E. Beryllium industries hygiene aspects. — N. Y. — L.: Acad. Press, 1966.

Tapper L. B., Hardy H. L., Chamberlain R. I. Toxicity of beryllium compounds. — Amsterdam — London — New York: 1961.

Utidian H. M. D. Occupational exposure to beryllium and its compounds-criteria for a recommended standard. — J. Occ. Med., 1973, v. 15, N 8, p. 659–665.

Vacher J., Delesalle F., Deraedt R. Mechanism of the hypersusceptibility to the lethal effect of endotoxin /ET/ induced in mice by injection of beryllium phosphate. Toxicol. Appl. Pharmacol., 1970, v. 40, N 1, p. 99–108.

Vacher J., Deraedt R., Benzoni J. Compared effects of two beryllium salts (soluble and insoluble): toxicity and blockade of the reticulo-endothelial system. — Toxicol. Appl. Pharmacol., 1973, v. 24, N 3, p. 497–506.

Wagner W. D., Holtz I. I. Comparative chronic inhalation toxicity of beryllium ores, bertrandite and beryl, with production of pulmonary tumors by beryl. — Toxicol. Appl. Pharmacol., 1969, v. 15, N 7, p. 10–29.

Waksman B. H. The diagnosis of beryllium disease with special reference to the patch test. — Arch. Industr. Hlth, 1959, v. 19, p. 154–158.

Williams W. Jones. Beryllium disease-pathology and diagnosis. — J. Soc. Occ. Med., 1977, v. 27, N 3, p. 93–96.

Zorn H., Stiefel Th., Diem H. The importance of beryllium and its compounds for the industrial physician — 2 communication. — Z. Arbeitsmed. Arbeitssch. Prophyl. 1977, Bd 27, N 4, S. 83–88.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Физико-химические свойства бериллия, его соединений и сплавов	5
1.1. Минералы бериллия	5
1.2. Бериллий и его соединения	5
1.3. Состояние бериллия в водных растворах	5
2. Методики определения бериллия в производственной и внешней среде	10
2.1. Способы выделения бериллия из растворов сложного состава	10
2.1.1. Выделение бериллия экстракцией ацетилацетонатного комплекса	11
2.1.2. Выделение бериллия ионообменным методом	11
2.2. Способы конечного определения бериллия	12
2.2.1. Визуальное флуориметрическое определение бериллия с морином по стандартной шкале	12
2.2.2. Определение бериллия с морином на флуориметре ЭФ-ЗМА	13
2.2.3. Фотоколориметрическое определение бериллия с бериллином П	13
2.2.4. Фотоколориметрическое определение бериллия с фосфоназо Р	13
2.2.5. Фотоколориметрическое определение бериллия с арсеназо I	14
2.2.6. Фотоколориметрическое определение бериллия с хромазуролом S	14
2.3. Определение бериллия в воздухе рабочих помещений	15
2.3.1. Разложение проб, содержащих растворимые соединения бериллия	15
2.3.2. Разложение проб, содержащих нерастворимые соединения бериллия	15
2.3.3. Разложение проб, содержащих силикаты бериллия или высокопрокаленные окислы	15
2.4. Определение бериллия в атмосферном воздухе	16
2.5. Определение загрязненности рабочих поверхностей	16
2.6. Определение бериллия в выпадениях методом липких экранов	16
2.7. Определение бериллия в почве	16
2.8. Определение бериллия в снеге, воде водоемов и производственных сточных водах	17
2.8.1. Разделение фаз и определение бериллия во взвешях	17
2.8.2. Определение растворенного бериллия	17
2.9. Определение бериллия в машинном масле	17

2.10. Определение бериллия в смывах с растений	17
2.11. Определение бериллия в растениях	18
2.12. Определение бериллия в молоке	18
2.13. Определение бериллия в биосредах и органах	18
2.14. Экспресс-методы оценки содержания растворимых соединений бериллия в воздухе, на рабочих поверхностях и кожных покровах человека	19
2.14.1. Определение бериллия в воздухе	19
2.14.2. Определение бериллия на рабочих поверхностях	20
2.14.3. Определение бериллия на кожных покровах	20
3. Распределение и обмен бериллия в организме при различных путях поступления	21
3.1. Ингаляционный путь поступления	21
3.2. Поступление через желудочно-кишечный тракт	23
3.3. Поступление через кожу	23
3.4. Внутримышечное введение	24
3.5. Внутривенное введение	25
3.6. Переход от матери к плоду	26
4. Токсикология бериллия и его соединений	28
4.1. Механизм токсического действия	28
4.2. Зависимость токсичности от вида соединений и путей их поступления	28
4.3. Общая характеристика токсического действия	30
4.3.1. Ингаляционный путь поступления	30
4.3.2. Поступление через желудочно-кишечный тракт	32
4.3.3. Поступление через кожу	32
4.3.4. Внутривенное введение	33
4.4. Канцерогенное действие	34
4.5. Аллергическое действие	35
5. Гигиена труда при получении и обработке бериллия и его соединений	36
5.1. Гигиена труда при получении бериллия	37
5.2. Гигиена труда при технологических процессах порошковой металлургии бериллия	39
5.3. Гигиена труда при работе с растворимыми соединениями бериллия	40
5.4. Гигиена труда при работе с нерастворимыми соединениями бериллия	41
5.5. Методы, объем и периодичность контроля условий труда при работе с бериллием	43
5.6. Средства индивидуальной защиты	47
5.7. Очистка рабочих поверхностей и средств индивидуальной защиты	48
5.8. Санитарно-бытовое обслуживание и личная гигиена персонала	51
6. Гигиена труда при получении и обработке сплавов, содержащих бериллий	53
6.1. Гигиена труда при получении и обработке сплавов с высоким содержанием бериллия	53
6.2. Гигиена труда при получении и обработке сплавов с низким содержанием бериллия	57
6.3. Определение вида соединений бериллия, выделяющихся при получении и обработке сплавов	60

7. Охрана окружающей среды	61
7.1. Естественное содержание бериллия в окружающей среде	62
7.2. Содержание бериллия в биологических объектах	62
7.3. Содержание бериллия в топливе и загрязнение им окружающей среды	63
7.4. Естественное содержание бериллия в органах и биосредах человека	63
7.5. Охрана окружающей среды при получении и обработке бериллия и его соединений	65
7.6. Охрана окружающей среды при работе с бериллиевыми сплавами	68
8. Классификация бериллиевых поражений	69
9. Клиника, диагностика и лечение легочных поражений	72
9.1. Клиника и диагностика острых поражений	72
9.2. Отдаленные последствия острых поражений	74
9.3. Клиника хронических поражений	75
9.4. Характер и динамика развития дыхательной недостаточности	83
9.5. Диагностика поражений легких	85
9.6. Неотложная помощь при острых поражениях	88
9.7. Профилактика и лечение поражений легких	91
9.8. Санаторно-курортное лечение	94
9.9. Экспертиза трудоспособности	95
10. Клиника, диагностика и лечение поражений кожи и слизистых	96
10.1. Клиника бериллиевых дерматозов	96
10.2. Диагностика бериллиевых дерматозов	100
10.3. Лечение бериллиевых дерматозов	101
10.4. Основные принципы экспертизы трудоспособности у больных бериллиевыми дерматозами	103
10.5. Клиника бериллиевых конъюнктивитов	104
10.6. Лечение бериллиевых конъюнктивитов	105
11. Профессиональный отбор и периодические медицинские осмотры работающих с бериллием и его соединениями	106
Рекомендательный список литературы	109

ИБ № 528
Сергей Александрович Кейзер,
Ася Александровна Авдюхина,
Ольга Григорьевна Алексеева и др.

БЕРИЛЛИЙ

Токсикология, гигиена, профилактика,
диагностика и лечение бериллиевых поражений

Справочник

Редактор Е. В. А в а л о в а
Художественный редактор А. Т. К и р ь я н о в
Обложка художника А. И. Ш а в а р д а
Технический редактор Л. Ф. Шкилевич, Т. А. Кобзарь
Корректор Е. В. Ж у р и н а

Подписано к печати 22.11.79. Т-20434.
Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная № 2. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,5. Уч.-изд. л. 9,56. Тираж 2200 экз.
Цена 50 к. Зак. изд. 75192. Зак. тип. 1402
Атомиздат, 103031 Москва К-31, ул. Жданова, 5.

Московская типография № 9 Союзполиграфпрома
Государственного комитета СССР по делам из-
дательств, полиграфии и книжной торговли.
Волочаевская ул., 40