

**ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА
ПРИ РАЗВИТИИ БЕРИЛЛИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Кожухова Н.А., Крупкин А.Б., Трофимчук С.Н., Грабский Ю.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины»

Федерального медико-биологического агентства

(ФГБУН НИИ ПММ ФМБА России)

196143, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,

пр. Юрия Гагарина, 65

Резюме. Развитие различных отраслей промышленности связано с использованием бериллия и его соединений, представляющих опасность для здоровья работников. Несмотря на внедрение более безопасных технологических операций, учитывая высокую токсичность бериллия, актуальной проблемой остается разработка комплекса мероприятий, направленных на предупреждение неблагоприятных последствий для состояния здоровья персонала предприятий и населения. Результаты исследований показали, что основным вредным производственным фактором на предприятиях по получению и переработке бериллия являются аэрозоли бериллия, поступающие в воздух производственных помещений и загрязняющие не только воздушную среду, но и различные поверхности, спецодежду и кожные покровы персонала. В статье представлен анализ данных о зависимости изменений в состоянии здоровья людей, подвергавшихся аэрозольному воздействию бериллия в различных концентрациях. Разработаны перспективные направления исследований по проблеме обеспечения безопасных условий труда и охраны здоровья работников предприятий по получению и переработке бериллия.

Ключевые слова: бериллий; получение и переработка; безопасные условия труда; загрязненность воздушной среды

**THE PROBLEM OF ENSURING SAFE WORKING CONDITIONS
IN THE DEVELOPMENT OF BERYLLIUM PRODUCTION**

Kozhukhova N.A., Krupkin A.B., Trofimchuk S.N., Grabsky Yu.V.

Research institute of industrial and maritime medicine

of Federal medical biological agency

(RIIMM FMBA of Russia)

196143, Russian Federation, St. Petersburg,

Yuri Gagarin Ave., 65

Summary. The development of various industries is associated with the use of beryllium and its compounds that pose a health hazard to workers. Despite the introduction of safer technological operations, taking into account the high toxicity of beryllium, the actual problem is the development of a set of measures aimed at the prevention of adverse effects on the health of the personnel of enterprises and the population. The results of the research have shown that the main harmful production factor at the enterprises for beryllium production and processing are beryllium aerosols entering the air of the production premises and polluting not only the air environment, but also various surfaces, working clothes and skin of the personnel. The study presents an analysis of the data on the dependence of changes in the health of people exposed to beryllium aerosols in different concentrations. Prospective directions of researches on the problem of providing safe working conditions and health protection of workers at beryllium production and processing enterprises are developed.

Key words: beryllium; extraction and processing; safe working conditions; air pollution

Введение. Продукция бериллиевого производства имеет стратегическое значение и применяется в качестве конструкционных материалов в атомной, космической и электронной промышленности. Процессы получения и переработки бериллия и изделий из него, как известно, связаны с потенциальной опасностью его неблагоприятного воздействия на состояние здоровья работников [1–6].

В настоящее время объем производства бериллия в мире составляет 300 т в год. Ведущая роль принадлежит США (70% мирового рынка), также получение бериллия и производство изделий из него осуществляются в Казахстане (20% мирового рынка) и КНР (10% мирового рынка) [7]. В нашей стране при наличии нескольких месторождений добыча бериллия была фактически прекращена в 1989 году.

В предстоящие годы ожидается восходящий тренд на мировом рынке бериллия. С учетом сложившейся геополитической ситуации и санкционного давления стран-экспортеров бериллия представляется актуальной проблема разработки и внедрения новых

отечественных технологий получения бериллия и производства изделий из него. Важным аспектом является импортозамещение в этой высокотехнологичной сфере, учитывая значимость данного сырья для обороны и безопасности.

Ранее в России в целях обеспечения бериллием различных отраслей промышленности предусматривалась переработка утилизируемых бериллиевых изделий в кондиционные продукты. Этот процесс был реализован на базе имеющихся предприятий путем их реконструкции, технологического переоснащения и последующего развития [8]. В последнее время разработана новая технология получения бериллия, испытание и внедрение которой предусматриваются в ближайшие годы.

Цель исследования. Анализ медико-гигиенических аспектов обеспечения безопасных условий труда при развитии предприятий по получению бериллия и производству изделий из него.

Материалы и методы. Проведен анализ научно-технической литературы и результатов собственных исследований состояния производственной среды и здоровья работников предприятий по получению бериллия и производству изделий из него.

Результаты и их обсуждение. Основное преимущество новых технологий получения бериллия заключается в снижении количества производственных участков, сокращении номенклатуры применяемых реагентов, а также использовании для изготовления оборудования относительно дешевых материалов. Последнее обстоятельство свидетельствует, в свою очередь, о снижении степени потенциальной опасности загрязнения производственной среды бериллием и его соединениями.

В настоящее время единственным документом, действующим в Российской Федерации и регламентирующим санитарно-гигиенические требования по обеспечению защиты и сохранению здоровья персонала, населения и охране окружающей среды от вредного воздействия бериллия и его соединений являются методические указания МУ 2.2.1.25-06 «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации предприятий по производству и переработке бериллия и его соединений» [9]. Нормативы содержания бериллия в производственных помещениях и окружающей среде приведены в СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [10].

Необходимо отметить, что отсутствие утверждённых в установленном порядке и зарегистрированных в Минюсте России «Санитарных правил и норм проектирования и эксплуатации предприятий по производству и переработке бериллия», как ключевого нормативно-правового акта в указанной сфере, несет риски невыполнения требований

безопасности и фактически не позволяет предприятиям осуществлять свои функции по охране труда работников в рамках отечественного законодательства.

Результаты исследований позволили установить, что реконструкция, опытная эксплуатация, в условиях внедрения новых технологических процессов на бериллиевых производствах сопровождаются рисками значительного ухудшения условий труда работающих и существенного загрязнения производственной среды бериллием. При этом концентрация бериллия в воздухе производственных помещений может в десятки и сотни раз превышать значения предельно допустимых концентраций (ПДК), следствием чего может быть возрастание производственно обусловленной заболеваемости и возникновение профессиональных заболеваний у персонала [2].

Анализ данных многолетних наблюдений показал, что основным вредным производственным фактором на бериллиевых производствах являются аэрозоли бериллия, поступающие в воздух производственных помещений и загрязняющие не только воздушную среду, но и различные поверхности, спецодежду и кожные покровы персонала. В гигиеническом плане наиболее опасными технологическими этапами являются те, на которых происходит диспергирование бериллия в воздух производственных помещений [1, 2]. Это, например, стадии выщелачивания и гидролиза, сопровождающиеся экзотермическими процессами. Поэтому на данных стадиях в технологических помещениях целесообразно размещение оборудования, непрерывно контролирующего концентрации и дисперсный состав бериллийсодержащих аэрозольных частиц в воздухе рабочих помещений, в атмосфере прилегающих к производству территорий и в сточных водах [3].

По степени опасности эти этапы условно можно классифицировать следующим образом: гидрометаллургическое производство, механическая обработка изделий и сплавов из бериллия, металлургическое производство, получение оксида бериллия, получение порошков бериллия (таблица 1).

Таблица 1

Загрязненность воздушной среды бериллием на различных технологических этапах его получения

Этап, технология	Концентрация аэрозолей бериллия в воздухе рабочей зоны, в ПДК
Гидрометаллургическое производство	до 10
Механическая обработка изделий и сплавов из бериллия	до 5
Металлургическое производство	до 50 и более
Получение оксида бериллия	до 70 и более
Получение порошков бериллия	до 100 и более

В плане гигиенической оценки новых технологических процессов представляют интерес результаты ранее проведенных исследований по анализу состояния воздушной среды производственных помещений при освоении новой технологии и штатной эксплуатации цеха получения дистиллированного бериллия на предприятии по получению и обработке бериллия (таблица 2) [2].

Таблица 2

Уровни содержания бериллия в воздухе производственных помещений цеха получения дистиллированного бериллия

Наименование производственного участка	Концентрации бериллия, мкг/м ³							
	Пусковой период				Штатная эксплуатация			
	$\bar{X} \pm S_x$	Кол-во проб, %			$\bar{X} \pm S_x$	Кол-во проб, %		
		≤1	1,1-10	>10		≤1	1,1-10	>10
Дробление	11 ± 1,1	0	80	20	2,0 ± 0,6	55	45	0
Дистилляция	71 ± 12	0	15	85	21,7 ± 5,8	2	21	77
Мокрое измельчение	622 ± 145	0	0	100	6, 8 ± 2,4	20	68	12
Механическое истирание	254 ± 78	0	12	88	8,7 ± 2,4	17	52	31
Химическая обработка	17 ± 5,4	0	85	15	4,3 ± 1,2	1	78	21
Подготовка пресс- форм	55 ± 12	0	30	70	57 ± 11	0	37	63
Горячее прессование	9 ± 1,5	0	89	11	8,7 ± 2	1	68	31
Вакуумные насосы	7 ± 2	0	90	10	1,8 ± 0,3	20	80	0
Пультовые, операторские	9 ± 2	0	35	65	0,6 ± 0,1	86	14	0
Зал печей дистилляции	14 ± 2	0	30	70	1 ± 0,6	52	48	0

Как видно из данных, приведенных в таблице 2, после освоения и наладки технологического процесса и вентиляционных установок при штатной эксплуатации оборудования загрязнение воздушной среды бериллием на большинстве рабочих мест снижается. Значительное снижение уровней загрязнения воздуха имеет место на участках дробления, измельчения, химической обработки и во вспомогательных помещениях (насосные, электрощитовые, складские и др.). На остальных участках концентрации бериллия в воздухе рабочей зоны существенно не отличались от уровней, обнаруженных в пусковой период (рабочие площадки печей дистилляции, подготовки пресс-форм и горячего прессования). Это объясняется наращиванием мощности и интенсивности производственных операций. Таким образом, гигиеническая обстановка, складывающаяся во время проведения реконструкции и освоения новых технологических процессов на предприятии по получению

бериллия, характеризуется наличием высокой загрязненности воздуха аэрозолями бериллия [2].

Принципиально важными являются также результаты проведенных ранее исследований, которые позволили установить повышение уровней профзаболеваемости в периоды пуска и реконструкции цехов по получению бериллия и его соединений, что указывает на необходимость разработки соответствующих профилактических мероприятий [2]. Таким образом, представляется важным проведение постоянного мониторинга условий труда и состояния здоровья работников во время профессиональной деятельности и после ее окончания в различные периоды деятельности предприятий.

Следует особо отметить, что профессиональные бериллиевые поражения (бериллиоз) могут возникать через 10-15 лет после прекращения контакта с бериллием. Это является основанием для создания регистра персонала предприятий, осуществляющих получение, переработку и изготовление изделий из бериллия. За рубежом имеется опыт создания, ведения и экспертной поддержки такого регистра для регулярного сбора, анализа и распространения информации о последствиях профессионального воздействия бериллия на здоровье работников [11, 12, 13].

Анализ данных о зависимости изменений состояния здоровья людей, подвергавшихся аэрозольному воздействию бериллия в различных концентрациях, позволил связать возможные реакции организма с уровнями воздействий бериллия (таблица 3) [2].

Таблица 3

Характер и частота изменения здоровья людей при длительном воздействии различных концентраций аэрозолей бериллия

Концентрация бериллия, мкг/м ³	Изменения состояния здоровья
Менее 0,01	Изменения отсутствуют
0,01 - 1,0	Формирование сенсibilизации у части персонала
1,1 - 5,0	Возрастание частоты сенсibilизации
5,1 - 20,0	Развитие сенсibilизации, появление у части лиц положительных кожных тестов, цитохимические изменения. Возможно развитие бериллиоза
21,0 - 100,0	Формирование подострых поражений и гранулематоза легких у некоторых лиц
101,0 - 1000,0	Развитие острых поражений верхних дыхательных путей
Более 1000,0	Развитие тяжелых форм острых поражений легких, общая интоксикация у 100 % пораженных, поражение кожных покровов и слизистых

Принципиальным является положение, что возможные неблагоприятные последствия для состояния здоровья персонала определяются не только средними уровнями воздействия

за смену, неделю, месяц и год, но и имеющими место случаями воздействия максимальных концентраций.

Вышеуказанные материалы дают основание для разработки перспективных исследований по проблеме обеспечения безопасных условий труда и охраны здоровья персонала предприятий по получению и переработке бериллия и включают в себя следующие направления:

1 Мониторинг производственной и окружающей среды при введении в эксплуатацию новых технологических процессов на предприятиях на различных этапах их внедрения (реконструкция производства, опытная, штатная эксплуатация). В настоящее время мониторинг состояния производственной, окружающей среды и здоровья работающих на таких предприятиях в полном объеме не проводится. Контроль со стороны местных служб является недостаточным и зачастую некомпетентным.

2 Разработка комплекса мероприятий по обеспечению безопасных условий труда и охраны окружающей среды на новых бериллиевых производствах в условиях внедрения современных технологических процессов и развития предприятий. В настоящее время такой комплекс мероприятий отсутствует.

3 Создание регистра персонала предприятий, осуществляющих получение, переработку и изготовление изделий из бериллия. Регистр должен включать данные мониторинга условий труда и состояния здоровья работников. Создание регистра позволит существенно расширить аналитические возможности при изучении воздействия бериллия и его соединений на здоровье персонала, добавив к традиционным клиническим, гигиеническим и токсикологическим методам возможность проведения качественных эпидемиологических исследований.

4 Оценка индивидуальных и групповых профессиональных рисков с использованием биологического мониторинга, определением величины допустимого стажа работы в зависимости от величины ингаляционной нагрузки и индивидуальных особенностей организма. Определение групп повышенного риска ущерба здоровью среди работников предприятий по получению и переработке бериллия.

Заключение. К настоящему времени разработана новая технология получения бериллия и его соединений, основное преимущество которой состоит в уменьшении количества производственных участков, сокращении номенклатуры применяемых реагентов, снижения стоимости изготовления оборудования за счет применения относительно менее дорогостоящих материалов.

При этом отсутствие в Российской Федерации утвержденных санитарных правил в области проектирования и эксплуатации предприятий по производству и переработке

бериллия создает риск невыполнения требований безопасности и фактически не позволяет предприятиям осуществлять свои функции по охране труда работников в рамках отечественного законодательства.

Результаты проведенных исследований на предприятиях по получению и обработке бериллия показали, что реконструкция, опытная эксплуатация, внедрение новых технологических процессов сопровождается риском существенного загрязнения производственной среды бериллием. При этом концентрация бериллия в воздухе производственных помещений может составлять десятки и сотни значений ПДК. Возможные неблагоприятные последствия для состояния здоровья персонала определяются не только средними уровнями воздействия, за смену, неделю, месяц и год, а имеющими место максимальными концентрациями.

Наиболее опасными технологическими этапами являются те, на которых происходит (и которые по своей природе способствуют) диспергированию бериллия в воздух производственных помещений. По степени опасности эти этапы условно можно классифицировать следующим образом: гидрометаллургическое производство, механическая обработка изделий и сплавов из бериллия, металлургическое производство, получение оксида бериллия, получение порошков бериллия.

При эксплуатации предприятий по получения бериллия, особенно в периоды пуска и реконструкции цехов по получению бериллия и его соединений можно ожидать повышение уровней заболеваемости персонала. В связи с этим необходимы оценка индивидуальных и групповых профессиональных рисков для персонала, определение величины допустимого стажа работы на бериллиевом производстве в зависимости от величины ингаляционной нагрузки и индивидуальных особенностей организма работника, определение групп повышенного риска ущерба здоровью персонала предприятий.

Поскольку профессиональные поражения (бериллиоз) могут возникать через 10-15 лет после прекращения контакта с бериллием, необходимо создание системы мониторинга условий труда и состояния здоровья работников бериллиевых производств, как в период профессиональной деятельности, так и после ее окончания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупкин А.Б., Трофимчук С.Н. Гигиеническая оценка состояния производственной среды на предприятии по получению и переработке бериллия и его соединений. *Безопасность труда в промышленности*. 2022; 12: 63-70.
2. Крупкин А.Б., Ковыгин Г.Ф., Битколов Н.З. и др. Медико-экологические аспекты защиты производственной и окружающей среды при получении и обработке бериллия и изделий из него. СПб.: *Пресс-Сервис*; 2011.
3. Обвинцев Ю.И. Процессы образования аэрозолей гидроксида бериллия и оценка экологических рисков, возникающих при их выбросах в окружающую среду. *Геофизические процессы и биосфера*. 2017; 16 (3): 67-85.
4. Kathleen Kreiss, Gregory A. Day, Christine R. Schuler Beryllium: A Modern Industrial Hazard. *Annual Review of Public Health* 2007; 28: 259-277.
5. Managing Health Effects of Beryllium Exposure. Washington D.C.: *National Academy of Sciences*; 2008.
6. Monographs on the Evaluation of Cardiogenic Risks to Humans. Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. Lyon: *IARC*; 2012.
7. Обзор рынка бериллия в России, СНГ и мире. Available at: <https://infomine.ru/research/38/449/>
8. Ганжур О.В. Аналитика бериллия. *Страна РОСАТОМ (Лаборатория: научное приложение к газете)*. 2022; 11-12 (94-95): 7.
9. Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации предприятий по производству и переработке бериллия и его соединений МУ 2.2.1.25-06. Утверждены Заместителем руководителя ФМБА России Главным государственным санитарным врачом по обслуживаемым организациям и обслуживаемым территориям 27 ноября 2006 года. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/675402107/>
10. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания СанПиН 1.2.3685-21. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573500115/>
11. Beryllium-Associated Worker Registry Data Collection and Management Guidance. Available at: <https://www.standards.doe.gov/>
12. Beryllium Lymphocyte Proliferation Testing. Available at: <https://www.standards.doe.gov/>

13. Beryllium. Occupational safety and health / The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Available at: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1024/>

References

1. Krupkin A.B., Trofimchuk S.N. Hygienic assessment of the state of the production environment at the enterprise for the production and processing of beryllium and its compounds. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2022; 12: 63-70 (in Russian).
2. Krupkin A.B., Kovygin G.F., Bitkolov N.Z., Ivanov I.I., Kagarlitskiy A.N., Ivanenko N.B. et al. Medical and environmental aspects of industrial and environmental protection in the production and processing of beryllium and products from it. *Sankt-Peterburg: Press-Servis*; 2011 (in Russian).
3. Obvintsev Yu. I. Formation processes of beryllium hydroxide aerosols and assessment of environmental risks arising from their release into the environment. *Geofizicheskie protsessy i biosfera*. 2017; 16 (3): 67-85 (in Russian).
4. Kathleen Kreiss, Gregory A. Day, and Christine R. Schuler Beryllium: A Modern Industrial Hazard. *Annual Review of Public Health* 2007; 28: 259-277.
5. Managing Health Effects of Beryllium Exposure. Washington D.C.: *National Academy of Sciences*; 2008.
6. Monographs on the Evaluation of Cardiogenic Risks to Humans. Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. *Lyon: IARC*; 2012.
7. Overview of the beryllium market in Russia, the CIS and the world. Available at: <https://infomine.ru/research/38/449/> (in Russian).
8. Ganzhur O.V. Beryllium analytics. *Strana ROSATOM (Laboratoriya: nauchnoe prilozhenie k gazete)*. 2022; 11-12 (94-95): 7 (in Russian).
9. Hygienic requirements for the design and operation of enterprises for the production and processing of beryllium and its compounds MU 2.2.1.25-06. Approved by the Deputy Head of the FMBA of Russia, the Chief State Sanitary Doctor for Served Organizations and Served Territories on November 27, 2006. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/675402107/> (in Russian).
10. Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness to humans from environmental factors SanPiN 1.2.3685-21. Approved by Resolution No. 2 of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573500115/> (in Russian).

11. Beryllium-Associated Worker Registry Data Collection and Management Guidance.
Available at: <https://www.standards.doe.gov/>
12. Beryllium Lymphocyte Proliferation Testing. Available at:
<https://www.standards.doe.gov/>
13. Beryllium. Occupational safety and health / The Occupational Safety and Health
Administration (OSHA) Available at: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1024/>