

УДК 615.9 : 614.8

Методические аспекты обоснования ориентировочно безопасных уровней загрязнения помещений токсикантами после деконтаминации

© 2013. Б. Н. Филатов, д.м.н., директор, Н. Г. Британов, к.м.н., зав. лабораторией,
В. Г. Кирюхин, к.м.н., зав. отделом, В. В. Клаучек, д.м.н., зам. директора,
А. А. Масленников, д.б.н., зав. лабораторией, Л. П. Точилкина, к.м.н., зав. лабораторией,
Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии
Федерального медико-биологического агентства
e-mail: filatov@rihtop.ru

Проведено дальнейшее развитие нового методического подхода к оценке эффективности деконтаминации рабочих помещений, загрязнённых хемотоксикантами в результате аварии. В качестве критериев безопасности работников, выполняющих неотложные производственные задания в помещениях после деконтаминации, предложены ориентировочно безопасные уровни загрязнения веществами воздуха и поверхностей стен и оборудования (ОБУЗ) для острых и повторных, постепенно уменьшающихся воздействий. Обоснование ОБУЗ проводится с использованием токсипараметра «относительная условная единица» (RVU). Продемонстрирована возможность применения разработанного методического подхода для определения продолжительности рабочего дня находящихся в помещениях людей (защита временем).

Be further development of a new methodological approach to assessing the effectiveness of decontamination work in the premises contaminated with chemo-toxicants as a result of an accident was fulfilled. As the criteria of safety of workers performing work-related tasks in emergency rooms after decontamination there were offered tentative safety levels of airborne contaminants in the air and on wall surfaces and equipment (OBUZ) for acute and repeated, gradually diminishing effects. Justification of OBUZ is conducted using tocsin-parameter «relative value unit» (RVU). The possibility of application of the developed methodological approach for determining the working day length on the premises (time protection) is shown.

Ключевые слова: химические вещества, аварии, деконтаминация,
ориентировочно безопасные уровни загрязнения, относительная
условная единица, защита временем

Keywords: chemicals, accidents, decontamination, tentative safe levels
of pollution burden, relative value unit, protection time

Аварии, периодически происходящие на промышленных предприятиях и не исключаяющиеся на объектах по уничтожению химического оружия, сопровождаются загрязнением окружающей и производственной сред, что побуждает мировое сообщество к поиску мер по их предотвращению и ликвидации последствий. Как показывает практика, в таких случаях в качестве токсикантов могут выступать самые разнообразные химические агенты – от применяемых в быту до современных боевых отравляющих веществ [1].

В перечне мероприятий по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций химического генеза на первое место выдвигается деконтаминация загрязнённых веществами производственных и бытовых сооружений как способ, позволяющий сохранить их для дальнейшего использования. Наряду с воз-

можностью обезвреживания токсикантов путём естественной деградации современные технологии деконтаминации предусматривают физические, химические, механические и биологические методы [2]. Несмотря на различия в способах очистки помещений, все они не гарантируют полного удаления загрязняющих агентов, вследствие чего нельзя исключить вероятность наличия остаточных количеств веществ в воздухе и на поверхностях. В этой связи вопросы обеспечения защиты здоровья работников, находящихся в помещениях после деконтаминации токсиканта, имеют первостепенное значение.

Очевидно, что оценка эффективности деконтаминации должна проводиться на основе сопоставления содержания химических веществ на поверхностях стен, оборудования, мебели и в воздухе помещений с допустимыми

уровнями загрязнения указанных объектов. В качестве последних могли бы приниматься регламенты безопасного содержания веществ, установленные для конкретной среды, то есть предельно допустимые концентрации (ПДК) для воздуха рабочей зоны и предельно допустимые уровни (ПДУ) – для поверхностей [3, 4].

Но руководствоваться указанными гигиеническими нормативами, рассчитанными на длительный срок, можно лишь после нормализации обстановки. В период же, когда они превышены, но с учётом реально существующей потребности в скорейшем использовании производственных площадей, логично руководствоваться аварийными регламентами – аварийными пределами воздействия (АПВ) [5]. Однако последние разрабатываются лишь для отравляющих веществ и компонентов ракетных топлив, причём для строго фиксированных временных интервалов.

Необходимо также учитывать, что при чрезвычайных ситуациях следует ожидать одновременного загрязнения нескольких сред и, как следствие, комплексного воздействия веществ на человека. Поэтому фактический вред здоровью работающих в помещении после деkontаминации должен определяться только на основе оценки указанного воздействия, когда нагрузка может превышать допустимые пределы даже при соблюдении гигиенических нормативов загрязнения для отдельных сред [6, 7].

Становится очевидным, что существующие методические подходы к нормированию содержания химических веществ в объектах окружающей среды мало применимы для установления допустимых уровней загрязнения токсикантами помещений после деkontаминации. Для решения назревшей проблемы необходим определённый отход от принципов традиционного нормирования с развитием новых методических подходов, созвучных развиваемым в экотоксикологии и токсикологии пестицидов [8 – 10]. Ранее были обоснованы необходимость и принципы расчёта нового токсипараметра «относительная условная единица» (relative value unit – RVU) [11 – 13].

Целью настоящей работы является разработка методического подхода по обоснованию ориентировочно безопасных уровней загрязнения (ОБУЗ) рабочих помещений опасными веществами после деkontаминации с применением RVU.

Обоснование методического подхода к разработке ОБУЗ помещений после их деkontаминации

На первом этапе работы с учётом влияния физико-химических свойств веществ, сорбционной ёмкости материалов, метео- и других факторов на уровни загрязнения помещений хемотоксиантами составляются прогнозы снижения их остаточных количеств, что позволяет выработать тактику дальнейших действий, направленных на обеспечение безопасности работающих. Для этого следует провести замеры уровней загрязнения в первый и второй дни после деkontаминации и по описанным ранее формулам [11] разработать ориентировочный прогноз на последующие. На основе данных прогноза, во-первых, принимается решение о целесообразности повторной деkontаминации, во-вторых, определяются перкутанная и ингаляционная дозы веществ, которые получает человек, находящийся в загрязнённом помещении. Решение о повторной деkontаминации принимается в том случае, когда фактические уровни загрязнения значительно (в десять и более раз) превышают установленные значения гигиенических нормативов или процесс естественной деградации вещества до безопасных для человека значений растянут во времени (8 и более дней).

Перкутанная и ингаляционная дозы веществ определяются в связи с необходимостью установления максимальных уровней загрязнения токсикантом воздуха рабочей зоны и поверхностей производственных помещений, которые при одновременном воздействии не оказывают вредного влияния на здоровье человека. Последние могут быть обозначены как ориентировочно безопасные уровни загрязнения химическими веществами производственных помещений после деkontаминации (ОБУЗ), определение которых невозможно, как указывалось выше, без применения нового методического подхода, включающего следующие положения:

- наряду с известным токсикометрическим параметром – максимально недействующей дозой (МНД, мг/кг) при изучении комплексного воздействия веществ на организм человека используется новый – относительная условная единица (RVU);

- относительная условная единица по умолчанию составляет 1/10 часть МНД, определяемой при изолированном воздействии токсиканта (поступлении его из одной среды) на человека;

– являясь частью токсопараметра (МНД), RVU выражается независимо от способа введения вещества в организм в тех же значениях, что и токсопараметр, то есть в мг/кг;

– при одновременном воздействии вещества из разных сред МНД равна $10 RVU$;

– RVU , устанавливаемая для одного пути поступления вещества в организм, равноценна (эквивалентна) по биологическому эффекту RVU для другого способа введения.

RVU так же как и ОБУЗ разрабатываются для веществ с известными токсическими свойствами, среди которых кожно-резорбтивные обязательны. В случае недостаточной изученности химического соединения, но аварийная опасность которого велика, проводятся экспериментальные исследования с целью получения релевантной информации. Алгоритм обоснования RVU следующий.

Как указано выше: $MND^{изолир} = 10 RVU$ (1)

Эквитоксичная доза при комплексном воздействии также должна быть равна $10 RVU$: $MND^{компл.лекс} = a RVU^{inh} + b RVU^{cut} + 10 RVU$, (2)

где a и b – коэффициенты, указывающие на возможность вхождения в состав комплексной дозы разных RVU в различных соотношениях.

Для каждого из путей поступления вещества в организм человека, причём отдельно для острых и хронических воздействий, устанавливаются свои RVU :

$$RVU_{ac}^{inh} = 0,1 MND_{ac}^{inh(h)}, \text{ мг/кг} \quad (3)$$

$$RVU_{ac}^{cut} = 0,1 MND_{ac}^{cut(h)}, \text{ мг/кг} \quad (4)$$

$$RVU_{ch}^{inh} = 0,1 MND_{ch}^{inh(h)}, \text{ мг/кг} \quad (5)$$

$$RVU_{ch}^{cut} = 0,1 MND_{ch}^{cut(h)}, \text{ мг/кг} \quad (6)$$

Для вычисления RVU необходимо знание величин максимально недействующих ингаляционных и перкутаных доз для человека, которые могут быть получены при нахождении его в загрязнённой зоне. Расчёт RVU^{inh} проводится с использованием модифицированной формулы Флюри [14], позволяющей определить ингаляционную токсодозу:

$$D^{inh} = \frac{c \times V}{M} \quad (7)$$

При условии, что V – усреднённая величина объёма лёгочной вентиляции человека для работ категории Па-Пб при 8-часовом рабочем дне равна 7 м^3 [15, 16], а средняя масса тела человека – 70 кг , формула упрощается до выражения: $D^{inh} = \frac{c \times 7}{70} = 0,1 c$, мг/кг (8)

Максимально недействующая доза вещества при однократном ингаляционном поступлении в организм как частный случай ингаляционной дозы определяется по формуле:

$$MND_{ac}^{inh(h)} = 0,1 MHR_{ac}^{inh(h)}, \text{ мг/кг} \quad (9)$$

Тогда очевидно, что

$$RVU_{ac}^{inh} = 0,01 MHR_{ac}^{inh(h)}, \text{ мг/кг} \quad (10)$$

В качестве $MHR_{ac}^{inh(h)}$ оптимально использование C_r – действующих отечественных (АПВ) или близких им иностранных стандартов. В их отсутствие на человека экстраполируются данные о величине MHR (или тождественной ей $NOAEL$), полученной в опытах на животных:

$$MHR_{ac}^{inh(h)} = \frac{MHR_{ac}^{inh(a)}}{R_3}, \text{ мг/кг} \quad (11)$$

Выбор коэффициента запаса определяется степенью выраженности меж- и внутривидовых различий, а также способностью вещества вызывать отдалённые последствия. Его величина устанавливается в пределах от 1 до 10.

Если величина $MHR_{ac}^{inh(a)}$ (или близкого ей $NOAEL_{ac}^{inh(a)}$) неизвестна, допустимо использование величины $Lim_{ac}^{inh(a)}$ или равноценной по значению $LOAEL_{ac}^{inh(a)}$. Однако для перехода от пороговой концентрации к недействующей необходимо введение к исходному токсикометрическому параметру дополнительного коэффициента запаса (R_3^{don}). Его величина, как и R_3 , устанавливается в зависимости от токсических свойств вещества в пределах от 1 до 10. При этом принимаются во внимание степень кумуляции, абсолютная токсичность вещества, летучесть, величины зон острого и хронического действия:

$$MHR_{ac}^{inh(h)} = \frac{Lim_{ac}^{inh(a)}}{R_3 \times R_3^{don}}, \text{ мг/м}^3 \quad (12)$$

Тогда формулу (10) можно представить как:

$$RVU_{ac}^{inh} = 0,01 \frac{Lim_{ac}^{inh(a)}}{R_3 \times R_3^{don}}, \text{ мг/кг} \quad (10a)$$

Максимально недействующая доза вещества при длительном ингаляционном поступлении в организм определяется по формуле:

$$MND_{ch}^{inh(h)} = 0,1 MHR_{ch}^{inh(h)}, \text{ мг/кг} \quad (13)$$

Из этого следует, что:

$$RVU_{ch}^{inh} = 0,01 MHR_{ch}^{inh(h)}, \text{ мг/кг} \quad (14)$$

В качестве $MHR_{ch}^{inh(h)}$ оптимально использование C_r – действующих отечествен-

ных (ПДК, ОБУВ) или близких им зарубежных стандартов для рабочей зоны. То есть:

$$MHR_{ch}^{inh}(h) = C_r, \quad (15)$$

$$MHD_{ch}^{inh}(h) = 0,1 C_r \quad (13a)$$

$$\text{и } RVU_{ch}^{inh} = 0,01 C_r. \quad (14a)$$

В отсутствие утверждённых гигиенических нормативов следует использовать другие данные, которые позволяют вычислить их ориентировочно, например, величины $Lim_{ch}^{inh(a)}$ (или $LOAEL_{ch}^{inh(a)}$) с введением к ним необходимого коэффициента запаса:

$$C_r = \frac{Lim_{ch}^{inh(a)}}{K_3}. \quad (16)$$

Для однократного перкутанного воздействия в соответствии с ранее данным определением $RVU_{ch}^{inh} = 0,1 MHD_{ch}^{inh}(h)$ (4)

$$MHD_{ac}^{cut}(h) = \frac{MHD_{ac}^{cut}(a)}{K_3}, \text{ мг/кг} \quad (17)$$

или, если известна величина порога острого перкутанного действия,

$$MHD_{ac}^{cut}(h) = \frac{Lim_{ac}^{cut}(a)}{K_3 \times K_3^{don}}, \text{ мг/кг} \quad (18),$$

$$\text{тогда: } RVU_{ac}^{cut} = 0,1 \times \frac{Lim_{ac}^{cut}(a)}{K_3 \times K_3^{don}}, \text{ мг/кг} \quad (4a)$$

Для длительного перкутанного контакта в соответствии с ранее данным определением $RVU_{ch}^{cut} = 0,1 MHD_{ch}^{cut}(h)$ (6)

При наличии экспериментальных данных:

$$MHD_{ch}^{cut}(h) = \frac{MHD_{ch}^{cut}(a)}{K_3}, \text{ мг/кг} \quad (19)$$

или

$$MHD_{ch}^{cut}(h) = \frac{Lim_{ch}^{cut}(a)}{K_3 \times K_3^{don}}, \text{ мг/кг} \quad (20)$$

В случае, если проведено гигиеническое нормирование для кожи человека, для вычисления RVU_{ch}^{cut} следует использовать величину ПДУ загрязнения кожных покровов, выражаемую в мг/дм² (D_r).

Если масса тела среднестатистического человека равна 70 кг, а поверхность тела, по данным литературы, колеблется от 162 до 170 дм², в среднем составляя 166 дм² [4, 17], то:

$$MHD_{ch}^{cut}(h) = \frac{D_r \times 166}{70} = 2,4 D_r, \text{ мг/кг} \quad (21)$$

$$\text{Тогда } RVU_{ch}^{cut} = 0,1 \times 2,4 D_r = 0,24 D_r, \text{ мг/кг} \quad (22)$$

Располагая данными о величинах RVU при острых и хронических воздействиях, а также результатами прогноза динамики загрязнения веществом воздуха и поверхностей рабочих помещений, можно перейти непосредственно к определению ОБУЗ.

Вначале с учётом данных, полученных по формуле (8), определяются ингаляционные дозы, которые человек сможет получить при нахождении в рабочем помещении в течение одного дня: $D_1^{ing}; D_2^{ing} \dots D_n^{ing}$.

Далее устанавливаются кожно-резорбтивные дозы, которые получит человек за тот же период: $D_1^{cut}; D_2^{cut} \dots D_n^{cut}$.

Доза вещества при проникновении через кожу составит:

$$D^{cut} = \frac{d \times S \times F \times K_{abc}}{m}, \text{ мг/кг} \quad (23),$$

где: D^{cut} – перкутанная доза, мг/кг; d – плотность загрязнения веществом поверхности, мг/дм²; S – площадь загрязнения кожи, дм²; F – доля вещества, переносимая с загрязнённой поверхности на кожу (при отсутствии данных принимается равной 1); K_{abc} – коэффициент абсорбции (при отсутствии данных принимается равным 1); m – масса тела, кг.

При допущении, что в случае касания загрязнённых рабочих поверхностей ладонями ($S \sim 40 \text{ дм}^2$) [17] перенос вещества на кожу человека массой тела 70 кг составит 100%, то есть оно полностью всасывается ($K_{abc}=1$), формула (23) принимает упрощённый вид:

$$D^{cut} = \frac{d \times S \times F \times K_{abc}}{m}, \text{ мг/кг} \quad (23a)$$

Для того чтобы вычислить общее количество RVU_{ac} , которое человек может получить после деконтаминации за каждый день, члены полученных дозовых рядов последовательно делятся на соответствующие RVU_{ac} :

$$U_{ac}^{inh} = \frac{D^{inh}}{RVU_{ac}^{inh}} \quad (24)$$

$$U_{ac}^{cut} = \frac{D^{cut}}{RVU_{ac}^{cut}} \quad (25)$$

Путем суммирования U_{ac}^{inh} и U_{ac}^{cut} для каждого дня выделяется день x , когда $(U_{ac}^{inh} + U_{ac}^{cut}) \leq 10$.

Аналогично вычисляется общее количество RVU_{ch} , которое человек может получать после деконтаминации за каждый день, для чего члены ранее полученных дозовых рядов последовательно делятся на соответствующие RVU_{ch} :

$$U_{ch}^{inh} = \frac{D^{inh}}{RVU_{ch}^{inh}} \quad (26)$$

$$U_{ch}^{cut} = \frac{D^{cut}}{RVU_{ch}^{cut}} \quad (27)$$

Суммацией U_{ch}^{inh} и U_{ch}^{cut} для каждого дня определяется день y , когда $(U_{ch}^{inh} + U_{ch}^{cut}) \leq 10$.

День x признаётся как день начала проведения неотложных работ в помещении после его деконтаминации, а в день y можно приступать к работам в штатном режиме.

Начиная со дня x до дня y концентрации вещества в воздухе рабочей зоны и уровни загрязнения рабочих поверхностей признаются ОБУЗ для каждого из этих дней. В этот период уровни загрязнения могут незначительно превышать гигиенические нормативы. Для предотвращения ущерба здоровью работающих дополнительно вводится защита временем, то есть сокращается период пребывания человека в помещении. Установленная продолжительность рабочего дня для штатно работающего предприятия (8 часов) сокращается пропорционально соотношению $U_{ch}^{inh+cut}$, определяемому в конкретный день указанного периода, к его максимально допустимой величине, равной 10. Рабочий период от дня x до дня y включительно не может составлять более семи дней. При прогнозируемом превышении этого срока требуется повторная деконтаминация или замена состава работников.

Ниже приводится пример расчёта ориентировочно безопасных уровней загрязнения производственных помещений веществом Б после деконтаминации.

Вещество Б – жидкость со слабым запахом, хорошо растворимая в органических растворителях и жирах;

DL₅₀, крысы, в/ж – 5 000 мг/кг;

DL₅₀, мыши, в/ж – 6 000 мг/кг;

CL₅₀, крысы – 65 000 мг/м³;

Lim_{ghh}^{inh}, крысы – 500 мг/м³;

Lim_{ch}^{inh}, крысы – 50 мг/м³;

Lim_{ac}^{cut}, крысы – 250 мг/кг;

Lim_{ch}^{cut}, крысы – 50 мг/кг;

ПДК_{впрз} – 5 мг/м³;

ПДУ_{кожи} – 3 мг/дм².

Кумулятивность слабая: по Lim R.K.S. et al. [18] $R_{кум}^c = 7$.

Отдалённые последствия (мутагенное, гонадотоксическое, эмбриотоксическое, тератогенное, канцерогенное действие) не выявлены.

Концентрация вещества Б в воздухе рабочего помещения в первый день после деконтаминации составляла 13 мг/м³ (c_1), во второй день (c_2) – 11,7 мг/м³.

Плотность загрязнения поверхностей помещения веществом Б в первый день равнялась 146 мг/дм², во второй – 122,6 мг/дм².

По известным формулам [11] определяют коэффициенты убывания загрязнения воздуха и поверхностей веществом Б: $K_{dec}^c = 0,1$; $K_{dec}^d = 0,16$ и составляется ориентировочный прогноз (табл. 1, столбцы 2 и 5).

По формулам (8) и (23а) вычисляются дозы вещества, которые может получить человек ингаляционно и перкутанно (столбцы 3 и 6).

Подставляя известные значения C_r и D_r в формулы (14а) и (22), получаем: $RVU_{ch}^{inh} = 0,01 \times 5 = 0,05$ мг/кг; $RVU_{ch}^{cut} = 0,24 \times 3 = 0,72$ мг/кг.

Таблица 1

Расчёт ОБУЗ веществом Б производственных помещений после деконтаминации

Сутки	c , мг/м ³	$D_{мг/кг}^{inh}$	$U_{ac}^{inh}/U_{ch}^{inh}$	d , мг/дм ²	$D_{мг/кг}^{cut}$	$U_{ac}^{cut}/U_{ch}^{cut}$	$U_{ac}^{inh+cut}$	$U_{ch}^{inh+cut}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	13	1,30	7,6 / 26,0	146,0	8,76	10,6 / 12,2	18,2	38,2
2	11,7	1,17	6,9 / 23,4	122,6	7,36	8,9 / 10,2	15,8	33,6
3	10,5	1,05	6,2 / 21,0	103,0	6,18	7,4 / 8,6	13,6	29,6
4	9,5	0,95	5,6 / 19,0	86,5	5,19	6,3 / 7,2	11,9	26,2
5	8,5	0,85	5,0 / 17,0	72,7	4,36	5,3 / 6,1	10,3	23,1
6	7,7	0,77	4,5 / 15,4	61,1	3,66	4,4 / 5,1	8,9	20,5
7	6,9	0,69	4,1 / 13,8	51,3	3,08	3,7 / 4,3	7,8	18,1
8	6,2	0,62	/ 12,4	43,1	2,58	/ 3,6		16,0
9	5,6	0,56	/ 11,2	36,2	2,17	/ 3,0		14,2
10	5,0	0,50	/ 10,0	30,4	1,82	/ 2,5		12,5
11	4,5	0,45	/ 9,0	25,5	1,53	/ 2,1		11,1
12	4,1	0,41	/ 8,2	21,4	1,29	/ 1,8		<u>10,0</u>
13	3,7	0,37	/ 7,4	18,0	1,08	/ 1,5		8,9

Таблица 2

Ориентировочно безопасные уровни загрязнения воздуха и рабочих поверхностей производственных помещений веществом Б после деконтаминации

Сутки	ОБУЗ ^{inh} _{ac} , мг/м ³	ОБУЗ ^{cut} _{ac} , мг/дм ²
6	7,7	61,1
7	6,9	51,3
8	6,2	43,1
9	5,6	36,3
10	5,0	30,4
11	4,5	25,5
12*	4,1	21,4

Примечание: * – начало работы предприятия в штатном режиме.

Таблица 3

Расчёт продолжительности рабочего дня

Сутки	U ^{inh+cut} _{ac} *	Коэффициент	Продолжительность рабочего дня**
6	20,5	2,05	234 мин. (4 часа)
7	18,1	1,81	265 мин. (4 часа 30 мин.)
8	16,0	1,60	300 мин. (5 часов)
9	14,2	1,42	338 мин. (5 часов 40 мин.)
10	12,5	1,25	384 мин. (6 часов 20 мин.)
11	11,1	1,11	432 мин. (7 часов 15 мин.)
12***	10,0	1,00	480 мин. (8 часов)

Примечание: * – Максимально допустимая величина равна 10; ** – Продолжительность рабочего дня для штатно работающего предприятия составляет 8 часов (480 минут); *** – начало работы предприятия в штатном режиме.

Расчёт RVU_{ac}^{inh} и RVU_{ac}^{cut} в связи с отсутствием данных о $MHR_{ac}^{inh(h)}$ и $MHD_{ac}^{cut(h)}$ проводится по формулам (10а) и (4а) с использованием $Lim_{ac}^{inh(a)}$ и $Lim_{ac}^{cut(a)}$:

$$RVU_{ac}^{inh} = 0,01 \frac{Lim_{ac}^{inh(a)}}{K_3 \times K_3^{don}}, \text{ мг/кг} \quad (10a);$$

$$RVU_{ac}^{cut} = 0,1 \times \frac{Lim_{ac}^{cut(a)}}{K_3 \times K_3^{don}} \text{ мг/кг} \quad (4a)$$

Слабая выраженность внутри- и межвидовых различий воздействия вредного вещества (основано на сопоставлении смертельных доз для разных биообъектов при одном пути поступления в организм), широта зоны острого токсического действия ($CL_{50}/Lim_{ac} = 72$), низкая токсичность, слабая способность к кумуляции и отсутствие отдалённых последствий позволяют установить достаточным величину K_3 , равную 3. При переходе от одного параметра токсичности (Lim_{ac}) к другому (МНД) применён дополнительный коэффициент запаса (K_3^{don}), равный 10.

Введя величины \hat{E}_c и K_3^{don} в формулы (10а) и (4а), получаем:

$$RVU_{ac}^{inh} = 0,01 \frac{500}{3 \times 10} = 0,17 \text{ мг/кг}$$

$$\text{и } RVU_{ac}^{cut} = 0,1 \frac{250}{3 \times 10} = 0,83 \text{ мг/кг.}$$

Зная величины RVU , по формулам (24), (25), (26) и (27) получаем их количество (U_{ac}^{inh} , U_{ac}^{cut} , U_{ch}^{inh} и U_{ch}^{cut}) для каждого дня после деконтаминации (столбцы 4 и 7).

Суммируя по дням количество RVU_{ac} (столбец 8), находим день x , когда их общее число равно или меньше 10. Это день 6 ($U_{ac}^{inh+cut} = 8,9$). Начиная с шестого дня разрешено проведение неотложных работ в режиме сокращённого рабочего дня.

Суммируя по дням количество RVU_{ch} (столбец 9), находим день y , когда их общее число равно или меньше 10. Это день 12 ($U_{ch}^{inh+cut} = 10$). Начиная с данного дня разрешается работа в помещении в штатном режиме.

По данным таблицы 1 определяем уровни загрязнения воздуха (столбец 2) и рабочих поверхностей (столбец 5) веществом Б в дни x и y и квалифицируем их как соответствующие ОБУЗ в данной конкретной ситуации, представленные в таблице 2.

Продолжительность рабочего дня в период с 6 по 12 сутки отражена в таблице 3.

Приведённые выше примеры расчёта ОБУЗ и продолжительности рабочего дня с целью обеспечения безопасности персонала свидетельствуют о возможности применения разработанного методического подхода с использованием нового токсопараметра RVU в

системе регламентации химических агентов в объектах производственной среды. Он позволяет прогнозировать степень загрязнения помещений химическим веществом после деконтаминации, по данным литературы, определять безопасные параметры содержания токсоагента в воздухе и на поверхностях помещений и, что немаловажно для сохранения здоровья работающих, обосновывать сокращение продолжительности рабочего дня, то есть обеспечивать дополнительно защиту временем.

Заключение

Разработаны новые методические подходы обоснования критериев безопасности персонала, выполняющего неотложные работы в производственных помещениях после деконтаминации. В качестве таковых предложены ОБУЗ химическими веществами воздуха и поверхностей стен и оборудования производственных помещений для острых и повторных, постепенно уменьшающихся воздействий при ингаляционном и чрезкожном поступлении в организм. Определение ОБУЗ проводится с использованием токсопараметра «относительная условная единица» – RVU, предложенного для оценки потенциальной опасности химических загрязнений помещений и представляющего собой 1/10 часть предельно допустимых доз острого и хронического воздействия вещества для каждого из изолированных путей поступления. Взаимосвязанные токсиметрические показатели RVU и ОБУЗ рассчитываются с учётом всех традиционных средовых гигиенических нормативов, а также других характеристик токсичности и опасности и предназначены для обеспечения защиты человека от комплексного воздействия вредных веществ после деконтаминации производственных помещений. Продемонстрирована возможность применения разработанного методического подхода, включая обоснование сокращения продолжительности рабочего дня для сохранения здоровья находящихся в помещениях людей (защита временем).

Литература

1. Андреев В. Г. Химический терроризм: возрастающая угроза // Обозреватель – Observer. 2004. № 3. С. 71–79.
 2. Volchek K., Fingas M., Hornof M., Boudreau L., Duncan L., Krishnan J. Review of Decontamination and

Restoration Technologies for Chemical, Biological, and Radiological / Nuclear Counter-terrorism / Environment Protection Service, Environment Canada: Report № EE-176. Ottawa, 2005. 187 p.

3. Основы общей промышленной токсикологии / Под ред. Н. А. Толоконцева, В. А. Филова. Л.: Медицина, 1976. 304 с.

4. Оценка воздействия вредных химических соединений на кожные покровы и обоснование предельно допустимых уровней загрязнения кожи: Методические указания. Утв. зам. Гл. гос. сан. врача СССР 01.11.1979, № 2102-79. М.: Минздрав СССР, 1980. 23 с.

5. МУ 2.1.781-99. Разработка и обоснование аварийных пределов воздействия высокотоксичных химических соединений – отравляющих веществ (ОВ) и компонентов ракетных топлив (КРТ): утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 23.07.1999 : введ. в действие 23.07.1999. М.: Минздрав РФ, 1999. 12 с.

6. Проданчук Н. Г., Спыну Е. И. Принципы и пути оценки опасности комплексного и комбинированного действия пестицидов на организм человека // Современные проблемы токсикологии. 2001. № 2. С. 2–8.

7. Жолдакова З. И., Сеницына О. О. Единые подходы к оценке токсичности и опасности химических веществ, поступающих в организм с воздухом, водой и пищей // Российский химический журнал. 2004. Т. XLVIII. № 2. С. 25–33.

8. Каган Ю. С. Способ количественной оценки комбинированного и комплексного действия на организм химических и физических факторов внешней среды // Гигиена и санитария. 1973. № 12. С. 89–91.

9. Спыну Е. И. Принципы и пути оценки профессионального риска комплексного действия пестицидов // Медицина труда и промышленная экология. 1999. № 8. С. 16–20.

10. Курляндский Б. А., Филлов В. А. Общая токсикология. М.: Медицина, 2002. 608 с.

11. Филатов Б. Н., Британов Н. Г., Кирюхин В. Г., Масленников А. А., Точилкина Л. П., Клаучек В. В. Разработка стандартов безопасности после деконтаминации поверхностей помещений, загрязнённых в результате химических чрезвычайных ситуаций // Химическая и биологическая безопасность. 2007. № 6 (36). С. 3–9.

12. Филатов Б. Н., Британов Н. Г., Кирюхин В. Г., Точилкина Л. П., Ходыкина Н. В., Новикова О. Н., Шалагина Т. А., Волчек К. «RVU» как потенциальные стандарты деконтаминации химических загрязнителей зданий после аварий и химических террористических актов // Токсикологический вестник. 2010. № 4(103). С. 35–40.

13. Филатов Б. Н., Британов Н. Г., Точилкина Л. П., Жуков В. Е., Масленников А. А., Игнатенко М. Н., Волчек К. Регламенты деконтаминации поверхностей, загрязнённых в результате химических чрезвычайных ситуаций (концептуальные подходы) // Медицина труда и промышленная экология. 2011. № 7. С. 37–42.

14. Лазарев Н. В. Общие основы промышленной токсикологии. М.-Л.: Медгиз, 1938. 338 с.
15. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.10.1996 № 21. М.: Минздрав России, 1997. 20 с.
16. Руководство Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 29.07.2005 : введ. в действие с 01.11.2005 // Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. М. 2005. № 3 (21). С. 3–144.
17. Владимиров В. Г. Расчёт количества лекарственных препаратов на поверхность тела как один из способов определения равноэффективных доз для животных и человека // Фармакология и токсикология. 1976. № 1. С. 123–128.
18. Lim R. K. S., Rink K. G. , Glass H. G. , Soaje-Echague E. A Method for the Evaluation of Cumulation and Tolerance by the Determination of Acute and Subchronic Median Effective Doses // Arch. Intern. Pharm. Ther. 1961. V. 130. P. 336–352.

УДК 576.8.097.3

Биопрепарат для ремедиации почвы в пределах зоны защитных мероприятий объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский»

© 2013. К. К. Стяжкин¹, д.б.н., начальник, С. В. Петров¹, д.т.н., г.н.с., А. С. Туманов², к.м.н., начальник, Н. В. Завьялова¹, д.б.н., г.н.с., К. А. Воробьёв², к.б.н., зам. начальника, В. В. Тетерин², к.б.н., начальник отдела, И. П. Погорельский², д.м.н., в.н.с., А. А. Лещенко², д.т.н., в.н.с., А. Г. Лазыкин², к.б.н., с.н.с., В. С. Менухова², инженер,

¹Научный центр 33 Центрального научно-исследовательского испытательного института Министерства обороны Российской Федерации,

²Научно-исследовательский центр 33 Центрального научно-исследовательского испытательного института Министерства обороны Российской Федерации,
e-mail: biologiavgu@yandex.ru

Представлены результаты исследований по созданию биопрепарата на основе бактерий штамма *Pseudomonas fluorescens* EK-5-93, перспективного для использования при ремедиации почв в районе размещения объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский».

The paper presents the results of the study on creation of biopreparation based on *Pseudomonas fluorescens* EK-5-93 strain promising to use for soil remediation at chemical weapons demmission plant «Maradikovsky».

Ключевые слова: штамм-биодеструктор, фосфорорганические отравляющие вещества, реакционные массы, биотехнология утилизации

Keywords: biodestructor, organo-phosphorus poisoning substance, reactionary complexes, recycling biotechnology of reactivity complexes

Введение

В соответствии с Федеральной целевой программой «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» для её реализации в стране создана необходимая промышленная база [1]. Одним из объектов, где продолжается уничтожение химического оружия (УХО), является объект «Марадыковский» в Кировской области, на котором на начало 2013 г. уже уничтожено 90,5% (более

6 тыс. т) отравляющих веществ (ОВ), хранившихся в химическом арсенале. В ноябре 2014 г. на объекте «Марадыковский» введена в эксплуатацию линия по уничтожению боеприпасов сложной конструкции. По заявлению начальника Федерального управления по безопасному хранению и УХО В. П. Капашина, при должном финансировании Программы реально завершить уничтожение запасов ХО в РФ к концу 2015 г., как это предусмотрено в её нынешней редакции [2].