

УДК 547.2

Р.Н. Матакова\*, М.Б. Абилов

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

\*E-mail: Rema.Matakova@kaznu.kz

**Токсикологические последствия производства урановых топливных таблеток на Ульбинском металлургическом заводе**

В данной статье произведены расчеты летальных токсикологических параметров вредных выбросов Ульбинского металлургического завода (фтористый водород, оксиды азота и др.). Показано, что рассматриваемые вредные выбросы создают порог острого токсикологического действия для населения Усть-Каменогорска. Рассчитаны годовая эквивалентная доза радиации для учета количества поглощения энергии и биологической активности радиационного излучения, эффективные дозы радиации для различных органов и тканей человека. Установлено, что общая годовая эффективная доза облучения человека  $\alpha$ -частицами составляет 6,2 мЗв, что превышает норму в 6 раз (1 мЗв).

**Ключевые слова:** радиация, альфа-частица, доза радиации, урановые топливные таблетки.

R.N. Matakova, M.B. Abilev

**Toxicological consequences of the production of uranium fuel tablets on Ulba metallurgical complex**

Lethal toxicological parameters for a number of harmful emissions (hydrogen fluoride, nitrogen dioxide, etc.) were estimated in the article. It was shown that emissions of interest made the threshold of acute toxic effect for people of Ust-Kamenogorsk. Equivalent dose of radiation in a year was calculated for the record of the amount of absorbed energy and biological effect of radiation. Effective doses of radiation were given for different organs and tissues of a human body. It was established that the total effective dose of the radiation of  $\alpha$ -particles for human 6,2 mZv which is about 6 times more than standard (1 mZv).

**Keywords:** radiation, alfa-particles, radiation dose, uranium fuel tablets.

Р.Н. Матакова, М.Б. Абилов

**Үлбі металлургиялық зауытында уранның отын таблеткаларын шығарудың токсикологиялық салдары**

Берілген мақалада бірнеше зиянды заттар үшін токсикологиялық параметрлерді есептеу жүргізілген (фторлы сутек, азот диоксиді, т.б.). Қарастырған зиянды заттар Өскемен қаласының тұрғындары үшін аса уытты әсер тигізетіні көрсетілген. Сіңірілген энергия мөлшері және сәулелендірілудің биологиялық активтілігін есепке алу үшін радиацияның бір жылдағы эквивалентті дозасы есептелінген. Адам ағзасындағы әртүрлі органдармен ұлпалар үшін радиацияның эффективті дозалары келтірілген. Адамның  $\alpha$ -бөлшектермен сәулелендірудің жалпы эффективті дозасы 6,2 мЗв құрайтыны анықталды. Бұл бекітілген нормалардан (1 мЗв) 6 есе жоғары болып келеді.

**Түйін сөздер:** радиация, альфа-бөлшектер, радиация дозалары, уранның отын таблеткалары.

Богатейшая кладовая полезных ископаемых сконцентрирована на Рудном Алтае, добыча и интенсивная переработка этих природных ресурсов приводит к разрушению ландшафта, загрязнению воздуха от деятельности примышленных предприятий. По данным Восточно-Казахстанского гидромета индекс загрязнения воздуха

составляет 17,06. В атмосферу выбрасываются более 90 тыс. тонн веществ 170 наименований, среди которых пятая часть наиболее опасна для здоровья жителей городов этого региона [1].

Основная часть металлургических предприятий сконцентрирована в центре Восточно-Казахстанской области, городе Усть-Каменогорске.

Этот город называют сегодня «городом без права на будущее» [2]. Он давно исчерпал свою экологическую емкость – способность самоочищаться и восстанавливаться от техногенного пресса, созданного тремя гигантами – Усть-Каменогорским металлургическим комплексом, Усть-Каменогорским титаномagneзиевым комбинатом и Ульбинским металлургическим заводом. Последний занимает особое место в перспективах государственной стратегии Казахстана.

Казахстан обладает запасами урана мирового значения (второе место в мире) [3] и лидерскими позициями по его добыче и стремится выйти на современный мировой уровень по его переработке, включая создание полного цикла производства ядерного топлива для АЭС. Заделом этих далеко идущих планов обеспечения атомной энергетики республики собственным ядерным топливом и выхода Казахстана на мировой высокотехнологический рынок является Ульбинский металлургический завод. На сегодняшний день Ульбинский металлургический завод – единственный в Казахстане и бывшем СНГ, обладающий многолетним опытом изготовления урановых топливных таблеток для атомных электростанций, на этом заводе производилось в СССР до 80% всего атомного топлива для реакторов [4]. Этот высокотехнологический научно-производственный автоматизированный комплекс ежегодно выбрасывает в окружающую среду 1,25 т оксида углерода, 28,2 т аммиака, 1,2 т оксидов азота, 0,1 т толуола и ксилола, 6 т хлоридов, около 10 т твердых частиц [5]. Хотя большинство перечисленных соединений ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ) относятся к 3 классу опасности, не стоит упускать из виду большие объемы их ежегодных выбросов в атмосферу города и его окрестности. Их содержания в целом всегда выше 10 ПДК с тяжелыми токсикологическими последствиями на людях [5].

С указанной точки зрения особую экологическую опасность представляют оксиды азота, которые «из года в год выходят среди выбросов в лидеры. Диоксид азота ниже 2 ПДК не опускается». Уже при содержаниях ниже порога обнаружения в 4 раза оксиды азота оказывают удушающее и нейротропное действие, вызывает химическое повреждение дыхательной системы, химический ожог кожи [5]. Более сильным раз-

едающим действием обладает фтористый водород – соединение 1 класса опасности, из числа канцерогенных, фактические выбросы которого за 2012 г. составили 1,99 т. Он вызывает ожог дыхательной системы с поражением легких (отек, цианоз), разрушение ЖКТ и почек с острыми болями, при кожном контакте вызывает глубокое болезненное изъязвление. Попадая в организм, этот яд прекращает выделение слюны и мочи.

Приведенные в литературе гигиенические нормативы [6-7] обсуждаемых вредных выбросов включают значения предельно-допустимых концентраций рабочей зоны, максимально-разовые и среднесуточные. Нами были рассчитаны отсутствующие в литературе летальные параметры аммиака, азота, фтористого водорода, имеющие жизненно важное значение для жителей города. Для расчета токсикологических параметров нами были использованы следующие формулы [8]:

Диоксид азота:

$$CL_{50} = \text{ПДК}_{\text{р.з.}} / 1,3$$

$$CL_{50} = 2 / 1,3 = 1,54 \text{ мг/м}^3$$

$$\text{Lim a.c.} = \text{ПДК}_{\text{р.з.}} / 66$$

$$\text{Lim a.c.} = 2 / 66 = 0,03 \text{ мг/м}^3$$

$$\lg \text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,62 \lg \text{ПДК}_{\text{р.з.}} - 1,77$$

$$\lg \text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,58 \lg 15,4 - 1,6$$

$$\text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,03 \text{ мг/м}^3$$

Аммиак:

$$CL_{50} = 20 / 1,3 = 15,4 \text{ мг/м}^3$$

$$\text{Lim a.c.} = 20 / 66 = 0,30 \text{ мг/м}^3$$

$$\lg \text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,58 \lg 20 - 1,6$$

$$\text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,04 \text{ мг/м}^3$$

Фтористый водород:

$$CL_{50} = 0,02 / 1,3 = 0,015 \text{ мг/м}^3$$

$$\text{Lim a.c.} = 0,02 / 66 = 3,03 \cdot 10^{-4} \text{ мг/м}^3$$

$$\lg \text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,62 \lg 0,02 - 1,77$$

$$\text{ПДК}_{\text{с.с.}} = 0,0015 \text{ мг/м}^3,$$

где  $CL_{50}$  – среднесмертельная концентрация токсиканта,  $\text{мг/м}^3$ ,

$\text{Lim a.c.}$  – порог острого действия,  $\text{мг/м}^3$ ,

$\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$  – среднесуточная предельно-допустимая концентрация.

В таблице 1 приведены рассчитанные токсикологические параметры вредных выбросов в сопоставлении с приведенными в литературе гигиеническими нормативами.

Таблица 1

Токсикант	Класс опасности	Рассчитанные параметры			Гигиенические нормативы [6-7]		
		ПДКс.с.	CL <sub>50</sub>	Lim а.с.	ПДК р.з.	ПДК м.р.	ПДК с.с.
Фтористый водород	1	0,005	0,02	3,03·10 <sup>-4</sup>	0,02	0,02	0,005
Диоксид азота	3	0,03	1,54	0,03	2	0,085	0,04
Аммиак	4	0,12	15,4	0,30	20	0,2	0,04

Рассчитанные нами параметры CL<sub>50</sub> для фтористого водорода подтверждает тот факт, что весьма незначительные количества этого ксенобиотика создают порог острого токсического действия, а рассчитанная нами ПДК среднесмертельная равноценна действию максимально разового выброса этого токсиканта по нормативу. Для диоксида азота сопоставление ПДК с.с. показывает более низкое его значение по нашим расчетам, что доказывает его более сильно выраженное токсическое действие, для аммиака ПДК р.з. в соответствии с нормативом близок к среднесмертельной предельной концентрации.

Наибольшую опасность для жителей Усть-Каменогорска представляет радиационное излучение урансодержащих соединений. Радиационный фон в городе за счет работы завода превышает естественный радиационный фон Восточно-Казахстанской области (18-22 мкР) в 5-10 раз [9]. Уровень радиации на участках аномальной радиации города (их насчитывается 35 в черте города) составляет 1000-7000 мкР/час. На территории Усть-Каменогорска в ее жилой зоне находится более 62000 м<sup>3</sup> радиоактивных отходов [10].

Уран является источником α-излучений, в процессе естественного распада урана энергия α-частиц находится в диапазоне от 4 до 9 МэВ, пробег в воздухе составляет 8-9 см, а в мягкой биологической ткани – около 100 мкм. α-излучение вызывает изменение клеточной биологической ткани человека, приводящее к нарушению кинетики деления клеток, механизма их взаимодействия, изменению генетического аппарата или его гибели. Результатом ионизирующего α-излучения являются лучевое поражение кожи, глаз, бесплодие, лейкозы, рак, наследственные болезни [11].

Специалисты обнаружили у фонус-группы молодежи в возрасте 18-23 года хромосомные

изменения, сопоставимые с теми, что выявлены у пострадавших в чернобыльской катастрофе.

Для оценки радиационного воздействия на человека Международная комиссия по радиационной защите [11] ввела понятие «эквивалентная доза». Этот параметр характеризует не только количество поглощенной энергии R, но и биологическую эффективность излучения (H<sub>TR</sub>). Эта доза – мера ожидаемых последствий облучения объектов живой и неживой природы и, в первую очередь, отражает размер наносимого вреда человеку:

$$H_{TR} = D_{TR} \cdot W_R \quad (1)$$

где W<sub>R</sub> – взвешивающий коэффициент, учитывающий эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических последствий. Для α-излучения он равен 20 (таблица 2) [11].

D<sub>TR</sub> – средняя поглощенная доза равна:

$$D_{TR} = \frac{dE}{dm} \quad (2)$$

E в уравнении (2) – средняя поглощенная доза, переданная излучением. По нормам радиационной безопасности для α-излучения E=9 МэВ.

В практике использования источников ионизирующего облучения во многих случаях облучению подвергается не все тело, а один или несколько органов.

Для сопоставления эффектов облучения отдельных органов, а также при оценке суммарных последствий для организма, когда облучается лишь часть органов, введено понятие «эффективная доза». Эффективная доза E – величина воздействия ионизирующего излучения с учетом

радиочувствительности отдельных органов человека. Она выражает меру риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека или отдельных его органов.

Эффективная доза представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T H_T W_T, \quad (3)$$

где  $H$  – эквивалентная доза в органе или ткани  $T$ , а  $W_T$  – взвешивающий коэффициент для органа или ткани.

**Таблица 2** – Значения тканевых весовых множителей  $W_T$  для различных органов и тканей [11]

Ткани или орган	$W_T$	Ткани или орган	$W_T$
Половые железы	0,20	Печень	0,05
Красный костный мозг	0,12	Пищевод	0,05
Толстый кишечник	0,12	Щитовидная железа	0,05
Легкие	0,12	Кожа	0,01
Желудок	0,12	Поверхность костей	0,01
Мочевой пузырь	0,05	Остальные органы	0,05
Молочные железы	0,05		

Используя приведенную выше формулу (3) рассчитаны эффективные дозы каждого органа и

организма в целом. Результаты приведены в таблице 3.

**Таблица 3** – Рассчитанные эффективные дозы для -излучения урановых соединений

Орган	Масса, г	Поглощенная доза, мГр	Эквивалентная доза, мЗв	Эффективная доза, мЗв
Половые железы	25	0,576	11,52	2,30
Костный мозг	250	0,058	11,5	0,14
Легкие	500	0,029	0,06	0,07
Желудок	400	0,360	7,20	0,86
Молочные желез	1000	0,014	0,29	0,02
Печень	1600			
Щитовидная железа	20	0,720	14,40	0,72
Кожа	4000	0,004	0,07	0,00
Кости	14000	0,001	0,02	0,00
Хрусталик глаза	7	2,057	41,13	2,06

Для расчета общей эффективной дозы облучения следует суммировать полученные эффективные дозы для органов.

Общая годовая эффективная доза радиацион-

ного облучения по нашим расчетам составляет 6,2 мЗв, тогда как нормативная годовая доза облучения персонала завода и населения должна составить в среднем 1 мЗв [12].

На сегодняшний день Ульбинский металлургический завод почти в 6 раз превышает по радиационному облучению установленную нормативную дозу.

Государство выделяет на природоохранные меры на УМЗ с 2000 по 2015 г. до 4,8 млрд. тенге.

Руководством предприятия для снижения опасных отходов производства создано хранилище для размещения твердых отходов первого класса опасности вместимостью 1000 м<sup>3</sup>, эксплуатируется система сбора поверхностных вод с территории завода в пруд – регулятор с дренаж-

ным водозабором, идет постоянная работа по оптимизации системы вентиляции и совершенствования пыле- и газоочистных установок. Однако наши расчеты показывают, что в условиях расширения производства и увеличения объема выпуска готовой продукции радиационная опасность для здоровья жителей города сохраняется и требует систематического жесткого радиационного контроля окружающей среды города. Хорошо известно, что систематическое облучение человека даже малыми дозами радиации (0,01-0,05 грэй в сутки) вызывают наиболее серьезные из всех последствий облучений.

### Литература

- 1 Централизованная библиотечная система акимата г. Усть-Каменогорск «Охрана окружающей среды города Усть-Каменогорск» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kitaphana.kz/ru/downloads/referats/194-ekologia/>.
- 2 Вологодская Г. Город без права на будущее / Караван [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://articles.gazeta.kz/art.asp?aid=359564/>. Опубликовано 19.03.12.
- 3 Микеев С. Завод ядерного топлива: «за» и «против» // Независимая областная газета ВКО «Flash» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://flashpress.kz/blog/flash/1084.html>. Опубликовано 06.04.12.
- 4 Федорова П. Казатомпром: 15 лет успешного созидания // Казахстанская правда. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kazpravda.softdeco.net/c/1342136336/>. Опубликовано 13.07.12.
- 5 Регистр выбросов и переноса загрязнителей (РВПЗ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kz-prtr.org/baza/>.
- 6 Гигиенические нормативы. ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны. ГН 2.2.5.1313-03.2003.
- 7 Справочник «Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде» / Под ред. Г.П. Беспамятова, Ю.А. Кратова // Ленинград: Химия, 1985. – 528 с.
- 8 Сердюк В.С., Стищенко Л.Г. Основы токсикологии. – Ханты-Мансийск: РИЦ ЮГУ, 2006. – 320 с.
- 9 Управление природных ресурсов и регулирования природопользования Восточно-Казахстанской области по радиационной безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://priodavko.gov.kz/page/radiatsia/>.
- 10 Токсикологическая химия / Под ред. Т.В. Плетневой. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2005. – 512 с.
- 11 Нормы радиационной безопасности РК. СП 2.6.1.758-99.

### References

- 1 Centralized Library System of Ust-Kamenogorsk city administration “Environmental Protection of Ust-Kamenogorsk” [Okhrana okruzhayushchei sredy goroda Ust-Kamenogorsk]. Available at: <http://www.kitaphana.kz/ru/downloads/referats/194-ekologia/>.
- 2 Vologdskaya G. City without the right for the future. Caravan [Gorod bez prava na budushchee]. Available at: <http://articles.gazeta.kz/art.asp?aid=359564/>. 19.03.12.
- 3 Mikeev S. Nuclear Fuel Plant: “pros” and “cons”. «Flash» Independent Regional newspaper of EKO [Zavod yadernogo topliva: za i protiv]. Available at: <http://flashpress.kz/blog/flash/1084.html>. 06.04.12.
- 4 Fedorova P. Kazatomprom: 15 years of successful creation. Kazakhstanskaya pravda. [15 let uspehnogo sozidaniya]. - Available at: <http://kazpravda.softdeco.net/c/1342136336/>. 13.07.12.
- 5 Pollutants Release and Transfer Register (PRTR). [Registr vybrosov i zagreznitelei (RVPZ)]. Available at: <http://kz-prtr.org/baza/>.
- 6 Hygienic standards. MAC of harmful substances in the air of the working area. GN 2.2.5.1313-03.2003.
- 7 Handbook Maximum allowable concentrations of chemicals in the environment. Edited by G.P. Bepamyatova, Y.A. Kratova. [Spravochnik Predelno-dopustimye koncentratsii khimicheskikh v okruzhayushchei srede] Leningrad: Khimiya, 1985. 528 p.
- 8 Serdyuk V.S., Stishenko L.G. Basics of toxicology. [Osnovy toksikologii]. Khanty-Mansiysk: RIP SUB, 2006. 320 p.
- 9 Department of Natural Resources and Environmental Control of the East Kazakhstan region on radiation safety. Available at: <http://priodavko.gov.kz/page/radiatsia/>.
- 10 Toxicological Chemistry. Edited by T.V. Pletnyova. [Toksikologicheskaya khimiya]. Moscow: GEOTAR-Media, 2005. 512 p.
- 11 Radiation safety standards of RK. SP 2.6.1.758-99.