

## УДК 661.849

*О. Г. Горовых, к.т.н., доцент, проф. каф. (ORCID 0000-0002-4885-9573)*

*М. А. Канина, магистр, преп. каф. (ORCID 0000-0001-5993-9379)*

*Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации» ГУО Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Светлая Роца, Республика Беларусь*

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕКОНТАМИНАЦИИ РТУТЬСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены статистические данные по количеству выездов на ликвидацию чрезвычайных ситуаций, связанных с загрязнением ртутью помещений различного назначения, транспортных средств и территорий за последние годы в Республике Беларусь и Соединенных Штатов Америки. Рассмотрены предлагаемые к использованию различными авторами растворы и химические материалы для проведения демеркуризационных работ. Отмечены проблемы, возникающие при использовании данных демеркуризующих составов. Показано, что применяемые в настоящее время методы на основе химических демеркуризующих растворов не позволяют провести демеркуризацию, с достижением концентрации паров ртути ниже предельно допустимых концентраций в приемлемые временные сроки. Показана важность решения данной проблемы. Указано на необходимость в разработке новых подходов к ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с наличием ртути. Предложен метод проведения деконтаминации ртутьсодержащих материалов с использованием озонирования. Описаны экспериментальная установка и приборная база, используемая при проведении эксперимента. Установлены закономерности изменения концентрации озона по высоте помещения, при поступлении его в закрытый объем на его нижний уровень. Произведено сравнение полученных экспериментальных данных с теоретической скоростью изменения концентрации озона по высоте на основе молекулярной диффузии озона. Предложено объяснение полученных результатов. Установлена средняя скорость самопроизвольного разложения озона без доступа свежего воздуха и наличия окисляемых веществ. Проведено сравнение рассчитанной теоретически и определенной экспериментально скорости самопроизвольного разложения озона во времени. Предложено использовать полученные данные для разработки методических рекомендаций по применению озона в качестве демеркуризующего агента. Показано что, технология, базирующаяся на использовании озона, позволит обеспечить проведение деконтаминации поверхностей и воздуха в данном объеме эффективно и в кратчайшие сроки.

**Ключевые слова:** деконтаминация, демеркуризация, озонирование, ртутьсодержащие материалы, скорость разложения озона

### 1. Введение

Вопросы, связанные с загрязнением ртутью помещений различного назначения, транспортных средств и территорий, занимают значительное место в деятельности спасателей многих стран. Анализируя статистические данные по количеству выездов в Беларуси на каждый вид ЧС можно отметить, что на втором месте после пожаров стоят выезды по ликвидации аварий такого опасного химического вещества, как ртуть. В таблице 1 приведены данные за последние годы [1].

**Табл. 1. Количество выездов по Республике Беларусь на проведение работ по демеркуризации**

Год	Выезды
2014	1137
2015	1620
2016	1899
2017	2637
2018	2009
2019	2498

Анализ данных за 1993-1998 гг. в 10 штатах Соединенных Штатов Америки, показал, что за указанный период отмечено 406 случаев разливов металлической ртути в школах, университетах, жилых домах и медицинских учреждениях [2].

Эти факты обусловлены широким применением ртути в производственных процессах, использованием ртутьсодержащих изделий и приборов в быту, здравоохранении, транспорте, в дошкольных, учебных и научных учреждениях. По мнению современных ученых-экологов различного профиля (химики, геологи, врачи и др.), ртутная опасность – одна из главных опасностей для окружающей среды и человека в XXI веке.

В воздухе ртуть способна находиться в форме паров, при этом она относительно легко проникает сквозь многие строительные материалы (различные бетоны и растворы, кирпич, строительные плитки, линолеум, мастики, лакокрасочные покрытия и др.). Так, обследование ряда производственных предприятий, в которых длительное время осуществлялись работы с ртутью, а затем «ртутное» производство было прекращено без выполнения мероприятий по очистке помещений от ртути, показало, что содержание ртути в материале стен и пола соответствует количеству ртути в рудах; стены здания поражены ртутью на всю толщину. Тот факт, что ртуть обладает малой вязкостью и высоким поверхностным натяжением, приводит к тому, что при падении она распадается на мелкие шарики, что способствует значительному увеличению площади ее испарения, а высокая подвижность этих частиц затрудняет локализацию ртутного пролива и проведение демеркуризации.

Реалии проведения демеркуризационных работ на больших площадях и в зданиях с постоянным или временным пребыванием людей показывают, что обычно для доведения содержания паров ртути в воздухе до ПДК фактически требуется несколько недель. Например, 18 марта 2016 году было обнаружено загрязнение ртутью нескольких помещений в Республиканском детском пульмонологическом центре медицинской реабилитации г.Минска. Демеркуризационные работы проводились более одной недели силами нескольких десятков спасателей.

Известно множество способов демеркуризации, основанных на применении различных демеркуризаторов [3]. В настоящее время рекомендуется [4] использовать следующие демеркуризаторы:

- мыльно-содовый раствор (4% раствор мыла в 5% водном растворе соды);
- 20 % раствор хлорного железа ( $\text{FeCl}_3$ );
- 5-10 % водный раствор сульфида натрия;
- 4-5 % водный раствор полисульфида натрия или кальция;
- 20 % водный раствор хлорной извести;
- 5-10 % водный раствор соляной кислоты;
- 2-3 % раствор йода в водном растворе йодида калия;
- 0,2% водный раствор перманганата калия, подкисленного соляной кислотой;
- пиролюзит (паста, состоящая из 1 вес.ч. пиролюзита ( $\text{MnO}_2$ ) и 2 вес. ч. 5 % соляной кислоты);
- сера;
- 25-50 % водный раствор полисульфида натрия;
- 4-5 % растворы моно-, дихлорамина;
- перхлорат аммония, содержащий оксиды хлора [5];
- оксид хлора (I) в четыреххлористом углеводе [6];
- 5% водный раствор перекиси водорода [7].

Основными недостатками всех применяемых в настоящее время способов демеркуризации являются:

- достаточно большое время демеркуризации даже невидимого ртутного загрязнения: 20÷40 часов и неэффективность ликвидации капельных загрязнений;
- недостаточная эффективность однократного процесса демеркуризации, приводящая к необходимости проводить ее повторно;
- высушивание демеркуризатора за время демеркуризации до 40 часов, приводящее к снижению эффективности демеркуризации;
- повреждение демеркурируемой поверхности;
- низкая эффективность демеркуризации (замерзание растворов) при отрицательных температурах.

Поэтому остро встает вопрос о разработке и внедрении в использование новых альтернативных методов демеркуризации, не имеющих указанные недостатки.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В последние 20 лет области применения озона значительно расширились и во всем мире ведутся новые разработки. Применение озона основано на его окислительных, дезинфицирующих и бактериологических свойствах [7]. С целью очистки питьевой воды озон применяется уже около 80 лет. В настоящее время 95% питьевой воды в Европе проходят озонную обработку. Столь бурному развитию технологий с использованием озона способствует его экологическая чистота. В отличие от других окислителей озон в процессе реакции разлагается на молекулярный и атомарный кислород, который в дальнейшем реагирует с соответствующими веществами или переходит в молекулярный кислород. Продукты разложения озона не загрязняют окружающую среду и не приводят к образованию канцерогенных веществ, как например, при использовании хлора или фтора в качестве окислителя [8].

Озон имеет очень высокое сродство к электрону (1,9 эВ), чем и объясняется его сильные окислительные свойства. Окислительный потенциал озона достаточно высок 2,07 В, а, например, широко использующийся окислитель хлор имеет окислительный потенциал 1,7 В [9]. В отличие от других окислителей озон в процессе реакции разлагается на молекулярный и атомарный кислород, который в дальнейшем реагирует с соответствующими веществами или переходит в молекулярный кислород. Продукты разложения озона не загрязняют окружающую среду и не приводят к образованию канцерогенных веществ, как например, при использовании хлора или фтора в качестве окислителя, не изменяют внешнего вида обрабатываемых материалов, и т.д. При воздействии озона на капельную ртуть снижается ее подвижность, что дает возможность упростить этап механической сборки капельной ртути.

Озон способен реагировать с большинством органических и неорганических веществ [10]. Низкие концентрации озона не проявляют токсического действия, при высоких концентрациях озона (10–100 мг/дм<sup>3</sup>) проявляются его бактерицидные, фунгицидные и вирулицидные свойства. Поэтому после проведения демеркуризационных работ необходимо обеспечить полное разложение озона в обрабатываемом объеме [11].

Из литературных источников известно, что озон относится к неустойчивым веществам. Он самопроизвольно разлагается при высоких концентрациях, причем, чем выше концентрация, тем выше и скорость разложения [12].

Однако, скорости распада озона в помещении при проведении демеркуриза-

ционных работ, в доступной авторам литературе, обнаружены не были. Имеются данные об использовании катализаторов на основе оксидов металлов (в частности алюминия) [13], для увеличения скорости распада озона, активность которых реализуется при повышенных температурах (более 100°C).

Поэтому нерешенной частью проблемы является изучение процесса изменения концентрации озона в заполняемом им объеме, а именно то, насколько равномерно он распределится и как будет проходить его разложение. все это необходимо для разработки четких рекомендаций по проведению демеркуризационных работ с использованием озона.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка методических рекомендаций по проведению демеркуризации с использованием озона (оптимальная концентрация озона, время нагнетания озона, время экспозиции, необходимость перемешивания воздуха, время проветривания и дополнительные методы, обеспечивающие, разложения остаточного озона).

Для реализации данной цели необходимо было решить следующие задачи:

определить закономерность изменения концентрации озона по высоте, при поступлении его в закрытое помещение;

установить скорость самопроизвольного разложения озона, в условиях отсутствия окисляемых веществ без доступа свежего воздуха.

### 4. Установление закономерности изменения концентрации озона по высоте в заданном объеме

Определение закономерности заполнения озона помещения осуществлялась на опытном объеме равном 1,4 м<sup>3</sup>. Выбор величины объема обусловлен возможностью контроля изменения концентрации озона, позволяющий пренебрегать изменением концентрации, связанной с разбавлением, обусловленным отбором проб газа на проведение измерения. Опытный объем представлял собой полимерную кубическую емкость, которую тщательно очистили механически, а затем несколько раз обработали озоном и продули свежим воздухом. Подготовленную сухую емкость (начальная концентрация озона = нулю) заполняли озоном в течение 30 минут, при этом трубка с выходящим газом находилась на дне емкости.

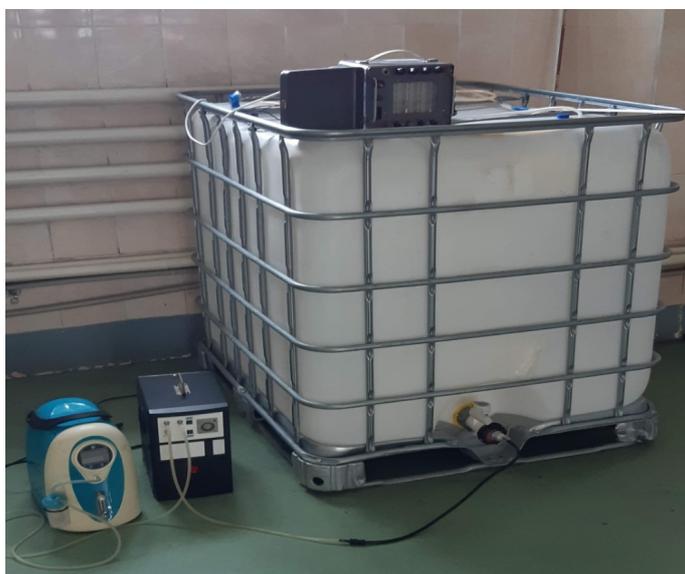


Рис. 1. Емкость для проведения эксперимента

По истечении 30 минут произвели измерение концентрации озона на различных отметках по высоте куба, используя измеритель концентрации озона ИКО-2 [14]. Каждое измерение проводили не менее трех раз. Результаты измерений представлены в табл. 2.

**Табл. 2. Заполнение опытного объема озоном по высоте**

Высота от нижнего уровня опытного объема, см	Концентрация озона, г/м <sup>3</sup>	Средняя концентрация, г/м <sup>3</sup>
0	2,8-3,4	3,1
30	2,2-2,4	2,3
50	1,4-1,6	1,5
70	0,6-1,0	0,8
100	0,6-0,2	0,4

Если принять, что скорость диффузии озона равна 0,8 см<sup>2</sup>/с [9], то время заполнения экспериментального объема до верхнего уровня (1,118 м<sup>3</sup>), при поступлении озона в центре нижнего уровня объема составит:

$$\tau = \frac{r^2}{D} = \frac{111,8^2}{0,8} = 4,34 \text{ часа}, \quad (1)$$

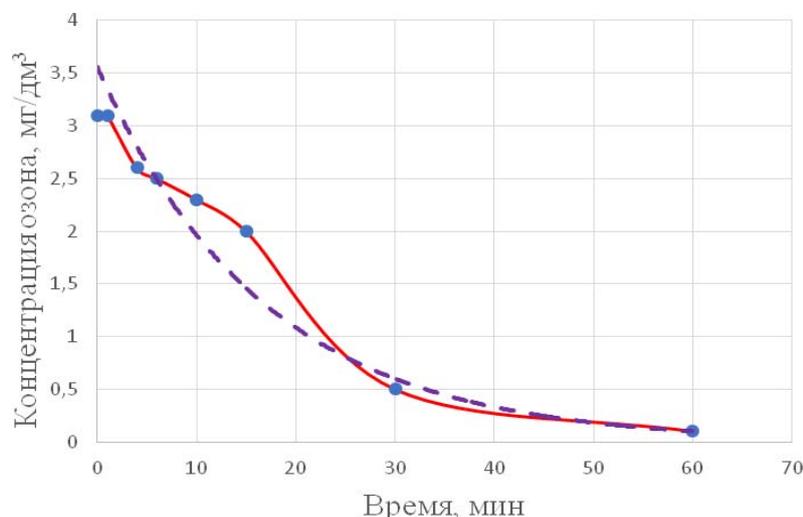
где  $\tau$  – время заполнения резервуара, с;  $r$  – радиус заполняемого объема, см;  $D$  – коэффициент диффузии озона, см<sup>2</sup>/с.

При скорости поступления озона от генерирующего устройства [15] равной 2 г/(дм<sup>3</sup>/мин), средняя скорость движения всего газа по опытному объему равна 1,59 мм/мин, то есть за полчаса (время генерации озона) он бы поднялся на высоту 5 см, а за счет диффузии на 12 см в высоту. Опытные данные говорят о том, что скорость диффузии озона намного выше теоретически рассчитанных и позволит заполнить помещение высотой 2,7 м (стандартная высота жилых помещений) при его демеркуризации за три этапа озонирования по 30 минут.

### 5. Установление скорости самопроизвольного разложения озона

Для определения скорости самопроизвольного разложения озона были проведены измерения его концентрации озона в различные промежутки времени. Измерения проводились на высоте 5 см от нижнего уровня опытного объема, с помощью измерителя ИКО-2.

Полученные результаты представлены на рис. 2.



**Рис. 2. Изменение концентрации озона при самопроизвольном разложении**

– експериментальні значення, рівняння регресії.

Кінетика самопроизвольного розкладання озона протікає, що видно з графіка на рис. 2, по експоненціальній залежності, описуваної наступним рівнянням регресії:

$$C_{\text{озон}} = 3,5536 \cdot e^{-0,059 \cdot \tau}, \quad (2)$$

де  $C_{\text{озон}}$  – концентрація озона, мг/дм<sup>3</sup>; 3,5536 – коефіцієнт рівний початковій концентрації озона, в даному експерименті, мг/дм<sup>3</sup>;  $\tau$  – час, мин.

Величина достовірності апроксимації даного рівняння становить  $R^2=0,9818$ .

Рівняння (2) має наступний загальний вигляд

$$C_{\tau}(\text{O}_3) = C_{\text{нач}}(\text{O}_3) \cdot e^{-0,059 \cdot \tau}, \quad (3)$$

де  $C_{\text{нач}}(\text{O}_3)$  – початкова концентрація озона, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{\tau}(\text{O}_3)$  – концентрація озона в момент часу  $\tau$ , мг/дм<sup>3</sup>.

Якщо прийняти, що на початок проведення дезінфекційних робіт концентрація озона в оброблюваному приміщенні буде досягнута до величини 3500 мг/м<sup>3</sup>, а середньодобова гранично допустима концентрація (ПДК<sub>с.с.</sub>) в атмосферному повітрі населених місць згідно з ГОСТ 12.1.005-88 становить 0,03 мг/м<sup>3</sup>, то час самопроизвольного розпаду озона дорівнює

$$\tau = \frac{\ln \frac{C_{\text{нач}}(\text{O}_3)}{C_{\tau}(\text{O}_3)}}{0,059} = \frac{\ln \frac{3500}{0,03}}{0,059} \approx 3,89 \text{ год}$$

Відомо, що при відкритті вікна в кімнаті виникає потік повітря, який може забезпечити кратність обміну повітря, досягає 25–100 раз в годину.

Таким чином, якщо провітрювання відбувається з 25-кратним обміном повітря в годину, то за півгодини концентрація озона знизиться в 12,5 разів. Якщо вважати, що за час експозиції (30 хвилин) концентрація озона знизилася в 0,17 разів, то за час півгодинного провітрювання вона знизиться до 8,092 мг/м<sup>3</sup>, що є недостатнім. Виходячи з кінетики мономолекулярних реакцій, можна написати наступне рівняння:

$$\lg \frac{C_0}{C_{\tau}} = v \cdot (\tau_{\text{кон}} - \tau_{\text{нач}}), \quad (4)$$

де  $C_0$  і  $C_{\tau}$  – концентрації озона в різні періоди часу, мг/дм<sup>3</sup>;  $v$  – самопроизвольна швидкість розкладання озона, моль/(мін·м<sup>3</sup>);  $\tau_{\text{нач}}$  і  $\tau_{\text{кон}}$  – періоди часу, мин.

На основі отриманих експериментальних значень концентрації озона розраховано середню швидкість розкладання, яка становить 16,944 мг/(м<sup>3</sup>·мін) (за рівнянням 4).

Тоді за час експозиції без урахування взаємодії озона з парами ртуті і іншими окислюваними речовинами концентрація озона знизиться з 3500 мг/м<sup>3</sup> до 3000 мг/м<sup>3</sup>, що вимагає обов'язкового провітрювання і входу рятувальника в деkontамінуване приміщення в ізолюючих засобах захисту органів дихання.

Далее для исследования процесса изменения концентрации паров ртути в газовом пространстве емкости были проведены следующие исследования. В опытный объем (рис.1) поместили капельку ртути (находилась на часовом стекле и размещалась на расстоянии 5 см от дна емкости) диаметром 6 мм и выдержали ее там в течении 2,5 часов, получили среднюю концентрацию паров ртути в опытном объеме равную  $6500 \text{ нг/м}^3$ .

Провели озонирование емкости. Через 10 минут концентрация паров ртути составила  $4530 \text{ нг/м}^3$  при содержании озона (выход из трубки)  $1,8-2,2 \text{ г/м}^3$ .

Через 30 минут замеры на нижнем и верхнем уровнях опытной емкости показали значения, в пределах  $200 \text{ нг/м}^3$ , что соответствует ПДК.

## **6. Обсуждение результатов определения закономерности распределения озона в объеме и скорости его разложения**

Проведенные измерения по фактически достигаемой концентрации озона, при поступлении его на нижний уровень используемого объема, показали, что время достижения верхней границы помещения превышает скорость его накопления вследствие влияния только молекулярной диффузии или простого вытеснения объема воздуха, озоном более тяжелым газом. Объяснение этого факта можно интерпретировать таким образом: при работе озонатора, происходит интенсивный разогрев разрядников, в которых протекает экзотермическая реакция образования озона. Этот разогрев, отрицательно сказывается на скорости образования озона, и чем выше температура в разряднике, тем меньший выход озона. Для снижения этого явления в устройствах озонирующих проводят интенсивное охлаждение разрядных камер различными способами. Однако выходящий из разрядника поток озона имеет достаточно высокую температуру, для обеспечения конвективных потоком и достижению на верхнем уровне заполняемых объемов необходимой для проведения демеркуризации концентрации. Одновременное действия конвективных потоков и молекулярной диффузии газов приводит к достаточно равномерному заполнению помещения озоном при проведении демеркуризационных работ.

Полученные значения низкой скорости разложения озона в условиях проведенного опыта (рис. 2) можно объяснить тщательностью подготовки экспериментального объема к проведению исследования. Мы допускаем что, это наименьшая из возможных скоростей разложения озона при данной температуре ( $20-21^{\circ}\text{C}$ ). В жилых помещениях эта скорость будет в разы больше из-за наличия в воздухе жилых помещений большого количества органической пыли, выдыхаемого человеком воздуха и т.д. Это может быть темой отдельного исследования. Однако на выявленную в результате проведенных экспериментов скорость разложения можно ориентироваться для определения времени, в течение которого заходить в обрабатываемое озоном помещение строго воспрещается.

Известно, что разложение озона ускоряется в гомогенных системах газообразными добавками (оксидами азота, хлором и др.), а в гетерогенных системах металлами (ртутью, серебром, медью и т.д.) и окислами металлов (оксидами железа, меди, никеля, свинца и т.п.). Поэтому возможно кроме проветривания, для быстрого достижения концентрации озона, ниже или равной значениям ПДК, использовать какие-либо дополнительные устройства с наличием катализаторов разложения озона, которые обеспечат возможность быстро провести полное разложение озона до приемлемых концентраций за требуемые промежутки времени.

## 7. Выводы

1. Определена закономерность изменения концентрации озона по высоте, при поступлении его в закрытое помещение. При поступлении озона в закрытое помещение со скоростью 2 г/мин, его концентрация достигает более высоких значений по высоте помещения, чем рассчитанная на основе молекулярной диффузии, за рассматриваемый интервал времени – 30 минут. По истечении 30 минут на высоте 1 м от места ввода озона его концентрация достигала значения 0,4 г/м<sup>3</sup>. Эта концентрация достаточна для заметного протекания реакции окисления паров ртути в воздухе и на поверхности отдельных предметов, ранее адсорбировавших ртуть (не капельной ртути). При сохранении выявленной тенденции увеличения концентрации озона по высоте, при высоте помещения 2,7 м (стандартная высота жилых помещений), достижение концентрации озона в потолочной области равной 0,4 г/м<sup>3</sup>, будет достигнута примерно за 1,5 часа. Соответственно, при увеличении высоты обрабатываемого помещения, время достижения концентрации озона до минимально необходимой для количественного протекания процесса демеркуризации, должно быть увеличено. Если сравнить время, за которое во всем объеме помещения будет достигнута минимально необходимая концентрация озона, со временем нанесения демеркурирующих растворов на обрабатываемые поверхности (стены, потолок, пол, отдельные предметы в помещении), то оно значительно меньше. Значительно меньше и трудовые затраты, отсутствует необходимость нахождения спасателя все время в обрабатываемом помещении. Время нахождения спасателя сокращается до нескольких минут, которое включает размещение озонатора в помещении и включение его в работу.

2. Установлена скорость самопроизвольного разложения озона, в условиях бытового помещения без доступа свежего воздуха. Установленная скорость разложения озона в газовой среде, при отсутствии окисляемых веществ, равна 17 мг/(м<sup>3</sup>·мин). Данная скорость, по мнению авторов, минимальная скорость, фактически в жилых помещениях она будет много больше. Найденная величина скорости разложения озона позволит рассчитать время его полного разложения, без применения дополнительных мер по его распаду. В течение этого расчетного времени находиться в обрабатываемом помещении небезопасно.

Результаты данной работы основаны на лабораторных опытах и требуют подтверждения в полигонных условиях.

Использование озона в качестве эффективного демеркуризатора будет расширяться, поэтому технология проведения демеркуризации, должна обеспечить как качество демеркуризации на всех уровнях помещения позволяющее достичь ПДК по ртути за минимальное время, так и безопасность проводимых работ.

## Литература

1. Кузьмин С. И. Оценка воздействия ртути на окружающую среду в Республике Беларусь. Минск: Экология, 2012. С. 64.
2. Report of the Conference of the Parties to the Minamata Convention on Mercury on the work of its third meeting United Nations Environment Programme (UNEP). Geneva, 2019. P. 62.
3. Отчет по договору № 2009/18-6 от 20.09.2018 о выполнении работ в рамках проекта международной технической помощи «Проведение первичной оценки условий для реализации Минаматской конвенции в Республике Беларусь // Мелех Д. В. Минск: Экология, 2018. С. 45.

4. Romanov A. Reducing mercury emissions from coal combustion in the energy sector of the Russian Federation // The Scientific Research Institute for Atmospheric Air Protection. Saint-Petersburg, 2011. 61 p.
5. Reducing mercury emissions from coal combustion in the energy sector of China / Tsinghua University. Beijing, 2011. P. 63.
6. Nabi, Sh. Toxic Effects of Mercury / Sh. Nabi. - Springer, 2014. P. 268.
7. Wu Y. [et al.] Uncertainties in estimating mercury emissions from coal-fired power plants in China // Atmospheric Chemistry and Physics. 2010. Issue 10 (6). P. 2937–2946.
8. Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport // UNEP Chemi-cals Branch. Geneva, 2013. P. 44.
9. World health report: Health systems financing: the path to universal coverage. Geneva, 2010. P. 128.
10. Mercury contaminated material decontamination methods: investigation and assessment: final report / Florida International University. Florida, 2011. P. 73.
11. Marcello M., Baker V., Baker R. Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Re-leased by Artisanal and Small-scale Miners //Canada, 2013. P. 68.
12. Mniszek W. Emissions of Mercury to the Atmosphere from Industrial Sources in Poland // Atmospheric Environment. 2011. Issue 43(35). P. 5668–5673
13. Cheng C., Hack M., W. P. Pan. Partitioning of mercury, arsenic, selenium, boron, and chloride in a full-scale coal combustion process equipped with selective catalytic reduction, electrostatic precipitation, and flue gas desulfurization systems // Energy and Fuels. 2009. Issue 23. P. 4805–4816.
14. Инструкция по эксплуатации: измеритель концентрации озона «ИКО-2»: ЗАО «МЭЛП», Санкт-Петербург, 2008. С. 14.
15. Горовых О. Г., Канина М. А. Способ демеркуризации объектов с использованием озона: заявка ВУ 20170248. Заявл.4 июля 2017.

*О. Г. Горовых, к.т.н., доцент, проф. каф.*

*М. А. Канина, магистр, викл. каф.*

*Філія «Інститут перепідготовки та підвищення кваліфікації» ДУО Університету цивільного захисту Міністерства з надзвичайних ситуацій Республіки Білорусь,  
Світла роца, Республіка Білорусь*

#### **ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ДЕКОНТАМІНАЦІЇ РТУТЬВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Представлені статистичні дані щодо кількості виїздів на ліквідацію надзвичайних ситуацій, пов'язаних із забрудненням ртуттю приміщень різного призначення, транспортних засобів і територій за останні роки в Республіці Білорусь і Сполучених Штатів Америки. Розглянуто запропоновані до використання різними авторами розчини і хімічні матеріали для проведення демеркуризаційні робіт. Відзначено проблеми, що виникають при використанні даних демеркуризуючих складів. Показано, що застосовуються в даний час методи на основі хімічних демеркуризуючих розчинів не дозволяють провести демеркуризацію, з досягненням концентрації парів ртуті нижче гранично допустимих концентрацій в прийнятні часові терміни. Показана важливість вирішення даної проблеми. Вказано на необхідність в розробці нових підходів до ліквідації надзвичайних ситуацій, пов'язаних з наявністю ртуті. Запропоновано метод проведення деконтамінації ртутьвмісних матеріалів з використанням озонування. Описано експериментальну установку і приладова база, яка використовується при проведенні експерименту. Встановлено середню швидкість мимовільного розкладання озону без доступу свіжого повітря і наявності речовин, що окисляються. Проведено порівняння розрахованої теоретично і певної експериментально швидкості самовільного розкладання озону в часі. Запропоновано використовувати отримані дані для розробки методичних реко-

мендацій щодо застосування озону в якості демеркуризуючого агента. Показано що, технологія, що базується на використанні озону, дозволить забезпечити проведення деконтамінації поверхонь і повітря в даному обсязі ефективно і в найкоротші терміни.

**Ключові слова:** деконтамінація, демеркуризація, озонированіє, ртутьвмісніє матеріалі, швидкість розкладання озону

*O. Gorovykh, PhD, Associate Professor, Professor of the Department*

*M. Kanina, Master, Lecturer of the Department*

*Branch «The Institute for Retraining and Professional Development» University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Svetlaya Roshcha, Republic of Belarus*

## THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF MERCURY-CONTAINING MATERIALS DECONTAMINATION

Statistical data are presented on the number of trips to eliminate emergency situations related to mercury contamination of premises for various purposes, vehicles and territories in the Republic of Belarus and the United States of America in recent years. The solutions and chemical materials proposed for use by various authors for demercurization works are considered. The problems arising from the use of these demercurizing compositions have been noted. It is shown that the currently used methods on the basis of chemical demercurizing solutions do not allow to carry out demercurization when the concentration of mercury vapor reaches below the maximum permissible concentration in a reasonable time. The importance of solving this problem has been shown. The necessity of development of new approaches to elimination of emergency situations connected with presence of mercury is specified. The method of decontamination of mercury-containing materials by means of ozonation is offered. The experimental unit and the instrument base used in carrying out the experiment are described. The regularities of change of ozone concentration by height of a room are established, at its receipt in the closed room on its lower level. The obtained experimental data are compared with the theoretical rate of change of ozone concentration by height based on molecular diffusion of ozone. The explanation of the obtained results is offered. The average rate of spontaneous ozone decomposition without access of fresh air and presence of oxidized substances is established. The comparison of calculated theoretically and experimentally determined rate of ozone spontaneous decomposition in time is carried out. It is proposed to use the obtained data for development of methodical recommendations on application of ozone as demercurizing agent. It is shown that the technology based on the use of ozone will allow to provide decontamination of surfaces and air in this volume efficiently and in the shortest possible time.

**Keywords:** decontamination, demercurization, ozonation, mercury-containing materials, ozone decomposition rate

### References

1. Kuzmin, S. I. [et al.]. (2012). Environmental impact assessment of mercury in the Republic of Belarus. Minsk: Ecology, 64.
2. Report of the Conference of the Parties to the Minamata Convention on Mercury on the work of its third meeting United Nations Environment Programme (UNEP). (2019). Geneva, 62.
3. Meleh, D. V. [et al.]. (2018). Report on contract №. 2009 / 18-6 of 09/20/2018 on the implementation of work under the international technical assistance project "Conducting an initial assessment of the conditions for the implementation of the Minamata Convention in the Republic of Belarus". Minsk: Ecology, 45.
4. Romanov, A. (2011). Reducing mercury emissions from coal combustion in the energy sector of the Russian Federation. The Scientific Research Institute for Atmospheric Air Protection. Saint-Petersburg, 61.
5. Reducing mercury emissions from coal combustion in the energy sector of China. (2011). Tsinghua University. Beijing, 63.

6. Nabi, Sh. (2014). Toxic Effects of Mercury. Sh. Nabi. Springer, 268.
7. Wu, Y. [et al.]. (2010). Uncertainties in estimating mercury emissions from coal-fired power plants in China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10 (6), 2937–2946.
8. Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. (2013). UNEP Chemicals Branch. Geneva, 44.
9. World health report: Health systems financing: the path to universal coverage. (2010). Geneva, 128.
10. Mercury contaminated material decontamination methods: investigation and assessment: final report. (2011). Florida International University. Florida, 73.
11. Marcello, M., Baker, V., Baker, R. (2013). Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Re-leased by Artisanal and Small-scale Miners. Canada, 68.
12. Mniszek, W. (2011). Emissions of Mercury to the Atmosphere from Industrial Sources in Poland. *Atmospheric Environment*, 43(35), 5668–5673.
13. Cheng, C., Hack, M., Pan, W. P. (2009). Partitioning of mercury, arsenic, selenium, boron, and chloride in a full-scale coal combustion process equipped with selective catalytic reduction, electrostatic precipitation, and flue gas desulfurization systems. *Energy and Fuels*, 23, 4805–4816.
14. Operation manual: ozone concentration meter “IKO-2”: CJSC “MELP”, St. Petersburg, 2008, 14.
15. A method of demercurization of objects using ozone: application. № a 20170248 BY / Gorovykh, O. G., Kanina, M. A. Declared. July 4, 2017.

Надійшла до редколегії: 06.02.2020

Прийнята до друку: 20.02.2020