Глобальный центр мониторинга пожаров (GFMC)
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии
Региональный восточноевропейский центр мониторинга пожаров (REEFMC)
Зеленый крест – Швейцария

ПЕРЕДОВОЙ ОПЫТ БОРЬБЫ С ПРИРОДНЫМИ ПОЖАРАМИ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПОЖАРНЫХ ПРИ ПОЖАРАХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С РАДИОАКТИВНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

Авторы:
***Йоханн Георг Голдаммер**, Глобальный центр мониторинга пожаров (GFMC);*
***Валерий Кашпаров**, Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии Национального университета биоресурсов и природопользования Украины;*
***Сергей Зибцев**, Региональный восточноевропейский центр мониторинга пожаров (REEFMC), Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины;*
***Стефан Робинсон**, «Зеленый крест – Швейцария».*

*Координатор проекта и общая редакция: **Тамара Кутонова**, ОБСЕ*

Фрайбург – Базель – Киев – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

РЕЗЮМЕ 3

1. ВВЕДЕНИЕ 5

1.1 ОСОБЕННОСТИ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ И ДРУГИХ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ РИСКОВ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ 5

1.2 ВЫЗОВЫ ДЛЯ ТЕХ, КТО ПРИНИМАЕТ РЕШЕНИЯ 8

2. ФАКТОРЫ РИСКА ДЛЯ ПОЖАРНЫХ ПРИ ТУШЕНИИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ УЧАСТКАХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ 10

2.1 ТЕПЛО 10

2.2 ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ 11

2.3 ДЫМ 12

2.4 РАДИАЦИЯ 14

2.5 ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА 21

3. ОБОСНОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ И ТИПОВ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТУШЕНИИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ УЧАСТКАХ 23

3.1 РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ 23

3.1.1 СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ РАДИАЦИИ 24

3.1.2 АППАРАТУРА ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА 27

3.1.3 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ 29

3.2 ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ 33

3.3 ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА 34

3.3.1 СТАНДАРТНЫЕ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ (СИЗ) ДЛЯ НЕОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ 34

3.3.2 СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ (СИЗ) ДЛЯ БОРЬБЫ С ОГНЕМ НА МЕСТНОСТИ С ВЫСОКОЙ ВЗРЫВООПАСНОСТЬЮ 37

4.1 РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ 38

4.1.1 ДЕЗАКТИВАЦИЯ 38

4.1.2 ПОЛНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ 40

4.2 ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ 40

4.3 ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА 42

4.3.1 НАЗЕМНЫЕ ОПЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БРОНИРОВАННОЙ ТЕХНИКИ 43

4.3.2 БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ (БПЛА) ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И КООРДИНАЦИИ ОПЕРАЦИЙ 44

5. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ 46

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА 48

ПРИЛОЖЕНИЕ 51

Резюме

За период 1993-2013 гг. в лесах Чернобыльской зоне отчуждения (ЧЗО) было официально зафиксировано более 1250 природных пожаров различного вида и интенсивности. Наиболее сильный пожар общей площадью до 17 000 га произошел в августе 1992 года, для ликвидации которого были задействованы сотни пожарных. Пожары, возникающие на загрязненных территориях, создают дополнительные, нестандартные риски и могут негативно влиять на здоровье пожарных, персонал и население. В Европе существуют три основных вида загрязненных территорий, где возможны природные пожары:

- территории, загрязненные радионуклидами, вследствие ядерных и радиационных аварий (например, вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году);
- территории, загрязненные различными химическими веществами, вблизи объектов химической промышленности из-за регулярных выбросов/сбросов либо аварий или сопутствующего ущерба, нанесенного в результате военных действий;
- территории, загрязненные неразорвавшимися боеприпасами и минами от прошлых или текущих вооруженных конфликтов, а также использованные ранее в качестве военных полигонов либо для проведения учений.

В данной работе, выполненной под эгидой Организации по безопасности и сотрудничеству в Европе (ОБСЕ), сделан обзор лучших методов борьбы с пожарами и существующих специальных средств индивидуальной защиты пожарных на вышеупомянутых территориях. Работа выполнена сотрудниками Глобального центра мониторинга пожаров (GFMC), Украинского НИИ сельскохозяйственной радиологии и Регионального восточноевропейского центра мониторинга пожаров (REEFMC) Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, а также организации «Зеленый крест – Швейцария». Данная работа выполнена в связи с низкой эффективностью методов и средств, применяемых для борьбы с природными пожарами на загрязненной местности, а также низким уровнем индивидуальной безопасности пожарных. В то же время, в мире уже разработаны современные средства индивидуальной защиты для профилактики и тушения пожаров на загрязненных и потенциально опасных территориях (ядерно-радиационные и химические объекты, склады боеприпасов). Их использование при борьбе с охватывающими большие территории природными пожарами очень ограничено и в большинстве случаев невозможно. Однако, некоторые принципы и технологии тушения опасных материалов могут быть применены для тушения природных пожаров на загрязненных территориях. Опыт и навыки, приобретенные при тушении пожаров на участках, загрязненных взрывчатыми боеприпасами и наземными минами, могут использоваться для борьбы с пожарами на радиоактивно загрязненных территориях. Данный отчет представляет собой обзор современных передовых методов и оборудования для безопасного тушения природных пожаров, на загрязненной местности.

Радиационной безопасности пожарных в отчете посвящены следующие разделы:

- описание передовых методов и рекомендаций по борьбе с пожарами на загрязненных территориях;
- оценкf дозы облучения при распространении пожара;
- оценка передовых практик по снижению радиационного воздействия при тушении пожара и рекомендации по индивидуальной защите.

Один из главных выводов отчета – это то, что контроль природных пожаров на загрязненных территориях чрезвычайно опасен и затруднен. Именно поэтому необходимо должным образом расставлять приоритеты по инвестициям, выделять соответствующие средства, повышать уровень подготовки и потенциал для обеспечения безопасного и эффективного контроля природных пожаров и снижения рисков для пожарных и гражданского населения.

В отчете даны следующие рекомендации.

1) Должны быть разработаны и применены специальные средства и меры пожароуправления, средства индивидуальной защиты и тактика, созданы соответствующие медицинские и экологические службы, которые будут использоваться для безопасного пожаротушения в упомянутых условиях.

2) Основные риски для здоровья пожарных связаны с воздействием на организм пожарных дыма от горящей растительности, загрязненной радионуклидами и химикатами. В этой связи необходимо обеспечить контроль за применением индивидуальных средств защиты, ограничить время работы пожарных на тушении (в зависимости от радиологических и химических рисков), а также избегать непосредственного контакта пожарных с загрязненным дымом, используя тактику непрямой атаки на огонь (отжиг, авиационное тушение).

3) Необходимо разрабатывать план кратко – и долгосрочного снижения пожароопасности на основе управления горючими материалами и выборочных рубок леса. Стратегически такие планы также должны включать порядок обращения с собранной радиоактивной древесиной, включая специальные сжигающие установки и последующий план утилизации отходов сжигания. Без такой долгосрочной стратегии усложнено управление лесами и снижение риска пожаров.

4) Пожарные, работающие на территориях с радиоактивным либо химическим загрязнением, должны быть должным образом обучены и оснащены. Система поддержки принятия решений при борьбе с огнем, а также система контроля качества воздуха позволят руководству следить за временем пребывания пожарных на линии огня, исходя из конкретных норм радиационной и химической безопасности.

5) Тушение пожара на местности, загрязненной неразорвавшимися боеприпасами и наземными минами требует применения иных средств индивидуальной защиты и оборудования для обеспечения защиты персонала в случае взрыва.

6) Для всех типов загрязнения раннее обнаружение, мониторинг и контроль пожаров требуют усовершенствованных методов, которые сокращают время пребывания и количество людей. Удаленное снятие показателей и параметров с целью раннего обнаружения пожаров (наземное автоматическое и автономно работающее оборудование с целью выявления дыма или повышенной температуры), беспилотные с дистанционным управлением или автономные наземные и воздушные транспортные средства снижают риски для здоровья, увечий и летальных исходов. Передовые решения для беспилотных, воздушных и наземных методов борьбы с огнем заслуживают внимания для дальнейшего практического применения.

1. Введение

1.1 Особенности Чернобыльской зоны отчуждения и других загрязненных территорий с точки зрения рисков природных пожаров [1]

Высокая интенсивность, широкие масштабы и разнообразие форм антропогенной деятельности и использования земель существенно повысили пожароопасность в условиях разных видов загрязнений, которые создают дополнительные беспрецедентные факторы риска для пожарных при борьбе с природными пожарами. С точки зрения борьбы с природным пожаром, с целью повышения безопасности учитываются три основных вида загрязнения: радиоактивное, химическое и от взрывчатых веществ. Во всех вышеупомянутых случаях разные факторы создают риск для здоровья пожарных, что необходимо учитывать при проведении надлежащего обучения и подготовки пожарных команд, подборе средств индивидуальной защиты и принятия решений о стратегии и тактике борьбы с огнем, что поможет расставить приоритеты и обеспечить индивидуальную безопасность.

Ядерные аварии с масштабным загрязнением окружающей среды привели к повышению пожарной опасности и усложнили соблюдение безопасности при тушении пожаров. Начиная с пятидесятых годов XX века произошли три больших ядерных аварии, которые привели к широкомасштабному загрязнению окружающей среды: авария на производственном объединении «Маяк» в Челябинской области (Южный Урал, РФ) (Trabalka *et al*., 1980); катастрофа на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), УССР (1986) и на АЭС «Фукусима-1» (2011) (Steinhauser *et al*., 2014). На территории восточно-уральского радиоактивного следа (ВУРС), а также вокруг поврежденных реакторов были установлены зоны отчуждения (ЗО), из которых было эвакуировано население и прекращена традиционная хозяйственная деятельность. Чернобыльская катастрофа – самый опасный случай с точки зрения пожаротушения вследствие больших площадей, высокого уровня и загрязнения альфа-излучающими долгоживущими радионуклидами. Большинство загрязненных территорий покрыто лесами сосны обыкновенной, а также травами, характеризующимися высокой пожарной опасностью. В результате массового сооружения новых объектов ядерной энергетики в других регионах, особенно в азиатско-тихоокеанском регионе, повышается вероятность потенциальных аварий, вследствие чего необходимо более тщательно фиксировать накопленный опыт по контролю существующих загрязненных радиацией территорий. Авария на ЧАЭС изучена лучше других вышеупомянутых катастроф, потому будет более подробно описана в отчете.

Современная пожароопасность и меры по ее снижению в Чернобыльской зоне отчуждения (ЧЗО) описываются и определяются источниками возгорания, видами растительности, их распределением и динамикой, как и особенностями лесного хозяйства и охраны лесов от пожаров. Глобальное изменение климата стало еще одним важным фактором, препятствующим прогнозированию максимальной интенсивности, вида пожара и его последствий.

Со времени аварии на ЧАЭС (1986 г.) был установлен особый режим допуска на наиболее загрязненную десятикилометровую и тридцатикилометровую зоны вокруг ЧАЭС. В 1991-1994 годах из-за переселения населения из зоны безусловного (обязательного) отселения территория ЧЗО была расширена к западу и в настоящее время ее площадь достигает 260 000 га. В настоящее время 60-70% ЧЗО огорожено, к остальной части существует беспрепятственный доступ, для, например, автомобилей и пешеходов. Во избежание незаконного проникновения посетителей полицейские подразделения патрулируют периметр, что не является достаточно эффективным средством

[1] Автор: С. Зибцев

соблюдения режима отчуждения. За период 1993-2013 гг. в ЧЗО было официально зафиксировано более 1250 природных пожаров разного вида, интенсивности и масштабов. Наибольшей площадью характеризуются массовые пожары в августе 1992 года. Отдельные очаги горения развивались в различных частях ЧЗО, включая самую загрязненную центральную часть, на общей площади до 17 000 га сельскохозяйственных и лесных угодий (включая верховой пожар на площади более 5000 га) (рис. 1).

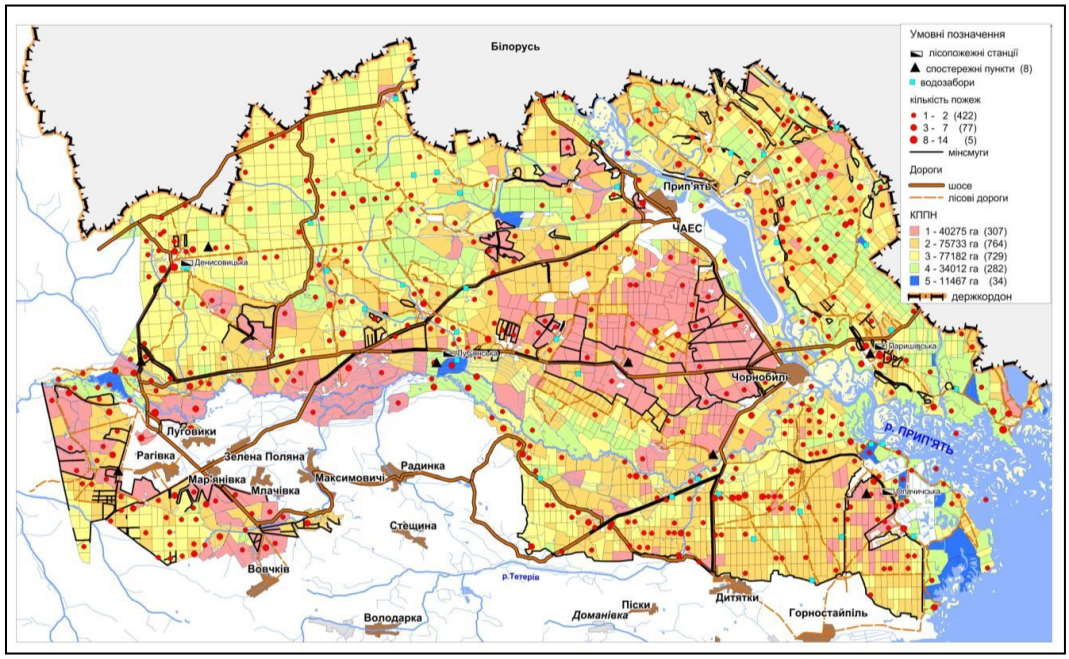

Рисунок 1. Территории, охваченные пожарами, и распределение лесов ЧЗО согласно украинской классификации степеней пожароопасности

Спутниковые снимки, сделанные в мае 2003 года, демонстрируют множественные лесные пожары на территории ЧАЭС и за ее пределами, на участках с разными уровнями загрязнения, с которых шлейф дыма распространяется в сторону Киева (рис. 2). Растительность в ЧЗО представляет собой мозаику из лесов (65%) и бывших сельскохозяйственных полей, склонных к возгоранию круглый год с максимальной пожароопасностью в апреле-мае и августе (рис. 3).

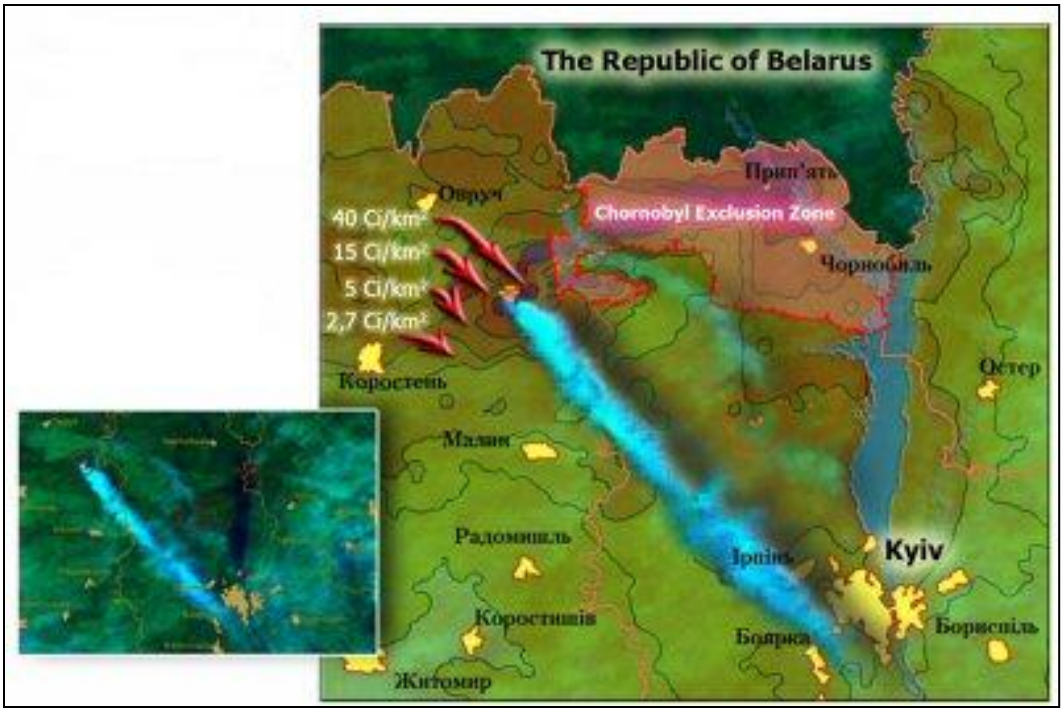

Рисунок 2. Пожары в районе ЧЗО на участках с различными уровнями загрязнения территории ^{137}Cs (1 Ки/км^2=37 кБк/м^2) и дымовым шлейфом в сторону Киева

Рисунок 3. Типичные виды склонной к возгоранию растительности в лесах вокруг ЧАЭС: сосновые леса и пастбищные угодья с естественной новой порослью. Радиационно-опасные объекты расположены среди лесов.

Из-за отсутствия традиционного использования земель ЧЗО и естественной сукцессии, интенсивно развиваются виды местной флоры, в результате чего происходит интенсивное накопление горючего материала. На больших площадях, покрытых сосняками среднего возраста, деревья поражаются болезнями и насекомыми, со временем становятся высоко пожароопасными в связи с тем, что рубки ухода не проводятся (рис. 4). Во многих случаях это привело к повышению пожарной опасности лесов с континуумом вертикальной структуры расположения горючих материалов (рис. 5).

Недостаток прореживания в ЧЗО (менее 10% требуемого уровня) создает чрезмерную загущенность соснового леса на всей территории и повышает риск высокоинтенсивных, верховых и масштабных

природных пожаров. Существующие мощности, структура и расположение сил пожаротушения не соответствуют такому высокому уровню пожароопасности и не гарантируют быстрого реагирования и эффективного тушения в критических погодных условиях. Так, одна лесопожарная станция с двумя-тремя машинами и 5-7 пожарниками несет ответственность за площадь более 65 000 га, в то время как за пределами ЧЗО аналогичная зона ответственности примерно в 15-20 раз меньше (3-5 000 га). Только около 70% этой зоны покрыто средствами обнаружения пожара (вышки с наблюдателями). Почти 23 000 га лесов с высокой пожарной опасностью в ЧЗО являются недоступными для пожарных машин или команд. Все вышеупомянутые факторы обуславливают высокий риск для личного состава пожарных команд, что требует особого внимания индивидуальным средствам защиты (СИЗ), применения специального оборудования, стратегии и тактики пожаротушения.

Рисунок 4. Сосновые леса (возраст 55 лет) уничтоженные насекомыми с большими запасами наземных горючих материалов (Леливское лесничество, 10-км зона)

Рисунок 5. Сосновый лес, поврежденный снегопадом с высоким классом природной пожарной опасности и вертикально структурированной структурой горючих материалов

1.2 Вызовы для тех, кто принимает решения

Только в нескольких странах мира применяется системный подход к решению проблемы устранения последствий природных пожаров на местности, загрязненной радиоактивными материалами, химическими веществами и боеприпасами – в виде реализации соответствующей стратегии или технологий. В этой связи в 2009 году был инициирован международный диалог, посвященный пожарам на загрязненных территориях. В октябре 2009 года в Киеве и Чернобыле был проведен международный семинар «Природные пожары и безопасность человека: управление пожаром на местности, загрязненной радиоактивными элементами, неразорвавшимися боеприпасами и наземными минами». Проведение семинара способствовало лучшему пониманию негативных последствий пожаров на загрязненных радионуклидами территориях Евразии. Наиболее тяжелыми последствиями для Украины, России и Беларуси оказалось радиоактивное загрязнение в результате аварии на четвертом блоке ЧАЭС. Присутствие чернобыльского радионуклидного загрязнения было

зафиксировано в выбросах от природных пожаров в Сибири и Центральной Азии, т.е. эти элементы распространились на огромные расстояния от источника, по всему евразийскому континенту. Природные пожары, произошедшие в США, вблизи ядерных объектов, также представляли собой угрозу, хотя и не вылились в катастрофические последствия с сильным радиоактивным загрязнением.

Участники проведенного семинара призвали принимающую сторону – правительство Украины - и организаторов - Глобальный центр мониторинга пожаров (GFMC), Совет Европы, ОБСЕ, международную инициативу «Окружающая среда и безопасность» (ENVSEC), Сеть по борьбе с природными пожарами программы UNISDR по снижению опасности стихийных бедствий, а также Команду специалистов по лесным пожарам ЕЭК ООН / ФАО - обратить внимание на существующие проблемы. Т.н. «Чернобыльская резолюция по пожарам в дикой природе и безопасности- вызовы и приоритеты по преодолению проблем, связанных с пожарами на территориях, загрязненных радиоактивными материалами, неразорвавшимися боеприпасами и наземными минами» рекомендует разрабатывать и применять соответствующие политические и практические меры пожароуправления на таких территориях[2].

Исследования, проведенные в Германии, странах Ближнего Востока (Ливан и Израиль), Южного Кавказа (Армения и Азербайджан) и Балкан (Босния и Герцеговина, Хорватия и Македония) сообщают о степени загрязнения территорий неразорвавшимися снарядами и минами в лесах и на другой местности, а также о проблемах, связанных с нахождением боеприпасов времен Первой мировой войны. Отчеты о пожарах на территориях подготовки войск и стрельбищах сообщают, что неразорвавшиеся боеприпасы являются очень опасными и часто приводят к жертвам среди пожарных.

С тех пор были предприняты решительные шаги в поиске методов и технологий борьбы с огнем на загрязненных боеприпасами участках. В Германии в 2009-2014 гг. проводилась научно-исследовательская работа по использованию контролируемых выжиганий на бывших военных полигонах, загрязненных боеприпасами. Данный проект был в основном ориентирован на использование предписанного выжигания с целью поддержания жизнедеятельности ценных заповедных угодий. Дополнительные результаты этого проекта позволяют использовать концепции и технологии для борьбы с пожарами на загрязненных территориях. Окончательные результаты работы проекта под техническим руководством Глобального центра мониторинга пожаров еще не опубликованы, предварительные результаты и выводы описаны в Goldammer *et al.* (2012).

[2] См. материалы семинара и Чернобыльскую Резолюцию UNECE / FAO International Forest Fire News (IFFN) No. 40 (2010), pp. 76-113. (http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn_40/content40.htm)

2. Факторы риска для пожарных при тушении природных пожаров на загрязненных участках и потенциально негативные последствия для здоровья

2.1 Тепло[3]

Тепловая энергия - одна из главных угроз для пожарных при тушении огня. Было проведено большое количество исследований по изучению физиологической реакции организма при непрерывном воздействии тепла интенсивности на человека (Adolph, 1947; Cuddy *et al*. 2008; Hendrie *et al.,* 1997; Ruby *et al*., 2003; Sharkey, 2004). Самая высокая угроза воздействия тепла на пожарного наступает при нарушении соотношения между поступлением и отдачей тепла. В результате возможны тепловые судороги, тепловое истощение и тепловой удар. Симптомы и факторы вышеупомянутых нарушений были описаны Домитровичем и Шарки (2010).

Тепловые судороги возникают как во время, так и после тушения - в руках и ногах. Основная причина тепловых судорог - обезвоживание и солевой дисбаланс. Наблюдаются обезвоживание, потение, судороги в мышцах, усталость. В случае подобных симптомов пожарный должен быть отстранен от участия в тушении, для восстановления рекомендуется отдых в тени, растяжка и массаж поврежденных мышц, контроль за количеством потребляемой воды. В случае обезвоживания необходимо медленное употребление энергетических напитков, содержащих соли и углеводы и/или соленой еды. В большинстве случаев пораженные такими симптомами пожарные смогут вернуться к работе в течение той же смены, при условии получения необходимого количества жидкости и отдыха.

Тепловое истощение обычно происходит, когда сердечно-сосудистая система не может обеспечивать нормальное кровообращение и водообмен. Обычно пожарный в таком состоянии слишком слаб для борьбы с огнем на передовой линии. Физиологически тепло стимулирует потоотделение, которое выводит из организма воду и соли, а также снижает общий объем крови. В результате этого резко снижается способность крови нести мышцам кислород и питательные вещества. Более серьезные симптомы включают в себя обезвоживание, головную боль, обильное потоотделение, головокружение, тошноту, охлаждение и затвердение кожи, усталость или слабость. Необходимо принять следующие меры: отвести пожарного от линии огня, расположить в тени, снять с него одежду, уложить и приподнять ноги. Необходимо отслеживать его температуру, кровяное давление, частоту дыхания и степень работоспособности (общее состояние). Если пожарный способен глотать и у него нет рвоты, он должен небольшими глотками принимать жидкость. Большинство пожарных с небольшим тепловым ударом быстро восстанавливаются вне зоны поражения, однако им не рекомендуется возвращаться к работе в течение следующих 24-48 часов. Пожарные с высокой степенью теплового удара должны находиться под наблюдением врача.

Более серьезен тепловой удар: он вызывает потерю способности организма самостоятельно регулировать свою температуру и поэтому опасен для жизни. В результате теплового удара температура тела поднимается выше 40°C. Тепловой удар нарушает функцию клеток и вызывает выброс цитокинов, которые нарушают клеточный обмен, вызывая местное и общее воспаление организма. Типичные симптомы теплового удара: иррациональное поведение, потеря трудоспособности, слабость, горячая и мокрая или сухая кожа, тахикардия (более 100 ударов сердца в состоянии покоя). Кровяное давление снижается гипервентиляцией. Необходимо принять следующие неотложные меры: отвести пожарного с лини огня, поместить его в тень, снять одежду, по возможности погрузить в воду (либо охладить струей воды) и немедленно эвакуировать. Возвращение к работе – не ранее чем через неделю под наблюдением лечащего врача.

[3] Автор: С. Зибцев

При борьбе с пожаром на загрязненной местности **тепло в большинстве случаев не является основным фактором опасности для здоровья пожарных - по сравнению с загрязненным радионуклидами и химическими веществами дымом, который поражает непосредственно дыхательные пути**, или по сравнению с взрывчатыми веществами, которые несут непосредственную угрозу жизни. Итак, пожарным необходимо знать, как регулировать влияние тепла и уметь избегать тепловую нагрузку, однако основное внимание уделяется защите от дыма, радиации и взрыва.

2.2 Химические элементы[4]

Несколько больших исследований было посвящено изучению загрязнения дыма природных пожаров химическими элементами и газами (Kelly, 1992; Reh and Deitchman, 1992; Lacaux, 1995, Ward, 1999; McDonald *et al*., 2000; Muraleedharan *et al*., 2000; Heil and Goldammer, 2001; Shauer *et al*., 2001; Ward and Smith, 2001; Radojevic, 2003; Booze *et al*., 2004; Miranda, 2004; Reinhardt and Ottmar, 2004; Statheropoulos and Karma, 2007; Bytnerowicz *et al*., 2009; Goldammer *et al*., 2009).

Согласно недавним исследованиям, дым природного пожара состоит из многих элементов. Самые важные из них – водяной пар, газы (CO_2, CO, NO_x, SO_x и NH_3), летучие органические соединения, полулетучие органические соединения и различные частицы. Из-за низкой концентрации окислы серы SO_x обычно несут низкий риск для здоровья, однако встречаются участки почвы с высоким содержанием химически активной серы - как естественного (вулканического), так и искусственного (в результате загрязнения угольными энергетическими установками) происхождения, - где происходят выбросы большого количества сернистых соединений. Например, критические концентрации SO_2 и H_2S наблюдались при пожарах в Йеллоустонском национальном парке. Присутствие NH_3 было зафиксировано при пожарах в саванне. В результате измерений была выявлена более низкая концентрация NH_3 по сравнению с концентрацией CO_2; NH_3 в основном появляется при тлении, а не во время активной фазы горения.

При пожаре активно образуются метан и различные летучие органические вещества. Было зафиксировано присутствие алканов, алкенов и алкинов в процессе образования этана, гептана, декана, пропана, ацетилена и других газов. Более опасны для здоровья бензол и алкибензолы, особенно толуен, ксилен и этил-бензол. При горении взаимодействие таких веществ с кислородом приводит к образованию фенола, м-крезола, п-крезола, гваякола, альдегидов (формальдегид, ацеталдегид, бензалдегид), кетонов, включая ацетон, уксусную кислоту, бензойную кислоту, метиловый эфир и т.д. Кроме того, при пожарах в сосновых лесах в дыме был зафиксирован хлорметан. Хлорметан считается наиболее обильно выделяющимся углеводородом при сжигании биомассы, состоящей из мертвой и живой растительности. Среди групп полулетучих соединений, образующихся в дыму лесного пожара, особенно опасен для здоровья бензапирен. Если пожар происходит на почве со значительным содержанием соли, выделение под действием тепла атомов хлора из молекул соли (NaCl) приводит в процессе охлаждения к образованию диоксинов, являющихся, сильными канцерогенами.

При природных пожарах образуется большое количество частиц разного размера. Воздействие на организм частиц зависит от их размера. В зависимости от интенсивности пожара и типа растительности размеры частиц варьируют - от крупных (>PM10) до самых мелких (PM2.5, PM1 и меньше). С химической точки зрения частицы состоят из органического углерода, который известен как сажа, и является продуктом неполного сгорания углеродистых материалов и горючего (CEPA, 1999). Недавно было изучено долговременное воздействие сажи на арктический лед. **Воздействие**

[4] Автор: С. Зибцев

на здоровье дыма сильно зависит от температуры горения. В процессе сгорания образуются высокотемпературные пары. Они взаимодействуют с химическими веществами в воздухе, формируя новые частицы, обычно диаметром до 0.1 µм, которые являются особо опасными для легких. Нелетучие химические соединения, включая радионуклиды, сорбируются либо конденсируются на поверхности частиц, создавая аэрозоли, формируя субмикронные частицы размером 0.1-1.0 µм, что создает дополнительную угрозу. Большинство элементов с низкой концентрацией, как природного, так и искусственного происхождения, переносятся в атмосфере с аэрозольными частицами в процессе природного пожара. Это такие элементы, как Na, Mg, AL Si, P, S. Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Rb, Sr, V, Pb, Cu, Ni, Br, Cr. **Они обычно содержатся в мелкодисперсных частицах и легко проникают в легкую и кровеносную систему пожарных**.

При лесных пожарах в пределах 5-6 километровой зоны вокруг химических предприятий (производство удобрений и т.д.) могут образовываться более сложные химические соединения в зависимости от интенсивности пожара. **В случае верхового пожара с высокой температурой горения большинство дыма уходит в верхние слои атмосферы из-за чего его химическое воздействие на пожарных низко.** При **низовых пожарах низкой интенсивности большинство дыма остается около поверхности земли, воздействуя на пожарных**, особенно со стороны продвижения фронта горения. Другие типы горючих материалов могут также способствовать повышению химической нагрузки дыма, когда, например, пожар развивается на заброшенных сельскохозяйственных угодьях, территориях около ядерной инфраструктуры и мест захоронений отходов. Такие места в лесах могут содержать мусор, пластмассу и удобрения, в дыму от сгорания которых могут содержаться пары стекла, цементная пыль, асбест или штукатурка и другие химические элементы. В таком случае при определении и применении тактики тушения пожара необходимо учитывать пространственное распределение компонентов химического загрязнения.

2.3 Дым[5]

По своей консистенции дым природного пожара является аэрозолем в форме коллоидной системы, состоящей из смеси диспергированной фазы твердых и жидких частиц в воздухе (Johnson, 1999). Уровень угрозы дыма для здоровья пожарных зависит от многих факторов и их сочетания. Прежде всего, это – сама по себе химическая токсичность, за которой следуют интенсивность горения и уровень, продолжительность и частота воздействия. Самое сильное воздействие на пожарных происходит при атаке на фронте пожара. Некоторые публикации приводят расширенный анализ и обзор главных факторов риска от дыма (Malilay, 1998; Heil and Goldammer, 2001; Radojevic, 2003; Bytnerowicz *et al*., 2009; Goldammer *et al*., 2009). Ниже представлена базовая информация об основных процессах образования дыма, что необходимо учитывать при организации борьбы с природными пожарами, в первую очередь – на участках с химическим загрязнением.

Частицы в дыму являются одним из основных факторов воздействия на дыхательную систему, из-за чего требуется применение средств индивидуальной защиты. Твердые компоненты дыма легко проникают в организм с вдыхаемым воздухом. Такие частицы делятся на две категории: мелкие частицы со средним диаметром 0.3 µм и крупные частицы со средним диаметром более 10 µм. Даже при низких концентрациях мелкие частицы могут вызывать изменения в функции легких, которые в долгосрочной перспективе могут вызвать респираторные и сердечно-сосудистые нарушения, включая астму. Мелкие частицы обычно влияют на альвеолы, где они и концентрируются. При условии недостаточной естественной очистки легких загрязняющие вещества в высоких концентрациях могут проникать в кровеносную систему или оставаться в легком, что приводит к хроническим заболеваниям легких, таких как эмфизема. Как уже говорилось, химикаты,

[5] Автор: С. Зибцев

разносимые взвешенными частицами, могут содержать многочисленные токсичные элементы с высоким канцерогенным эффектом.

Влияние дыма на здоровье непосредственно зависит от размера и типа природного пожара. По результатам исследований, при пожарах очень интенсивно образуются частицы (0,6 и выше тонн в секунду), поэтому **воздействие на здоровье зависит от интенсивности огня и направления ветра**. **От 40 до 70 % мелких частиц состоят из органического углеродного материала, который включает в себя канцерогены,** 2-5 % - углерод и остальное – неорганическая зола. Частицы несут сорбированные и конденсированные токсиканты и свободные радикалы, например, полицикличные ароматические углеводороды. Воздействие их на здоровье определяется их химической принадлежностью к группе органических соединений с двумя и более бензольными кольцами, таких как метил-антрацен, пирен, крисен, бензоантрацен, флуроантен и метилкризен. Бензапирен считается самым канцерогенным веществом. В дыму низкоинтенсивных встречных пожаров (идущие против ветра) находится большое количества бенз-а-пирена, по сравнению с пожарами, распространяющимися по ветру. Данный факт существенно ограничивает применение тактик подавления огня и требует минимизации времени работы пожарных даже при наличии отпала. Выработка полицикличных ароматических углеводородов при горении зависит от особенностей состава топливного материала. Выброс бенз-а-пирена повышается с повышением запаса живой растительности в зоне пожара. **Интенсивность его выброса самая высокая при температурах 500-800°**С, что соответствует результатам исследований выброса этих веществ в результате встречных отпалов низкой интенсивностью.

Угарный газ (СО) является основной причиной летальных исходов при природных пожарах. Это относится как к пожарным, так и гражданскому населению, застигнутому огнем. Механизм воздействия на здоровье угарного газа заключается в гипоксии тканей, в результате чего кровь переносит недостаточно кислорода. Уровень угрозы зависит от концентрации СО. Низкие и средние концентрации СО вызывают расстройство мышления, головные боли, замедление рефлексов, снижение моторики рук, физической силы, сонливость. Высокие концентрации могут вызвать летальный исход. Концентрация угарного газа тесно соотносится с концентрацией других компонентов дыма, включая частицы и формальдегид. В большинстве случаев концентрации угарного газа зависят от интенсивности огня - в диапазоне от 60 мкг при пожарах низкой интенсивности до более 300 мкг израсходованного горючего материала при высокоинтенсивных пожарах. Среди важных факторов, которые определяют интенсивность выброса - тип растительности и содержание влаги. В каждой стране установлены свои официальные пороговые значения. В Украине при продолжительности воздействия менее одного часа такой показатель 50 мг/м^3, менее 30 минут – 100 мг/м^3, и менее 15 минут – менее 200 мг/м^3.

Альдегиды, которые образуются при пожаре в воздухе, поражают слизистую оболочку. Самый опасный из них – формальдегид, который может быть канцерогенным в сочетании с такими агентами как ПАУ. Формальдегид и акролеин - два главных альдегида, которые образуются при сгорании растений. Формальдегид, занимающий первое место по количеству среди остальных вырабатываемых соединений, вызывает раздражение глаз, носа и горла при воздействии дыма. Является весьма вероятным, что акролеин является раздражителем в дыму вблизи линии огня при концентрациях от 0.1 до 10 ч/млн. Во время активной фазы природного пожара в результате окисления формальдегида образуются органические кислоты. Их воздействие на организм проявляется в виде раздражения слизистых. **Применение воды при тушении или высокая влажность воздуха при пожаре могут способствовать образованию таких кислот, как муравьиная, ацетиловая и другие.**

Легколетучие и летучие органические соединения вызывают раздражение кожи и глаз, сонливость, кашель и затрудненное дыхание. Самые опасные - бензол, 1.3-бутадиен, поскольку они являются генотоксичными канцерогенами и могут оказывать долговременное канцерогенное воздействие на здоровье пожарных.

Одним из самых вредных для здоровья химических процессов является быстрое образование при природных пожарах свободных радикалов. Свободные радикалы первыми - в течение 20 минут после своего образования - в виде аэрозолей проникают в ткани организма и воздействуют на здоровье пожарных. При сгорании растительности озон является чрезвычайно активно взаимодействующим оксидантом, который образуется в зоне вдыхаемого воздуха у линии огня. **Если концентрация озона превышает допустимый порог, он негативно влияет на функцию легких, существенно снижая сопротивление организма инфекционным заболеваниям. В таком случае пожарные с хроническими респираторными заболеваниями отводятся от линии огня**. Несколько часов интенсивной физической деятельности на линии огня даже при низкой концентрации озона оказывает негативное воздействие: с накоплением озона в тканях повышается частота дыхания, и появляются такие симптомы как кашель, одышка, избыточная мокрота, першение в горле, хрипы, тошноту и нарушение функции легких. При долгосрочном воздействии озона может быть снижение функции легких и хронические обструктивные заболевания дыхательных путей. Самая высокая угроза воздействия озона исходит от пастбищных/степных пожаров с низким пламенем при наличии солнечного света, когда дым скапливается в низинах или местах температурной инверсии.

Определенное воздействие на здоровье может производиться и неорганическими элементами. Наземные горючие материалы на территориях вокруг больших городов или промышленных предприятий обычно загрязнены тяжелыми металлами, особенно свинцом, асбестом, а также серой. Влияние неорганических элементов обычно низко, поскольку они присутствуют в незначительных концентрациях в частицах топливного материала и дыма, но одновременно в большой степени зависит от химического состава сжигаемого топливного материала и интенсивности природного пожара. Поскольку большинство кровель в сельской местности в Украине изготавливаются из асбеста, он широко распространен в наземном топливном материале и в воздухе вокруг населенных пунктов. Во время природного пожара волокна асбеста переносятся дымом и создают дополнительное загрязнение окружающей среды. Из остальных редко встречающихся элементов зафиксировано присутствие относительно высоких концентраций калия как следствие сгорания ветвей деревьев. **Миграция большинства данных элементов в дыхательные пути пожарных может быть в большинстве случаев существенно ограничена с помощью применения средств индивидуальной защиты, в первую очередь масок и респираторов**.

2.4 Радиация[6]

Радиоактивное излучение является естественным природным явлением, источники которого присутствуют в космосе и окружающей среде. Радионуклиды и испускаемое ими излучение могут быть также искусственного происхождения после ядерных и радиационных аварий. Существуют три основных типа ионизирующего излучения после загрязнение окружающей среды радионуклидами с различными свойствами и путями воздействия на здоровье:

- Альфа (α) - -частицы: это частицы, состоящие из ядер гелия. Альфа-частицы проникают на небольшую глубину и могут быть остановлены слоем воздуха в несколько сантиметров, листом бумаги или кожей. Они опасны только при вдыхании или заглатывании из-за облучения близлежащих тканей легких и желудочно-кишечного тракта.

[6] Авторы: В. Кашпаров и С. Робинсон

- Бета (β)-частицы: это частицы, состоящие из электронов с высокой энергией. У них средняя глубина проникновения, и хорошей защитой/барьером могут служить материалы с низким атомным номером (пластик, стекло или металл). Бета-излучение обычно не проникаютет за пределы верхнего слоя кожи, и при большой энергии и интенсивности может вызвать ее ожоги. Бета-частицы также опасны в основном при вдыхании или заглатывании.
- Гамма (γ) - излучение: это высокоэнергетическое/частотное электромагнитное излучение с большой глубиной проникновения, требующее для защиты от него материалов с высокой плотностью (например, свинец) или большой толщины. Гамма-излучение в основном опасно из-за риска внешнего облучения внутренних органов без вдыхания или проглатывания радионуклидов.

Разные мощности и величины доз облучения различных частей тела и органов человека могут вызвать различные типы воздействия на здоровье в различные моменты времени. Количество энергии ионизирующего излучения, поглощаемое в единице массы вещества, включая биологическую ткань, называется ***поглощенной дозой***. Единицей измерения величины поглощенной дозы является Грей, символ - Гр (1 Гр = 1 джоуль на килограмм, 1 мГр = 0,001 Гр). Поглощенная доза в 1 Гр для биологической ткани от α-излучения более опасна, чем та же доза в 1 Гр от β- или γ-излучения, потому что α-частица, имея больший заряд и массу, что приводит к большей ионизации молекул на единицу длины пробега в биологической ткани. ***Эквивалентная доза*** равна поглощенной дозе, умноженной на коэффициент, который учитывает относительную эффективность биологической опасности различных видов излучения. Этот радиационный весовой фактор равен 1 для β- или γ-излучения и 20 - для α-излучения. Единицей измерения величины эквивалентной дозы является Зиверт, символ - Зв (1 Зв = 1000 мЗв = 1000000 мкЗв). Например, средняя мощность эквивалентной дозы от всех естественных/природных источников излучения (фоновый уровень) составляет 0,1-0,3 мкЗв в час. Такие уровни эквивалентной дозы наблюдаются в Европе и в большей южной части Чернобыльской зоны отчуждения, в том числе городе Чернобыль. Максимальные значения мощности эквивалентной дозы сейчас характерны для наиболее загрязненных территорий вблизи промплощадки ЧАЭС (до 100 мкЗв в час). Риски возникновения рака от облучения одинаковыми эквивалентными дозами различных органов человека могут сильно отличаться, например, из-за различного распределения радионуклида в организме и воздействия излучения на разные органы. Сумма взвешенных эквивалентных доз (эквивалентная доза в каждом из основных органов тела и ткани, умноженная на тканевый весовой коэффициент, связанный с риском возникновения рака облучения ткани или органа) называется ***эффективной дозой***: это позволяет представить различные эквивалентные дозы в организме в виде единой величины. Эффективная доза учитывает, как энергию и вид излучения, так и риск облучения разных органов и тканей, следовательно, является величиной, характеризующей опасность ионизирующего излучения для здоровья человека. Кроме того, эта величина в равной степени относится к внешнему и внутреннему облучению организма, а также к однородной или неравномерной форме его облучения. Единицей измерения эффективной дозы также является Зиверт, символ Зв (1 Зв = 1000 мЗв = 1 000 000 мкЗв). Например, средняя эффективная доза от всех естественных источников радиации на Земле составляет 2,4 мЗв в год.

Радиация может разрушить молекулы организма, тем самым нарушая его нормальный метаболизм. Она может создать повреждения ДНК, которые могут иметь долгосрочные последствия. Различаются два вида радиационного воздействия:

- Краткосрочные последствия: проявляются только при превышении порогового уровня эквивалентной дозы. Последствия/ущерб зависит от величины поглощенной дозы и могут включать в себя (в порядке возрастания тяжести) головные боли, повышенный риск инфекций,

недостаток аппетита, усталость, потеря волос, стерильность, диарея, коллапс жизненно-важных функций, смерть. Эти типы последствий воздействия ионизирующего излучения называются детерминированными (тканевыми) эффектами;

- Долгосрочные последствия: могут проявляться через годы после получения небольшой дозы облучения. Пороговое значение доз облучения, приводящее к этим последствиям, на сегодня не выяснено. Изменения в ДНК может привести к раку или генетическим аномалиям. Эти вероятностные типы последствий называется стохастическими эффектами, вероятность возникновения которых пропорциональна эффективной дозе облучения человека. Считается, что смертельные риски всех видов рака и тяжелых наследственных эффектов от эффективной дозы облучения человека в 1 Зв составляют 5%.

Радиационные риски для людей и окружающей среды должны быть оценены и управляться посредством применения стандартов безопасности (основных международных стандартов безопасности - BSS) с помощью пределов доз для ситуаций планируемого облучения, обеспечивающих:

- предотвращение возникновение детерминированных эффектов у лиц, подвергшихся воздействию радиации;

- ограничение на приемлемом уровне вероятности возникновения стохастических эффектов.

Для профессионального облучения работников в возрасте старше 18 лет, пределы доз облучения составляют:

- эффективная доза 20 мЗв в год в среднем в течение пяти лет подряд (100 мЗв за 5 лет), и 50 мЗв в любой отдельный год;
- эквивалентная доза в хрусталике глаза 20 мЗв в год в среднем за 5 лет подряд (100 мЗв в 5 лет) и 50 мЗв в любой отдельный год;
- эквивалентная доза в конечностях (руки и ноги) или кожи 500 мЗв в год.

Существуют также дополнительные ограничения профессионального облучения для беременных женщин и в период грудного вскармливания.

Для населения, пределы доз составляют:

- эффективная доза 1 мЗв в год;
- в особых обстоятельствах, высокое значение эффективной дозы в течение одного года могут применяться при условии, что средняя годовая эффективная доза за пять лет подряд не превышает 1 мЗв в год;
- эквивалентная доза в хрусталике глаза 15 мЗв в год;
- эквивалентная доза в коже 50 мЗв в год.

Пределы эффективных доз применяются к сумме доз от внешнего облучения и соответствующих доз внутреннего облучения от поступления радионуклидов в организм за тот же период времени через органы дыхания и пищеварения.

Разные радионуклиды оказывают разный вред здоровью. В ЧЗО радионуклидное загрязнение обусловлено цезием-137 (^{137}Cs) и стронцием-90 (^{90}Sr), и тот и другой излучают бета-частицы, дочерним продуктом распада ^{137}Cs - барием-137м (^{137m}Ba) - γ-излучателем, а также изотопами плутония ($^{238, 239, 240}Pu$) и америцием-241 (^{241}Am), излучающими альфа-частицы. Мощность внешней дозы облучения зависит от плотности загрязнения территории ^{137}Cs. Концентрации в воздухе радионуклидов во время пожаров может возрасти в сотни и тысячи раз. Вдыхание альфа-излучающих радионуклидов ($^{238,239,240}Pu$ и ^{241}Am) и ^{90}Sr является основным источником доз внутреннего облучения персонала. Средства защиты пожарных должны обеспечивать:

- Защиту от проникновения частиц через рот, нос и глаза (ношение маски и защитной одежды),
- Защиту от внешнего гамма-излучения (максимальное ограничение времени пребывания и работы вне транспортного средства), а также

Немедленная и надежная дезактивация одежды и оборудования по окончанию работы.

В результате Чернобыльской аварии наибольшему радиоактивному загрязнению подверглась ближняя 30-км зона отчуждения (ЗО) и зона безусловного (обязательного) отселения (ЗБ(О)О) ЧАЭС. В настоящее время и ближайшие десятки лет основную радиологическую опасность будут представлять средне и долгоживущие радионуклиды: 90Sr, 137Cs, 238Pu, 239Pu, 240Pu, 241Am (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Основная масса 90Sr, 238Pu, 239Pu, 240Pu и 241Am во время выброса находилась в матрицы частиц облученного ядерного топлива - топливная компонента чернобыльских радиоактивных выпадений (Kashparov *et al*., 2001 и 2003). В связи с этим, карты плотности загрязнения этими радионуклидами территории ближней зоны ЧАЭС подобны (рис. 7 a, c, d).

Топливные частиц (ТЧ) образовались в результате диспергирования ядерного топлива во время первоначального взрыва, а также после его окисления на воздухе (Kuriny *et al*., 1993; Kashparov *et al*., 1996). Плотность топливных частиц размером от единиц до сотен микрон составляла 8-10 г/см3. Это обусловило высокую скорость сухого гравитационного осаждения ТЧ из радиоактивного облака и быстрое уменьшение с расстоянием радиоактивного загрязнения территории ближней зоны ЧАЭС

В отличие от радионуклидов топливной компоненты чернобыльских радиоактивных выпадений утечка летучего высокоподвижного 137Cs, в основном, происходила при высокотемпературном отжиге ядерного топлива с последующей конденсацией на различных носителях (конденсационная компонента чернобыльских радиоактивных выпадений), что и привело к принципиально иной картине радиоактивного загрязнения территории (рис.7b).

Плотность загрязнения территории i-м радионуклидом на конкретный момент времени (A_s^i) является базовой исходной информацией для оценки уровней радиоактивного загрязнения горючего материала и утечки радионуклидов при их сгорании, а также расчета мощности эквивалентной дозы внешнего облучения и эффективных доз внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов при лесных и луговых пожарах.

Внешняя доза облучения участников пожаротушения формируется в основном (более 99%) за счет гамма-излучения $^{137}Cs \rightarrow ^{137m}Ba$, содержащихся в подстилке, древостое и верхнем минеральном слое почвы (Table 1). До настоящего времени **в подстилке сосновых лесов может содержаться до 50% активности ^{137}Cs и ^{90}Sr от общего их запаса в биогеоценозе** (Ipatiev, 1999; Yoschenko *et al*., 1996; Shityuk, 2011). Наибольшей удерживающей способностью обладают полнопрофильные мощные подстилки хвойных лесов (до 50% активности), а минимальной – маломощные подстилки лиственных лесов (менее 1 % активности). При этом, в настоящее время более 75% активности радионуклидов в лесной подстилке сосредоточено в граничащем с минеральным слоем почвы разложившемся и полуразложившемся ее слое (Sheglov, 2000; Perevolotsky, 2006).

Кроме этого, в настоящее время до 20% активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в зрелых сосновых лесах может находиться в древостое от общего содержания в биогеоценозе, что вместе с высоким содержанием радиоцезия в слабо экранирующей гамма-излучение подстилке оказывает значимое влияние на формирование мощности эквивалентной дозы (МЭД) внешнего облучения человека (Kashparov, 2014).

В таких лесах при одинаковой плотность загрязнения ^{137}Cs территории МЭД в воздухе может до 1.5 раза быть выше, по сравнению с лиственными лесами и лугами, где основная часть радиоцезия уже содержится в минеральном слое почвы.

Мощность эффективной дозы от внешнего гамма – излучения радионуклидов P_{ext} **(**мкЗв/час**)**, расположенных в 5-см слое почвы, для взрослого человека может быть рассчитана как:

$$P_{ext} = 0.77 \cdot k \cdot \sum_{i=1}^{6} A_s^i \cdot B_{s\gamma}^i, \quad (1)$$

где 0.77 – коэффициент перехода к эффективной дозе от эквивалентной дозы для взрослого человека; k – коэффициент экранирования равный k=1 для открытого пространства и k=0.1÷0.5 в транспортных средствах (трактора, автомобили и т.д.); $B_{s\gamma}^{i1}$ - дозовый коэффициент, равный отношению МЭД (мкЗв/час) к плотности загрязнения территории i-м радионуклидом (A_s^i, кБк/м^2), содержащимся в 5-см слое почвы (Eckerman и Ryman, 1993) – Table 1.

Ожидаемая эффективная доза от внешнего гамма – излучения радионуклидов D_{ext} **(**мкЗв**)**, расположенных в 5-см слое почвы, для взрослого человека за время облучения в течение t часов будет равна:

$$D_{ext}(t) = P_{ext} \cdot t, \quad (2)$$

Доза внутреннего облучения участников пожаротушения может формироваться за счет ингаляционного поступления радионуклидов через органы дыхания. Во время пожара происходит высокотемпературная утечка радионуклидов, а также формирование мелкодисперсного радиоактивного аэрозоля за счет образования золы и конденсации радионуклидов на различных носителях (Yoschenko *et al*., 2006; Kashparov *et al*., 2000). Все это может приводить к увеличению приземной концентрации радионуклидов в воздухе в сотни и тысячи раз (Kashparov *et al*., 2000; Yoschenko *et al*., 2006).

В настоящее время большая часть территории ЗО и ЗБ(О)О ЧАЭС покрыта лесами, в которых преобладает сосна обычная и береза, 64% и 23%, соответственно. Удельная активности i-го радионуклида в траве и структурных компонентах древостоя (древесина, кора, ветви, хвоя/листья) может быть оценена на основании данных о плотности загрязнения территории i-м радионуклидом и его коэффициентов перехода из почвы в сухие компоненты горючего материала для разного вида деревьев или луговых трав (IAEA, 2010).

При луговых и лесных пожарах значимым источником утечки радионуклидов может быть лесная подстилка или слой войлока не минерализовавшихся трав на лугах. Урожайность сухих трав на лугах ЗО и ЗБ(О)О ЧАЭС обычно составляет около 0.2-0.3 кг/м2 , при этом содержание 90Sr и 137Cs в траве и подстилке по отношению к почве не превышает 1%, а содержание 238Pu, 239Pu, 240Pu, 241Am будет еще более чем в 10 раз ниже из-за малых коэффициентов перехода в растения (IAEA, 2010; Paskevich, 2006). Доля сгораемого горючего материала будет зависеть от вида пожара и класса пожарной опасности для разных погодных условий, и будет изменяться от 0 для древесины до 97% для хвои/листьев. Утечка наиболее летучего 137Cs, при этом, из сгоревшего горючего материала составит от 25 до 75%.

Для оценки ожидаемой эффективной дозы внутренней облучения человека за счет ингаляционного поступления радионуклидов в организм человека во время лесного пожара за время t необходимо знать интегральную (среднюю) концентрацию i-го радионуклида в области дыхания человека, дисперсный состав и класс растворимости радиоактивных аэрозолей, определяющих соответствующие дозовые коэффициенты, а также объем вдыхаемого за время t воздуха человеком, зависящего от возраста и интенсивности дыхания.

Дозовые коэффициенты, равные ожидаемой эффективной дозе за счет ингаляционного поступления 1 Бк i-го радионуклида в организм человека, могут существенно отличаться в зависимости от возраста человека (с возрастом меняется размер органов, тела и метаболизм), класса растворимости (растворимость аэрозоля определяет метаболизм i-го радионуклида в организме) и аэродинамического по активности диаметра радиоактивного аэрозоля (AMAD), определяющего транспорт и отложение радионуклидов в дыхательной системе. Крупные аэрозоли откладываются в верхних дыхательных путях, а мелкие могут проникать в альвеолы легких. Из растворимых аэрозолей радионуклиды быстро всасываются в организм человека, а нерастворимые могут очень медленно выводиться из дыхательной системы в зависимости от места их отложения

На основании данных о запасах в горючем материале и утечке i-го радионуклида с единицы поверхности в зависимости от вида пожара и класса пожарной опасности может быть оценена интегральная/средняя приземная концентрация i-го радионуклида в воздухе на различных удалениях от источника и при разных метеорологических условиях. Для этого, обычно, используются различные модели конвективного подъема и рассеяния (дисперсии) радиоактивного аэрозоля в атмосфере (Yoschenko *et al*., 2006; Evangeliou *et al*., 2014, 2015). Тем не менее, данные модели не позволяют рассчитать концентрацию радионуклидов в зоне дыхания участников пожаротушения в непосредственной близости от фронта огня.

При проведении активных экспериментов в зоне отчуждения ЧАЭС во время луговых пожаров (горение сухой травы и низовых/переходящих в верховые лесных пожарах), были установлены следующие соотношения (Kashparov et al., 2000; Yoschenko *et al*., 2006):

- отношение средней приземной объемной концентрации (A^i_{Rvs}, Бк/м^3) ^{90}Sr и ^{137}Cs к запасу в горючем материале (Бк/м^2) составляло 10^{-6}-10^{-5} 1/м, а для радиоизотопов Pu и ^{241}Am - 10^{-7}-10^{-6} 1/м при луговых пожарах (сгорании сухой травы)
- при сильных низовых переходящих в верховые лесных пожарах отношение концентраций всех радионуклидов в воздухе к запасу в горючем материале на единице поверхности составляло 10^{-7}-10^{-6} 1/м.

На основании этого можно оценить среднюю концентрацию i-го радионуклида в зоне дыхания участников пожаротушения (A^i_{Rvs}, Бк/м^3).

Ожидаемая эффективная внутренняя доза облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов D_{int} **(** мкЗв**)** для взрослого человека при интенсивной работе в течение t часов может быть рассчитана как:

$$D_{\text{int}}(t) = \sum_{i=1}^{6} A^i_{Rvs} \cdot B^i_{inh} \cdot t \cdot v \quad , \qquad (3)$$

где ***v*** – объем вдыхаемого воздуха: **3 м^3/час** при тяжелой физической работе взрослого человека и **1.5 м^3/час** при легкой;

B^i_{inh} - дозовый коэффициент, равный ожидаемой эффективной дозе за счет ингаляционного поступления 1 Бк i-го радионуклида в организм взрослого человека, мкЗв/Бк - **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

Суммарная ожидаемая эффективная доза облучения взрослого человека D_{Tot} (мкЗв) при тушении лесного пожара в течение t часов будет равна сумме эффективных доз, обусловленных внешним и внутренним облучением:

$$D_{Tot}(t) = D_{ext}(t) + D_{\text{int}}(t) \qquad (1)$$

Это позволяет оценить вероятность превышения контрольных уровней (эффективной дозы) внешнего (2.3 mSv/г) и внутреннего (0.7 mSv/г) облучения для персонала в 30-км Зоне отчуждения ЧАЭС при тушение пожара (Anonymous, 2008b).

Во время травяных пожаров относительная утечка 137Cs и 90Sr из горючего материала (войлока и травы) в атмосферу может достигать единиц %, а изотопы плутония - до 1%. Во время лесных пожаров, до 3-4% 137Cs и 90Sr, а также до 1% изотопов плутония может быть высвобождено из лесной подстилки и другого горючего материала. Относительная утечка радионуклидов при очень масштабных и интенсивных верховых лесных пожарах может быть, по всей видимости, даже больше, так как в этом случае можно ожидать большее выгорание горючего материала и возгонку радионуклидов (Yoschenko, 2006b). Имеющиеся экспериментальные и расчетные данные показывают, что даже **при самых неблагоприятных условиях, вторичный ветровой перенос радионуклидов при лесных пожарах, наблюдавшихся в ЧЗО, не будет оказывать значительного вклада в дополнительное загрязнение прилегающих территорий**. Дополнительный вклад в плотность загрязнения территории радионуклидами из-за лесного пожара может быть оценена в диапазоне 10^{-4}-10^{-5} на границе ЧЗО по отношению с существующим фоновым уровням радионуклидного загрязнения (Kashparov, 2000).

Для территорий ЧЗО даже на топливных следах радиоактивных выпадений при максимальных уровнях загрязнения территории ^{90}Sr, $^{238\text{-}241}$Pu и ^{241}Am в настоящее время при лесных и луговых пожарах эффективная доза внешнего облучения будет превышать ожидаемые дозы внутреннего облучения для участников пожаротушения. Для чисто конденсационных следов радиоактивных выпадений ^{137}Cs за пределами ЧЗО или после аварии на АЭС Фукушима в отсутствии значимого загрязнения территории ^{90}Sr, $^{238\text{-}241}$Pu и ^{241}Am, эффективная доза облучения участников пожаротушения от внешнего облучения будет всегда на 1-2 порядка величины превышать ожидаемую эффективную дозу от внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления ^{137}Cs даже без применения средств индивидуальной защиты органов дыхания. В то же время, учитывая резкое уменьшение концентрации в воздухе радионуклидов с расстоянием от пожара, можно утверждать, что дополнительная ингаляционная доза (так же, как и внешнее облучение от радионуклидов в воздухе) от лесных пожаров не будет оказывать значимого вклада в облучение персонала ЧЗО, который, не участвующих в тушении пожара, а также населения за пределами зоны отчуждения ЧАЭС (Yoschenko, 2006a).

Таблица 1. *Основные характеристики радионуклидов и их дозовые коэффициенты. Источник: IAEA (2011)*

№	i-й радионуклид	Период полураспада ($T_{1/2}$)	Основной вид излучения	$B^i_{s\gamma}$, (мкЗв/ч)/(кБк/м^2)	B^i_{inh}, мкЗв/Бк
1	$^{90}Sr \rightarrow {}^{90}Y$	29 лет (64,26 час)	β	6.2E-6	0.15
2	$^{137}Cs \rightarrow {}^{137m}Ba$	30.17 лет (2,5 мин)	β, γ	7.9E-4	0.007
3	^{238}Pu	87.74 лет	α	5.8E-8	43
4	^{239}Pu	24100 лет	α	1.2E-7	47
5	^{240}Pu	6563 лет	α	5.7E-8	47
6	^{241}Am	432.8 лет	α	1.7E-5	39

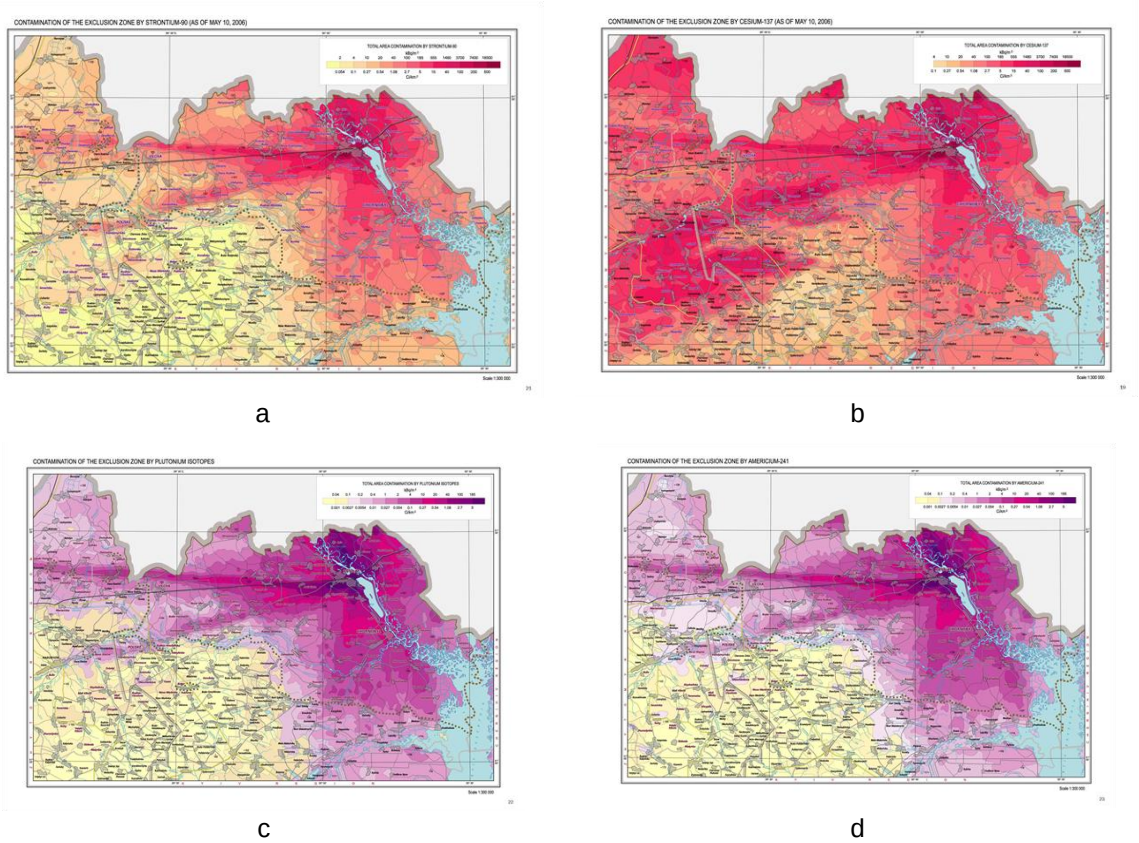

Рисунок 6. *Плотность загрязнения территории ЧЗО ^{90}Sr (a), ^{137}Cs (b), $^{238\text{-}240}Pu$ (c) и ^{241}Am (d) на 10 мая 2006 года (Anonymous, 2008b)*

2.5 Взрывчатые вещества [7]

Во многих странах западной, восточной и юго-восточной Европы, включая территории бывшего Советского Союза, большие территории лесных и других экосистем загрязнены неразорвавшимися боеприпасами – артиллерийскими снарядами, минометными минами, бомбами и прочими, а также наземными минами, которые остались со времен вооруженных конфликтов (взрывчатые вещества времен войны), или проведенных там военных маневров и стрелковых учений. Большинство боеприпасов, изначально находившихся под землей, постепенно движутся к поверхности под воздействием низких температур. Природные пожары, происходящие на таких участках, могут вызвать неконтролируемые взрывы с жертвами и увечьями среди пожарных[8].

Природные пожары могут поражать и другие военные объекты, такие как склады боеприпасов, ядерные и обычные исследовательские и складские объекты, расположенные на военно-стрелковых полигонах. За последние годы лесные пожары часто влияли на складские объекты с боеприпасами в восточной Европе и России. В 2008 году в Украине на таком объекте при проникновении лесного пожара на территорию взорвались артиллерийские снаряды. Пожар и последующие взрывы на складе боеприпасов на юге Украины убили пять человек; пожар на территории бывшей советской воинской части в Кагане, Узбекистан, перекинулся на склад боеприпасов в июле 2008 года, произведя серию взрывов, в результате которых погибло три человека и было ранено 21; был такой пожар на арсенале под Ульяновском (720 км от Москвы) в ноябре 2009 года. Самый недавний инцидент такого рода произошел на большом военном складе в России – его причину связывают с природным пожаром, произошедшем в мае 2011 года у деревни Урман (Башкортостан).

[7] Автор: Й. Голдаммер
[8] Для более подробного анализа и ссылок на примеры см. Goldammer (2013a).

На территории Европы действующие и бывшие районы подготовки войск и проведения стрельб пострадали от частых пожаров, там же образовывались и содержались открытые экосистемы с высокой степенью биоразнообразия, которые также регулировались искусственными пожарами. Атлантические и континентальные вересковые пустоши *Calluna vulgaris* в Германии являются классическим примером субклимаксных экосистем, исторически подвергавшихся интенсивной культивации (выпас, косьба, сбор биомассы) и преднамеренно или нет являющихся причиной пожаров, которые затем перекидывались на районы подготовки войск. В результате демилитаризации по завершении Холодной войны и объединении Германии в 1990-х годах, а также в первом десятилетии 21-го века, военные полигоны стали использоваться значительно меньше, и дотационное содержание открытых сред обитания критически упало из-за отсутствия соответствующей политики и приоритетов финансирования. Недавно введенная в Германии практика предписанного пала с целью управления средами обитания вересковых пустошей содержит в своей основе традиционные методы и средства сжигания, и, по сути, отражает новые экологические взаимосвязи и принципы, выявленные актуальными пирологическими исследованиями, которые все более широко признаются природоохранными общественными группами и населением. Так называемая «Белая Книга», регламентирующая использование предписанного пала для управления экосистемой - The White Paper on Use of Prescribed Fire in Land Management, Nature Conservation and Forestry in Temperate-Boreal Eurasia (Goldammer, 2009, 2013b) - призывает к повсеместному применению практики предписанного пала для поддержания природоохранной ценности бывших районов подготовки войск.

Присутствие UXO, однако, является ограничивающим фактором при применении предписанного пала на площади приблизительно 250 000 га местности высокой природоохранной ценности. Пилотный исследовательский проект, реализованный в заповеднике Хайдехоф-Гольмберг на земле Бранденбург в Германии, на территории бывшего военного полигона, имел цель испытать на безопасность использование бронированной техники (списанные танки) для инициирования и контроля предписанного пала. Мониторинг и контроль операций предписанного пала с помощью беспилотной воздушной техники (вертолет с видеосвязью с центром управления в реальном времени) позволяет осуществлять навигацию, безопасно и эффективно инициировать пал и управлять бронированной техникой. Данный проект позволил существенно пополнить опыт борьбы с огнем на загрязненных UXO территориях (Goldammer *et al*., 2012).

3. Обоснование потребностей и типов средств индивидуальной защиты для обеспечения безопасности при тушении природных пожаров на загрязненных участках

3.1 Радиоактивное загрязнение [9]

Эффективная доза облучения участников пожаротушения на территории ЧЗО формируется за счет внешнего излучения радионуклидов, находящихся вне тела человека (почва, подстилка, древостой и т.п.), а также за счет внутреннего облучения организма после ингаляционного поступления радионуклидов через органы дыхания. Весь персонал, выполняющий работы в Зоне отчуждения, находится на индивидуальном дозиметрическом контроле (Anonymous, 2008a).

Внешняя доза облучения участников пожаротушения может быть уменьшена за счет минимизации времени пребывания на территории с высокой плотностью загрязнения ^{137}Cs и экранирования гамма-излучения материалом кабин машин (до 10 раз) при использовании технических средств (автомобилей, тракторов и т.п.), а также за счет поглощения гамма-излучения в воздухе при применении авиационной техники (самолетов и вертолетов) для тушения лесных пожаров.

Внутренняя доза облучения участников тушения пожара за счет ингаляции альфа-изучающих радионуклидов и ^{90}Sr может быть соизмерима с дозой внешнего облучения в ближней 10-км зоне ЧАЭС на топливных следах радиоактивных выпадений.

При луговых и лесных пожарах на небольших удалениях от фронта огня в воздухе присутствуют радиоактивные аэрозоли микронного и субмикронного размера (рис.8). Наиболее опасные альфа-излучающие радионуклиды ^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Am поднимаются в воздух с микронными частицами золы и пепла. Эффективность удержания таких частиц фильтрами из ткани Петрянова, используемой в респираторах, превышает 98%. Поэтому при пожаротушении для защиты органов дыхания целесообразно применение различных типов респираторов и других средств индивидуальной защиты органов дыхания, а также герметизированных кабин машин и механизмов. Ингаляционное поступление радионуклидов в организм участников пожаротушения и обусловленная этим внутренняя доза облучения может быть уменьшено в десятки и сотни раз за счет применения индивидуальных средств защиты органов дыхания – респираторов и т.п..

Загрязнение поверхности кожи и спецодежды участников пожаротушения за счет вторичного осаждения радиоактивных аэрозолей будет на порядки ниже допустимых уровней загрязнения поверхности (Anonymous, 1997).

[9] Автор: В. Кашпаров

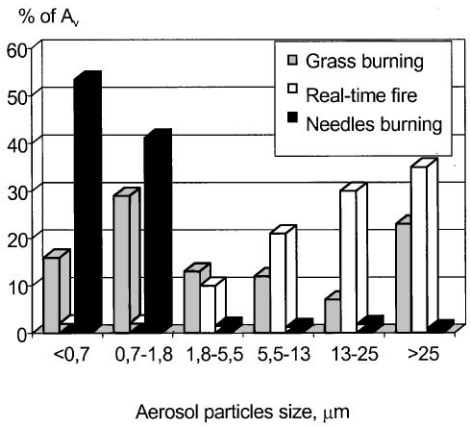

Рисунок 7. Распределение активности ^{137}Cs в аэрозольных частицах– Kashparov (2000)

3.1.1 Средства индивидуальной защиты от радиации[10]

При борьбы с пожарами в зоне загрязнения выбор соответствующих средств индивидуальной защиты (СИЗ) зависит от:[11]

- конкретных задач по тушению огня;
- риска загрязнения.

МЛСЗ защищают от:

- внешнего загрязнения и частично – проникающей радиации;
- внутреннего загрязнения путем вдыхания, заглатывания, проникновения через открытые раны;
- других физических опасностей (таких как падающие обломки, огонь/жар или химические агенты).

СИЗ не защищают от воздействия высоких уровней проникающего ионизирующего излучения.

СИЗ должны включать в себя:

- персональный дозиметр при наличии проникающего ионизирующего излучения. Персональные дозиметры-радиометры прямого считывания могут использоваться для мониторинга дозы облучения для получения информации о допустимом времени пребывания согласно рекомендованным ограничениям дозы для работников служб спасения. Дозиметры прямого считывания носятся таким образом, чтобы человек мог легко увидеть/услышать тревожный показатель/сигнал;
- рекомендованные респираторные СИЗ включают в себя респиратор для фильтрации воздуха на все лицо с воздушным фильтром типа P-100 или HEPA (от «фильтр высокоэффективный аэрозольный»). Другие средства защиты органов дыхания (хирургическая маска, респиратор N-95), непрошедшие испытания респираторы, как и разные самодельные средства не дают надлежащей защиты дыхания

Разработана защитная одежда, защищающая не только от агрессивных веществ, но и от ионизирующего излучения. Стандарты РФ предусматривают коэффициент ослабления воздействия внешнего бета-излучения с энергией до 2 МэВ (^{90}Sr) не менее 150 (150 раз), внешнего гамма-излучения с энергией 122 кэВ (^{57}Co) - не менее 5.5.

[10] Автор: С. Робинсон
[11] http://www.remm.nlm.gov/radiation_ppe.htm

Ниже приведены образцы российской и американской защитной одежды пожарных.

Радиационно-защитный комплект одежды для пожарных «РЗК-Т» (производство Российской Федерации, ТУ 8570-025-46840277-2003 с ИИ 005-2011)

Разработан для комплексной защиты персонала при тушении пожара и спасательных операциях на участках бета-гамма-излучения. Комплект защищает от радиации, высокой температуры, теплового излучения, проникновения радиоактивных газов и аэрозолей через дыхательные пути и пищеварительный тракт, загрязнения кожи и слизистых оболочек. Есть возможность навешивания индивидуальных дозиметров.

Спецификации РЗК-Т:

- температурный диапазон ношения комплекта - -40°С - +150°С;
- время работы при -40°С - +40°С - 20 минут; при +40°С - +100°С - 15 минут; при +100°С - +150°С - 3 минуты;
- коэффициент ослабления воздействия внешнего бета-излучения энергией до 2 МэВ (^{90}Sr) - не менее 150;
- коэффициент ослабления внешнего гамма-излучения с энергией 122 кэВ (^{57}Co)- не менее 5.5;
- время одевания (с помощью одного ассистента) - не более 3 минут;
- время снятия - не более 20 минут;
- вес не более 25 кг.

Комплект включает в себя следующие элементы: внешний изолирующий костюм с капюшоном, окнами, дыхательный аппарат в специальном отделении, резиновые перчатки и сапоги, сапоги и штанины; внутренний сплошной термоизолирующий слой; капюшон с внутренним теплозащитным шлемом; защитный слой от жара и радиации; накидка с защитой от радиации, рабочий халат, брюки, носки/стельки для сапог; гигиеническое влагопоглощающее белье.

Мобильный радиационно-защитный теплоотражательный комплект одежды для пожарных «РЗК-МТ» (производство Российской Федерации, ТУ 8570-025-46840277-2003 с ИИ 005-2011), соответствует ГОСТ Р 53264-2009

Разработан для комплексной защиты персонала при тушении пожара и спасательных операциях. Предназначен для защиты от внешней радиации, высоких температур, теплового излучения, проникновения радиоактивных газов и аэрозолей через дыхательные пути, а также загрязнение кожи слизистых.

Дыхательный аппарат с запасом сжатого воздуха носится поверх костюма; время работы может быть продлено быстрой заменой баллонов. Костюм защищает от теплового потока до 14 кВт/м^2 (не менее 180 секунд).

Комплект не ограничивает свободу передвижения и не мешает проникать в люки и смотровые колодцы диаметром не менее 600 мм. Забрало, покрывающее все лицо, допускает ношение

полнолицевой маски. Защитные накидки, бахилы и штанины дают дополнительную защиту в химически активных средах и от теплового потока.

Спецификации«РЗК-МТ»:

- диапазон рабочих температур - -40°C to +150°C;
- время работы при -40°C - + 40°C - 20 минут; при +40°C - +100°C - 15 минут; при +100°C - +150°C - 3 минуты;
- коэффициент ослабления of внешнего бета-излучения с энергией до 2 МэВ (^{90}Sr) - не менее 150 х;
- коэффициент ослабления внешнего гамма-излучения с энергией 122 кэВ (^{57}Co)- не менее 5.5 х;
- защищает от разнообразных агрессивных сред, включая топливо и химическое оружие, а также интенсивный тепловой поток до 14 кВт/м^2;
- время одевания (с помощью одного ассистента) - не более 3 минут;
- время снятия - не более 20 минут;
- вес - не более 18 кг.

Комплект включает в себя внешний комбинезон с капюшоном, резиновые сапоги, перчатки, защитный халат от радиации и жары, накидку с защитой от радиации, жилет, брюки, сапоги, гигиеническое влагопоглощающее белье.

Радиационно-защитный комплект одежды для пожарных «РЗК-М» (производство Российской Федерации, ТУ 8570-047-38996367-2004 с ИИ 005-2011, соответствует ГОСТ Р 53264-2009)

Данный мобильный комплект радиационной защиты разработан на основе легковесного комплекта химической защиты TASK-M.

Предназначен для комплексной защиты персонала при тушении пожара и спасательных операциях на участках бета- гамма-излучения, особенно в помещениях с толстыми стенами – таких как военные корабли и гражданские суда с атомными энергетическими установками. Дыхательный аппарат со сжатым воздухом носится поверх костюма, время работы продлевается быстрой заменой баллона. Костюм не ограничивает свободу и не мешает проникать в люки и смотровые колодцы диаметром не менее 600 мм. Забрало, покрывающее все лицо, допускает ношение полнолицевой маски.

Спецификации РЗК-М:

- диапазон рабочих температур - -40°C to +150°C;
- время работы при-40°C - +40°C - 20 минут; при +40°C - +100°C - 15 минут; при +100°C - +150°C - 3 минуты;
- коэффициент ослабления внешнего бета-излучения с энергией до 2 МэВ (^{90}Sr) - не менее 150;
- коэффициент ослабления внешнего гамма-излучения с энергией 122 кэВ (^{57}Co)-- не менее 5.5;
- время одевания - не более 3 минут;
- вес - не более 18 кг.

Комплект включает в себя гигиеническое влагопоглощающее белье, защищающие от радиации жилет, накидку, брюки и сапоги, тепло- и радиоизолирующий защитный халат, внешний костюм с перчатками и сапогами.

<u>Комплект радиационной защиты из волокна демрон</u> (США, www.radshield.com)

В Пожарном департаменте Нью-Йорка (FDNY) в 2010 году было принято решение включить демрон в программу модернизации одежды химической защиты (СРС) для повышения степени универсальной защиты. Пожарная команда Департамента под названием «Hazardous Materials Company 1» одной из первых стала использовать демроновый двухслойный жилет для радиационной защиты тела; экран «Демрон-W High Energy Nuclear/Ballistic IED RDD RED Shield» и одеяло «Crew Protection Blanket» от RST. Данные технологии обеспечивают максимальную безопасность, сокращая время, привлекаемый персонал и ресурсы, необходимые для реагирования в чрезвычайных ситуациях. Жилет может носиться под общим защитным комплектом для защиты жизненно-важных органов, щитовидной железы и паха. Он прошел испытания Департамента Энергетики США на защиту от рентгеновского и низкоинтенсивного гамма-излучения, высоко и низкоинтенсивных бета и альфа частиц. Ядерный/баллистический щит/экран является огне- и кислотостойким одеялом, создающим полный или максимальный барьер от взрывов и источников высокоинтенсивной энергии. Такое одеяло прошло испытания лаборатории «H.P. White Laboratory», в результате которого получило третий уровень баллистической защиты и наивысший уровень защиты от осколков. Одеяло «Crew Protection Blanket» созданное RST специально для FDNY, дает полную радиационную защиту командам быстрого реагирования и может также использоваться для транспортировки пострадавших от облучения с целью защиты находящихся рядом людей.

Испытания на защиту от радиации волокна «демрон», проведенные в 2003 году лабораторией Lawrence Livermore National Laboratory показали, что:

- демрон является эффективным средством защиты от радиации, сравнимым со свинцом по показателям г/см^2 и танталом по общему коэффициенту ослабления гамма, рентгеновского и бета-излучений»;
- для демрона с плотностью 3.14 г/см^3 толщина 0.8 мм будет соответствовать двум слоям используемого в настоящее время образца. Слой свинца с плотностью 11.3 г/см^3, создающий такую же защиту, будет иметь толщину 0.2 мм»;
- внешний вид демрона – гибкая податливая ткань, гораздо легче в эксплуатации, чем свинец;
- согласно утверждению компании «Radiation Shield Technologies», демрон нетоксичен, не несет опасности для органов дыхания и кожи потребителя и не требует особых условий и не имеет ограничений по утилизации;
- при данной толщине образца (0.38 мм) демрон создает защиту третьей степени от бета-излучения, и 10-й степени от низкоинтенсивного гамма-излучения;
- массовый коэффициент ослабления используется для определения толщины демроновой ткани, необходимой для успешной защиты от высокоинтенсивного гамма-излучения. Учитывая, что точный состав и конструкция демронового волокна является коммерческой тайной, можно сделать вывод, что при защите от радиации демрон создает барьер, сопоставимый со свинцом по массе материала, при этом не являясь опасным для окружающей среды или организма человека.

3.1.2 Аппаратура для радиационного контроля и мониторинга

Для замеров уровней мощности ионизирующего излучения, плотности потока радиоактивных частиц и полученных доз облучения персоналом используется большой ассортимент приборов. Ниже приведены примеры аппаратуры, используемой в Беларуси, России и Украине.

<u>Приборы для измерения мощности эквивалентной дозы ионизирующего излучения</u>

- ДП-5В (А, В), ИПД-5 для замера уровней бета и гамма-излучения (диапазон измеряемой мощности экспозиционной дозы 0.05 - 200 R/ч), имеет шесть отдельных полос, вес прибора - 3.2 кг.
- ДП-3В устанавливается на мобильных средствах (автомобиль, катер и т.д.). Замеряет уровни гамма-излучения (0.1 - 500 R/ч), имеет четыре отдельных полосы, вес прибора - 4.4 кг.
- ИПД-21, ИПД-22 устанавливаются на мобильных средствах (автомобиль, катер и т.д.) для измерения гамма- и нейтронного излучения (0.01 - 10^4 R/ч).

Дозиметры (карманные дозиметры для индивидуального дозиметрического контроля)

- ДК-02 (фото ниже, третий слева)- комплект из десяти индивидуальных дозиметров для измерения экспозиционной дозы (ЭД) рентгеновского и гамма- излучения с энергией 0,2-2,0 МэВ в диапазоне 0,01-0,2 Р при мощности ЭД не более 6 Р/час.
- ДКП-50 – индивидуальный дозиметр, который входит в комплект ДП-22-В и ДП-24, для измерения эквивалентных доз фотонного излучения 2-50 Р с энергией 0,2-2,0 МэВ при мощности ЭД 0,5-200 Р/час

- КИД-1 и КИД-2 (фото слева) – комплект индивидуальных дозиметров для измерения эквивалентных доз фотонного излучения с энергией 0,2-2,0 МэВ 0,02-0,2 Р при мощности ЭД до 6 Р/час и 0,2-2,0 Р при мощности ЭД до 120 Р/час для КИД-1 и 0,005-0,05 Р при мощности ЭД до 6 Р/час и 0,05-1,0 Р при мощности ЭД до 120 Р/час для КИД-2.
- ДП-70МР для измерения доз гамма- и нейтронного излучений в диапазоне от 0.5 до 8 Зв. Представляет собой стеклянную емкость с бесцветным раствором. Ампула располагается в пластиковом (ДП-70МР) или стальном (ДП-70М) корпусе. Крышка корпуса внутри имеет контрольный цвет, соответствующий цвету раствора при дозе 1 Зврад. При поступлении излучения в раствор он постепенно меняет свой цвет. Для определения полученной дозы радиации ампула извлекается из корпуса и вставляется в колориметр. Вращающиеся дисковые фильтры помогают сравнить цвет раствора в ампуле и определить дозу.
- ИД-1 (фото выше, последний слева) - комплект из десяти индивидуальных дозиметров для измерения дозы нейтронного излучения от 0.2 до 5 Зв.
- ПХ-11 - комплект из 500 индивидуальных дозиметров для замера доз гамма- и нейтронного излучения от 0.01 до 1 5 Зв. Возможность анализа доз за период до 12 месяцев. Цифровой индикатор обратного отсчета на передней панели.
- ДКС-04 "Стриж" – индивидуальный дозиметр для выявления с помощью звукового и светового сигналов, а также измерения экспозиционной дозы и ее мощности от фотонного, нейтронного и бета излучения в диапазоне 1-4096 мР и 0,1-999,9 мР/час, соответственно.

- МКС-05 «ТЕРРА» и РКС-01 «СТОРА-ТУ» (ECOTEST, Украина) - дозиметр-радиометр для измерения эквивалентной дозы фотонного излучения и ее мощности (0,1-9999 мкЗв/час), а также плотности потока бета-частиц.

Также для индивидуального дозиметрического контроля используются аналогичные дозиметры ДКС-АТ3509 и его модификации: ДКС-АТ3509А, ДКС-АТ3509В, ДКС-АТ3509С; ДКГ-08А "Скаут"; ДКГ-01Д "Гарант"; ДКГ-05Д и т.д.

Для радиационного контроля полученных индивидуальных доз облучения персоналом за время проведения работ используются различные комплекты пленочных фотодозиметров (ИФК-2,3; ИФКУ и т.д.), термолюминесцентных дозиметров (КДТ-1,2; ИКС-А) и т.д.

3.1.3 Организационные вопросы

Средства защиты пожарных лишь увеличивают время пребывания в радиационной среде, однако тушение пожара в условиях радиоактивного загрязнения должно сопровождаться другими организационными мерами по снижению риска воздействия на персонал.

I. Организация

Тушение пожара в загрязненных лесах может привести к:

- получению дозы от внешнего облучения;
- вдыханию дыма с радиоактивными частицами может вызвать внутреннее облучение организма пожарного, персонала и населения, так как радиоактивные аэрозольные субмикронные частицы могут переноситься ветром на большие расстояния.

Поэтому при организации тушения пожара на загрязненной территории необходимо иметь четкое представление о количестве и типе горючего материала в лесу, типах и уровнях радиоактивного загрязнения, ожидаемых дозах облучения и возможных рисках для здоровья пожарных, наличия боеспособного личного состава пожарной части и уровне его подготовки, доступных средствах индивидуальной защиты и тяжелой техники. Все эти факторы учитываются при разработке стратегии тушения. Ни при каких обстоятельствах не допускается пребывание личного состава и техники на подветренной стороне зоны пожара.

II. Обучение

Помимо базового курса для каждого пожарника, обучение химической и радиационной защите включает в себя:

- базовое понимание свойств химических веществ и радиации, базовые средства защиты/безопасности персонала;
- типы и материалы средств индивидуальной (СИЗ) и коллективной защиты;
- правила использования, обслуживания и утилизации защитных материалов;
- основы дозиметрии и радиационной защиты (см. ниже);
- способы минимизации риска при размещении личного состава в зонах загрязнения;
- правила радиосвязи и приоритеты передачи экстренных сигналов;
- при использовании авиации, особенно вертолетов: выход из воздушного транспорта только после осаждении пыли в зоне посадки;
- дезактивация , зонирование, сигналы и символы.

Основные стандартные правила радиационной защиты:

- избегать воздействия, как можно меньше пребывать в зоне воздействия;
- держаться как можно дальше от источника ионизирующего излучения;
- устанавливать защитные экраны (использовать материалы в зависимости от типа радиации);
- не курить, не пить и не есть в зоне загрязнения;
- не трогать рот, глаза, нос, открытые раны руками в зоне загрязнения;

- измерительным прибором измерять уровни загрязнения одежду, рук и ног до покидания зоны загрязнения;
- при покидании зоны загрязнения обязательно вымыть руки.

III. Службы радиационной защиты

Организационные меры

В дополнение к обычным пожарным командам, для проведения дозиметрических мероприятий необходимо организовать работу службы радиационного мониторинга, которая занимается, как минимум, следующим:

- регистрацией ежедневных полученных доз внешнего облучения всех пожарных, включая новоприбывших, в специальном журнале;
- проведение измерений содержания радионуклидов в приземном слое воздуха во время проведения работ, а также в теле пожарных после окончания работ (при наличии загрязнения территории ^{90}Sr и трансурановыми альфа-излучающими радионуклидами возможно проведение измерений активности экскрементов) для определения внутренних доз облучения пожарных;
- организацией регулярных медицинских осмотров для всех ликвидаторов и пожарных;
- организацией зоны переодевания и дезактивации людей и средств;
- составлением стратегии сбора и утилизации загрязненных материалов (СИЗ, маски, внешняя одежда, техника и т.д.);
- разработкой стратегий минимизации радиационного воздействия на минимальное число пожарных;
- обучением (повторным) пожарных основам радиационной защиты;
- разработкой рабочих планов для пожарных на несколько следующих дней (включая доступное рабочее время и организацию смен), с учетом полученных ранее доз радиации, теплового воздействия, прогнозируемого направления ветра и ожидаемых.планируемых доз облучения;
- участием персонала, который обеспечивает дозиметрический контроль в пожарных операциях, замеры уровней ионизирующего излучения на территории проведения операций и в приземеном слое воздуха;
- калибровкой и обслуживанием дозиметрической аппаратуры;
- ежедневными отчетами о дозах руководителю работ и передачей данных в национальный дозовый реестр;
- обеспечением карт радиоактивного загрязнения местности (включая загрязнение трансурановыми элементами) для пожарных частей.

Индивидуальные меры

- Индивидуальный дозиметр прямого считывания должен иметь каждый пожарный. Дозиметры прямого считывания помогают персоналу не допускать превышение дозы выше рекомендованного/контрольного/допустимого уровня. Они должны носиться таким образом, чтоб каждый ликвидатор мог бы легко увидеть показания и/или услышать предупреждающие сигналы.
- Кроме индивидуального дозиметра необходимо обеспечить следующие средства индивидуальной защиты: респираторы, очки/маски, легкие защитные костюмы и плащи/накидки, перчатки и т.д..

- Все пожарные подразделения получают надежные средства коммуникации.
- В зонах с высокими уровнями радиации при ядерных и радиационных авариях может рекомендоваться использование антирадиационных препаратов, таких как антибиотики, филграстин (коммерческое название Неупоген), CBLB502 (от Cleveland BioLabs), Ex-РАД (от Onconova Therapeutics), CLT-008 (от Cellerant Therapeutics). Последние перечисленные лекарства в данный момент проходят клинические испытания.
- Получаемые дозы и накопленная доза облучения каждого ликвидатора/пожарного контролируются (обязательный индивидуальный дозиметрический контроль/мониторинг).
- Национальное законодательство по радиационной безопасности или, при его отсутствии, штаб по управлению чрезвычайной ситуацией определяет максимально допустимую дозу, при получении которой ликвидатор отводится от внутреннего периметра (см. «Зонирование»). Предел повышенной эффективной дозы облучения персонала в Украине при планировании аварийных работ составляет 0.05 Зв за отдельный год. Облучение персонала в дозах 0.1-0.5 Зв может быть разрешено в исключительных случаях МОЗ Украины один раз за всю трудовую деятельность. Планирование повышенного облучения женщин в возрасте до 45 лет и мужчин моложе 30 лет запрещается (НРБУ-97)
- Пожарные должны соблюдать установленные промежутки пребывания в дымовом шлейфе с целью минимизации вдыхаемой дозы.

IV. Зонирование

Зонирование важно для достижения четкого понимания уровней ожидаемых доз облучения, риска и требуемых защитных мер, а также для недопущения распространения загрязнения из зоны.

Зонирование (пример Российской Федерации)

На территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs почвы при уровне 37-185 кБк/м^2 (1-5 Ки/км^2), и ^{90}Sr при уровне 5.55 - 37 кБк/м^2 (0.15-1 Ки/км^2) принимаются следующие меры:

- пожаротушение осуществляется в основном обычными методами с применением дополнительных мер по защите персонала от вредного воздействия пыли и продуктов горения;
- пожар можно тушить встречным огнем, с помощью наземной или воздушной техники, водой или огнетушителями с химическими агентами и ретардатными материалами.

На территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs почвы при уровне 185-555 кБк/м^2 (5-15 Ки/км^2) пожар тушится пожарными машинами с водяным лафетным стволом, а также с помощью воздушной техники. Могут возводиться химические барьеры.

На территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs почвы при уровне 555-1 480 кБк/м^2 (15-40 Ки/км^2) принимаются следующие меры:

- пожар тушится по специальному плану, который учитывает меры радиационной защиты;
- используется воздушная техника;
- на завершающей фазе тушения могут использоваться пожарные машины с водяным лафетным стволом, а также воздушной техникой.

На территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs почвы свыше 1 480 кБк/м^2 (40 Ки/км^2) принимаются следующие меры:

- используется воздушная техника;

- на завершающей фазе тушения могут использоваться пожарные машины с водяным лафетным стволом, также воздушной техникой.

Зонирование (пример США) [12]

Установка **внешнего** периметра при превышении любого из следующих показателей:

- мощность экспозиционной дозы 10 мР/час (или мощность эквивалентной дозы100 мкЗв/час);
- плотность потока бета-частиц от поверхности 60 000 частиц /(см^2*мин);
- плотность потока альфа-частиц от поверхности 6 000 частиц /(см^2*мин).

Необходимые меры в пределах данного периметра:

- эвакуация гражданского населения;
- изоляция территории;
- минимизация времени пребывания в периметре всех ликвидаторов и соблюдение требований индивидуальной защиты.

Установка **внутреннего** периметра при уровне радиации 10 Р/ч;

Необходимые меры в пределах данного периметра:

- Пребывание и работы в данном периметре могут привести к детерминистическим/тканевым эффектам и острым нарушениям жизнедеятельности организма. Любые действия в его пределах сводятся к самым неотложным (спасение жизни) при соблюдении минимального времени пребывания.

V. Медицинское обслуживание

Необходимо организовать соответствующие медицинские службы (на месте, в близлежащих больницах, специальных госпиталях для лечения больных с тяжелыми поражениями радиацией в случае ядерных и радиационных аварий). В конце проведения пожарного мероприятия весь задействованный персонал проходит медицинское обследование в специализированном учреждении, а общая накопленная доза записывается в центральном или национальном реестре.

VI. Законодательство

В Украине все работы на радиоактивно загрязненных территориях должны проводиться в соответствии с «Нормами радиационной безопасности Украины» - НРБУ-97 и Правилами радиационной безопасности при проведении работ в зоне отчуждения и зоне безусловного (обязательного) отселения, введенные в действие приказом МОЗ и МЧС от 04.04. 2008 № 179/276.
При отсутствии национального законодательства могут применяться принятые в 2011 году последние Международные основные стандарты безопасности Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) – BSS 2011. Законодательства должны включать в себя и отражать:

- список радиоактивных материалов и их свойств;
- организацию и средства служб радиационного мониторинга;
- меры и процедуры защиты персонала от радиационного воздействия;
- максимально допустимые уровни воздействия/пребывания пожарных, ликвидаторов и лесничих в нормальных условиях и при пожаре;

[12] http://www.ncrponline.org/Publications/Commentaries/Commentary%20No%2019%20Overview.pdf

- меры и правила дезактивации персонала и окончательного хранения утилизированного загрязненного материала;
- информацию о полученных персоналом дозах радиации и рисках для здоровья;
- организацию медицинской помощи ;
- облучение участников пожаротушения свыше допустимой дозы допускается лишь на краткий период согласно действующим санитарным нормам и правилам. Например, вынужденное повышенное облучение персонала допускается один раз в жизни при добровольном согласии с предварительным информированием о потенциальном получении доз и последствиях для здоровья. Дозы облучения персонала не должно превышать десятикратной величины к установленной законодательством для персонала ядерных объектов (в большинстве стран 20 мЗв в год).

В Беларуси все работы на радиоактивно загрязненных территориях должны проводиться в соответствии с «Нормами радиационной безопасности НРБ-2000/2012. ГН 2.6.1.8-127-2000» . В Российской Федерации в соответствии с - СанПиН 2.6.1.2523-9 «Стандарты радиационной безопасности (NRB-99/2009)».

3.2 Химическое загрязнение [13]

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) являются основным средством уменьшения негативных последствий для здоровья пожарных, вызванных дымом. Отсутствие СИЗ может нанести серьезный вред здоровью пожарных и привести к существенному снижению их пребывания на линии огня. Отсутствие необходимых СИЗ может в конце концов привести к неудаче тушения огня, серьезным нарушениям и смерти. Концептуальная схема с использованием СИЗ показана на рисунке 10.

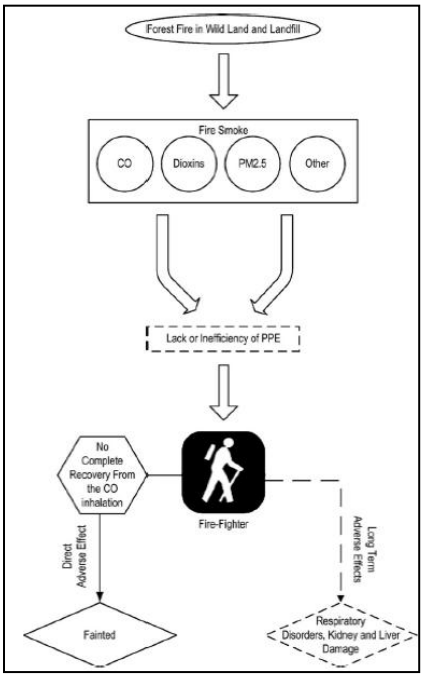

Рисунок 8. Концептуальная схема, отражающая вредное воздействие дыма природного пожара. Источник: Dokas et al. (2007)

В настоящее время не существуют решений всеобъемлющей защиты пожарного от всех химических опасностей, вызванных природным пожаром. В критических случаях при высоких уровнях химического загрязнения возможно кратковременное использование специального аварийного запаса сжатого воздуха для работы в условиях лесного пожара (рис.11а). Аварийные системы сжатого воздуха позволяют пожарному использовать чистый воздух, необходимый для свободы передвижений, защищают от интоксикации и ожогов дыхательных путей, внезапного вдыхания больших количеств дыма. Система имеет разделительный клапан для совместного использования; запаса воздуха хватит на 6-7 минут - для расчистки завала и выхода из зоны задымления.

[13] Автор: С. Зибцев

(a)

(b)

(c)

Рисунок 9. (a) Аварийная дыхательная система, (b) полумаска с фильтром, и (c) шлем для защиты от частиц

Полумаски (с фильтром частиц) или полно лицевые маски с фильтрами дают уровень защиты в 50-200 раз выше максимально допустимой величины проникновения частиц в соответствии с европейскими стандартами (рис. 11 b, c). В то же время необходимо подчеркнуть, что маски с фильтром частиц не защищают от самого опасного при пожаре вещества – угарного газа. Полнолицевые маски с фильтрами могут частично защищать от вдыхания веществ, раздражающих органы дыхания (альдегиды) и угарного газа.

3.3 Взрывчатые вещества [14]

3.3.1 Стандартные средства индивидуальной защиты (СИЗ) для неопасных ситуаций

Доступность базовых средств индивидуальной защиты и обучение их пользованию является необходимостью для всего личного состава пожарной части, равно как и доступность и обучение пользованию средств для действий на загрязненной территории. Ключевые требования к СИЗ следующие:

- не должны вызывать усталость;
- не должны отказывать при соблюдении сроков/правил эксплуатации;
- должны быть функциональными, надежными, удобными и экономичными.

Под удобством подразумевается, прежде всего, защита от высоких температур и вес СИЗ, так как пожарному часто приходится работать в жаркой среде в течение 12-16 часов.

Базовые СИЗ включают следующие основные компоненты.[15]

Шлемы

[14] Автор: Й. Голдаммер
[15] См. рисунки в приложении

Шлем-каска, важный элемент СИЗ. Использование каски спасло много жизней и предотвратило серьезные увечья, защищая пожарного от падающих деревьев и камней в горах. Современные модели должны соответствовать правилам безопасности ЕС EN 397, EN 443 и EN 12492.16 Шлем-каска для работ при природном пожаре изготавливается из цельной ABS-пластмассы и включает в себя следующие внешние элементы:

- система вентиляции;
- система крепления очков/защитных стекол;
- крепление-зажим для лобового фонаря;
- анкерное крепление для ручного фонаря;
- анкерное крепление для складного экрана;
- анкерное крепление для защиты горла;
- анкерное крепление для радио и видео систем;
- место для использования ушных накладок/вкладышей.

Внутренняя прокладка должна регулироваться и быть покрытой пористой слоеной тканью.

Куртки/рубашки, брюки и сапоги/ботинки

Обычно желтые рубахи и зеленые брюки изготавливаются из арамидного волокна (Nomex IIIR). Арамидное волокно надежно и дает хорошую термозащиту. Как и большинство волокнистых материалов, арамид горит при контакте с огнем, но прекращает горение при удалении от пламени. Материал не плавится и не сгорает дотла, но образует обугленную корку, которая продолжает защищать кожу. Накопленный опыт тушения природных пожаров показал, что свободная одежда лучше защищает от серьезных ожогов, чем плотно прилегающие ретардантные материалы. Узкая одежда не защищает от теплового излучения и температурной нагрузки, одновременно стесняя движения пожарного. Одежда из огнеупорных материалов разрабатывается с целью обеспечения вентиляции от движений пожарного, в результате влага может испаряться. Наилучшие образцы такой одежды имеют:

- до четырех передних легко открывающихся карманов, куда можно проникать в перчатках, один карман может использоваться для портативной радиостанции;
- один внутренний водонепроницаемый карман для документов;
- липучку для фиксации накладки с личным номером (фамилией пожарного) на груди;
- кольцо-карабин для крепления радиостанции на плече;
- заворачивающиеся внутрь и наружу манжеты с липучкой;
- поднимающийся сзади воротник для защиты шеи;
- тканевый воротник для защиты шеи с липучками для фиксации в нескольких местах;
- систему крепления маски для защиты от дыма;
- центральная легко и быстро открывающаяся надежная молния;
- ярко-желтый цвет (для хорошей видимости пожарного среди растительности - на земле и с воздуха); материал из волокон Nomex и трехслойных VISCOSA FR плотностью 265 г/см3 для надежной теплоизоляции им защиты от теплового излучения;
- прострочку Nomex;
- высокую прочность на износ и истирание в условиях леса;
- яркие хорошо распознаваемые светоотражающие полосы для повышения видимости

Брюки изготавливаются из огнеупорной ткани желтого или другого цвета, они должны быть свободного покрова для легкости передвижения.

[16] http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/harmonised-standards/personal-protective-equipment/index_en.htm

Тушение пожара на местности с густой растительностью, иногда на крутых склонах и неровном рельефе, требует использования хорошей обуви. Более 15% травм при тушении природных пожарах получено вследствие потери равновесия и падения; вывод – требуются нескользящие подошвы. Сапоги/ботинки изготавливаются из огнеупорной кожи с водонепроницаемым слоем.

Перчатки

Перчатки разрабатываются с целью защиты кистей рук от волдырей, порезов, царапин и небольших ожогов при обычном тушении пожара. Кроме того, они защищают от огня при тушении последствий авиакатастроф и попадании в замкнутое пространство пожарного укрытия. Разборы случаев блокирования огнем показывают, что без перчаток пожарный рискует потерять пальцы в результате серьезных ожогов. Это может произойти и при использовании рабочих рукавиц из промасленного материала, которые горят или сжимаются под воздействием высоких температур. По отзывам переживших такие ситуации, перчатки необходимы для безопасного удержания горячих экранирующих материалов.

Средства защиты глаз

Защита от дыма, пыли и малых летучих предметов также жизненно важна. Очки должны быть удобны для ношения в течение 8-16 часовой рабочей смены. Желательно, чтобы очки были закреплены на шлем-каске. Очки должны иметь:

- нижние и верхние отверстия для вентиляции;
- окантовку из пористого пеноматериала для блокировки любой пыли;
- систему быстрой подгонки (эластичный ремешок с боковой быстро расцепляющейся защелкой);
- двойные поликарбонатные стекла с противотуманным слоем внутри и защитой от царапин снаружи;
- мягкий нераздражающий кожу ремешок, плотно прилегающий к лицу для защиты от крупных частиц порошка и расплавленного металла.

Все материалы таких очков должны быть ретардантными и отвечать стандартам сертификации (CE Standards - ANSI Z87.1-2003/мIL-V-43511C Clause 3.5.10 STANAG 2920/4296).

Огнезащитная маска

Огнезащитная маска защищает лицо от излучения, ожогов, вдыхания дыма и частиц золы; в ней установлен фильтр частиц. Маска должна иметь:

- фильтр из активированного угля;
- выпускной клапан;
- хорошо различимые отражающие полосы;
- материал Nomex;
- стандарты сертификации маски EN 531 (A B1 C1) EN 15614;
- стандарты сертификации фильтра EN 149:2001 FFP1.

Воротник для защиты шеи

Воротник используется для защиты шеи пожарного от высоких температур и пламени, должен отвечать стандартам сертификации (EN 340/03 EN ISO 11612/08 EN 15614/0).

Пожарное укрытие

Пожарное укрытие стало важным компонентом СИЗ. Палаткообразное укрытие – единственное средство спасения жизни при попадании в огненную ловушку. Укрытия изготавливаются из алюминия, стекловолокна, отражают тепловое излучение, дают необходимый воздух и защищают легкие и дыхательные пути от пламени и горячих газов, являющихся непосредственной причиной летальных исходов при блокировке огнем. Стандарты сертификации: UNE - EN ISO9151:1995, EN ISO11612:2010 и EN ISO6942:2002.

3.3.2 Средства индивидуальной защиты (СИЗ) для борьбы с огнем на местности с высокой взрывоопасностью

Тушение пожара на радиоактивно загрязненной местности, загрязненной химическими и взрывчатыми веществами/наземными минами, требует дополнительной защиты. В отличие от химической защиты, защита пожарных от взрывчатых веществ требует применения бронированных конструкций, способных поглотить и/или отразить воздействие взрыва. Пожарными используется изготовленный из твердых пластин армированный тактический бронежилет аналогичный используемому саперами, его ношение необходимо при спасательных работах с высоким риском для жизни или тушении пожара в непосредственной близости от UXO (стандарты: NIJ-3A). Шлем-каски, обычно используемые при разминировании, комплектуются баллистическим забралом.

4. Комплекс технических средств пожаротушения и наработанный опыт пожаротушения на загрязненных участках

4.1 Радиоактивное загрязнение [17]

Десятикилометровая зона отчуждения ЧАЭС характеризуется самым высоким уровнем радиоактивного загрязнения, опасным для здоровья пожарных (рис.1). Из-за этого необходимо применение средств борьбы с огнем с дистанционным управлением с целью минимизации времени пребывания персонала в зонах с высоким уровнем загрязнения.

Методы и средства для тушения пожара на загрязненной радионуклидами территории выбираются с целью минимизации выброса радиоактивных аэрозолей с альфа-излучающими радионуклидами (^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu и ^{241}Am) с поверхности почвы и горючего материала, а также времени воздействия на людей дыма. Высокая влажность топливного материала снижает выбросы радиоактивных аэрозолей. Использование автотранспорта и тяжелой техники с герметичным салоном (фильтрация воздуха с повышенным давлением в кабинах) позволяет достичь десятикратного снижения уровня проникновения в организм радионуклидов. При этом следует минимизировать попадание в кабину загрязнения на обуви и т.п.

Максимальное снижение потенциально получаемых доз внешнего и внутреннего облучения достигается при использовании воздушной техники (вертолеты и самолеты) для тушения пожара. Если по окончании работ по борьбе с огнем радиоактивное загрязнение превышает допустимые пределы, производится дезактивация оборудования и средств.

В обстановке высоких уровненй ионизирующего излучения после ядерных и радиационных аварий может использоваться тяжелая техника и бронетранспортеры, приспособленные для выполнения конкретных задач. В отличие от первых лет после Чернобыльской аварии риск загрязнения радиоактивными веществами техники в настоящее время в ЧЗО низок, однако и сейчас при определённых условиях требуется дезактивацию техники по окончанию ее использования.

4.1.1 Дезактивация

Дезактивация – это полное или частичное удаление радиоактивного загрязнения посредством специально осуществляемых физических, химических или биологических процессов. Конечной целью дезактивации является ликвидация или уменьшение радиоактивного загрязнения путем воздействия на источник излучения для снижение облучения организма. Отличительной чертой дезактивации является строго дифференцированный подход по отношению к разным объектам. Это позволяет расставить приоритеты действий по степени риска для жизни и использовать оптимальные решения по персоналу и оборудованию.

Загрязнение может быть адгезивным, поверхностным и глубоким. Адгезивное загрязнения легко удаляется с поверхности, если сила отделения превышает силу адгезии. В водной среде существенно снижается сила адгезии, потому для дезактивации повсеместно используется вода.

Менее часто происходит поверхностное и глубокое загрязнение. Оно вызывается адсорбцией, обменом ионов и диффузией. В таких случаях необходимо удалить весь верхний слой вместе с радиоактивными веществами.

[17] Авторы: Й. Голдаммер, С. Робинсони С. Зибцев

Существуют жидкий и сухой способы дезактивации. Жидкий способ предусматривает удаление загрязнения струей воды либо химической реакцией между жидкой средой и загрязнением. Эффективность зависит от величины потока жидкости, расстояния до обрабатываемой поверхности и использования насадок. Самые высокие показатели дезактивации достигаются при струе под углом 30-45° к обрабатываемой поверхности. Для экономии воды допускается применение щеток.

Сухой способ включает механическое удаление путем сметания, аспирации, выдувания, удаления загрязненного слоя, вскапывания почвы. Различные химические реактивы могут усилить степень дезактивации:

- моющие средства воды можно улучшить путем добавления 0.1-0.5 % раствора сурфактанта, например, обычного мыла или стирального порошка, гардинола (порошок белого или сливочного цвета, легко растворимый в воде, для создания мягкой щелочной среды), сульфонола (паста в форме коричневых пластин), ОР-7 и ОР-10 (промышленные смачивающие агенты и эмульсификаторы);
- более сложные решения могут включать применение фосфатов натрия, щавелевой кислоты, лимонной, виннокаменной кислоты и их солей, гексаметафорфат натрия и другие соли фосрфорной кислоты.

При дезактивации необходимо иметь в виду следующее.

- Органические растворители (дихлорэтан, бензол, керосин, дизельное топливо) могут использоваться для дезактивации металлических поверхностей (техники, оборудования, транспорта).
- Сорбирующие материалы и смолы (ионообменные материалы) могут использоваться для удаления радионуклидов из раствора. Обычный сорбент подвергается специальной обработке микрогранулированным активированным углем (например, карбоферрогель).
- Дезактивация транспортных средств и оборудования может быть частичной или полной. Частичная дезактивация состоит из удаления компонентов, с которыми человек входит в контакт при выполнении работ. При дезактивации транспортного средства необходимо прежде всего очистить тент. Затем тканью вытираются крыша кабины/салона, кожух мотора/капот, лобовое стекло, брызговики и ступеньки. После этого обрабатывается внутренняя поверхность, включая приборную панель и элементы управления автомобилем. Если машина используется для перевозки людей, далее очищается отведенное для них место. Полная дезактивация проводится за пределами загрязненной зоны на специальных пунктах специальной обработки (ПУСО), нпример в ЧЗО около КПП Лелев.
- Дезактивация одежды, обуви и СИЗ может быть также частичной и полной. Все зависит от конкретных условий, степени загрязнения и преобладающих обстоятельств. Частичная дезактивация может производиться путем снятия одежды, обуви и т.д., а также развешивания их на стендах, веревках, деревьев с последующей тщательной обработкой путем чистки и выбивания с помощью веника, щетки или палки (ношение СИЗ необходимо для защиты от частиц пыли). Резиновые и пропитанные резиной материалы, синтетические пленки и оболочки вытираются тряпкой, смоченной водой или дезактивирующим раствором.
- Дезактивация оборудования производится вблизи или в пределах загрязненной зоны с целью недопущения дальнейшего распространения загрязнения.
- При лесных пожарах в настоящее время в ЧЗО радиоактивное загрязнение материалов маловероятно, поэтому дезактивация сводится в основном к очистке предметов от частиц радиоактивной пыли. Может использоваться вода или моющие средства (см. выше).
- В процессе тушения пожара части предметов, соприкасающиеся с радиоактивными материалами (зола, почва и т.д.), должны регулярно дезактивироваться. По окончании задания оборудование и предметы подлежат полной дезактивации. Материалы, не подлежащие дезактивации, отправляются на утилизацию.

- Первичный контроль полученных людьми доз и дезактивация на местах проводятся с целью минимизации воздействия радиации.
- Вторичное загрязнение является второстепенной проблемой, особенно когда загрязнённый участок и количество эвакуируемых людей велики.
- Лицам с локальным загрязнением поверхности тела с плотностью потока бета-частиц выше $2.2*10^6$ частиц /(см^2*мин) должен быть отдан приоритет при дезактивации.
- В сложных обстоятельствах запрашивается помощь подразделений химической и радиационной защиты.

4.1.2 Полная утилизация

Радиоактивные отходы после дезактивации или пожарных операций утилизируются на специально отведенных местах. Жидкости могут отвозиться на специальные хранилища жидких радиоактивных отходов на АЭС и прочих подобных объектах.

4.2 Химическое загрязнение [18]

Технические средства и тактика пожаротушения при борьбе с природными пожарами в зонах химического загрязнения применяются в зависимости от местности, типа и интенсивности пожара, горючей нагрузки и уровня подготовки личного состава. Обычно химические предприятия расположены около рек на плоском рельефе, потому леса вокруг них легкодоступны для использования тяжелых, средних и малых пожарных машин. Это позволяет минимизировать прямое воздействие радиации и загрязненного дыма на команды, находящиеся на линии огня.

На небольших площадях (до пяти гектаров) при низовом пожаре низкой и средней интенсивности применяются классические методы борьбы с огнем с локализацией пожара на первой стадии, далее применяется чистая вода либо смесь с ретардатными добавками или пеной; также используются трактора для создания минерализованных полос перед линией огня. В последнем случае соблюдается важное условие - кабина трактора оборудуется кондиционированием воздуха и фильтрами. В случае недоступности участка для тракторов к созданию таких полос могут привлекаться команды с ручным инструментом.

Прямые, параллельные или непрямые атаки в зависимости от ситуации могут использоваться для борьбы с небольшими пожарами (рис.12-14). В случае пожаров средней величины (5-25 га) используются непрямая атака с помощью естественных или искусственных барьеров. Технология описана в стандартах EuroFire Competency Standards.[19]

---

[18] Автор: С. Зибцев

[19] Стандарты для пожарных EuroFire Competency Standards (http://www.euro-fire.eu/) были разработаны Глобальным центром мониторинга пожаров, украиноязычная версия находится на http://www.fire.uni-freiburg.de/eurofire/ef_ukr.html

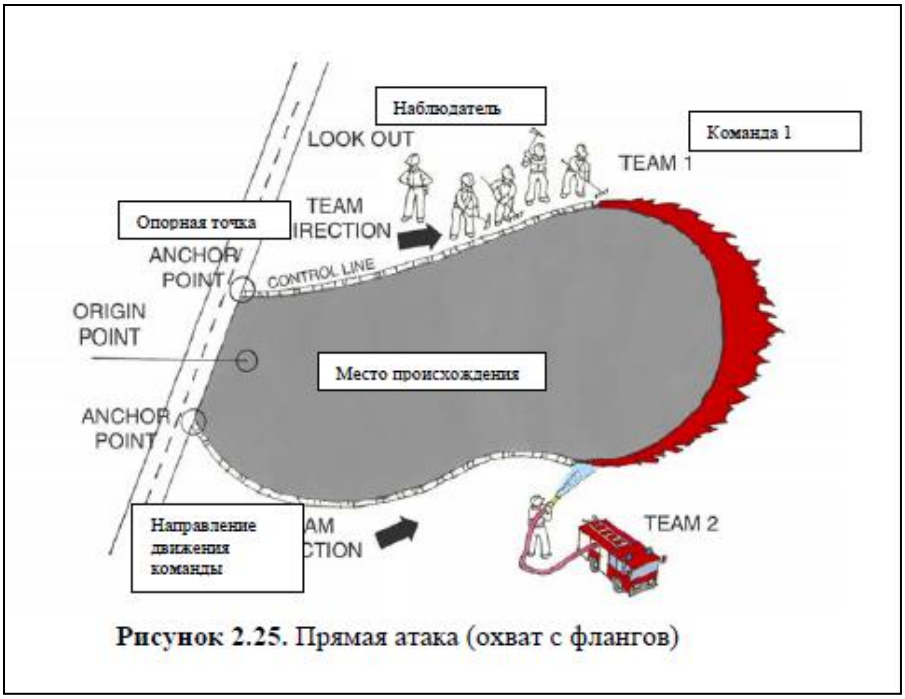

Рисунок 10. Схема 1прямой атаки

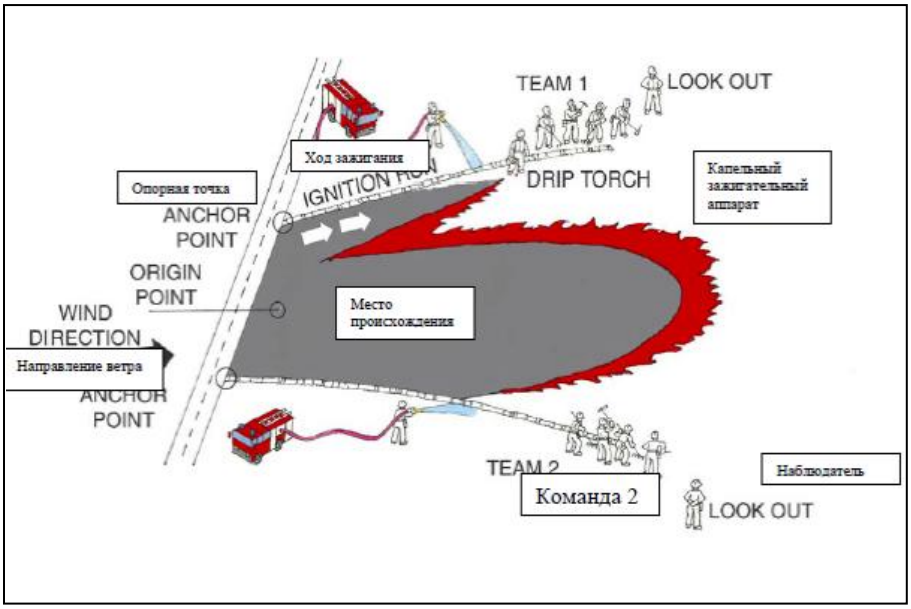

Рисунок 11. Схема 2 прямой атаки

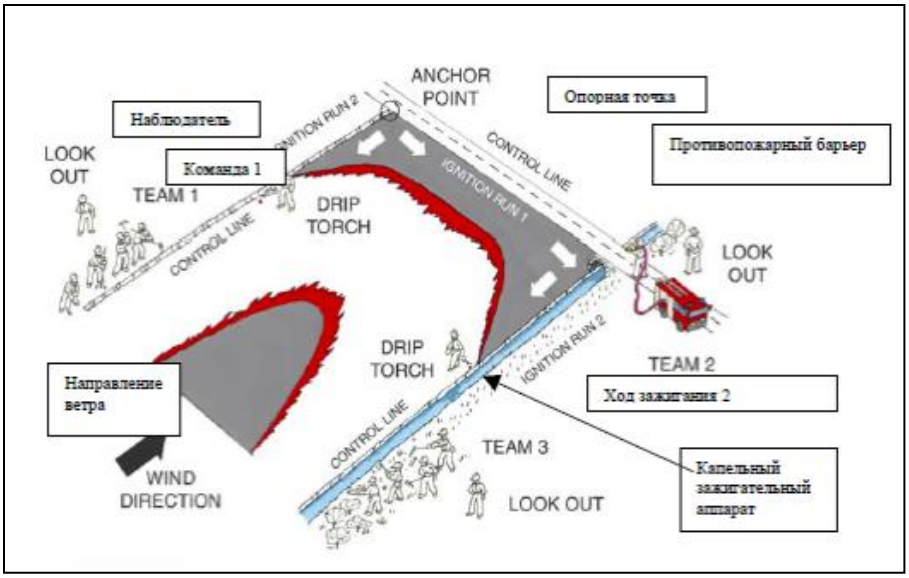

Рисунок 12. Схема непрямой атаки

Основной целью любой тактики борьбы с огнем является минимизация воздействия дыма на подразделения, работающие без пожарных автомобилей. При создании отжигом противопожарных полос - обязательно использование полумаски с фильтром при работе на линии огня. При сильных пожарах используются только пожарные машины с запасом ретардантных веществ.

4.3 Взрывчатые вещества [20]

Взрывоопасность UXO и наземных мин при пожаре определяется особенностями участка. Наибольшая угроза исходит от зон бывших военных конфликтов, где находятся боеприпасы (артиллерийские снаряды, ракеты, кассетные и обычные бомбы), наземные мины с взрывчатыми компонентами / боеголовкой во взведенном положении. Это же относится к активным или бывшим зонам подготовки войск или стрелковым полигонам, где используются боевые боеприпасы. На некоторых полигонах используется только стрелковое личное или учебное оружие, и там риск детонации ниже.

Опыт GFMC в практике предписанного пала на участках, загрязненных UXO в Германии и изучение отчетов об инцидентах природного пожара привели к следующим выводам (без создания достаточно большой базы данных, способной статистически доказать такое наблюдение):

Сезон пожара
Было замечено, что пожары в холодное время года (зима в Северном полушарии) приводят к меньшему количеству взрывов. И наоборот, пожары в жаркое весеннее-летнее время вызывают их большее количество. Причиной этому может быть общая температура почвы и нижнего слоя воздуха, что определяет охлаждение или нагрев боеприпасов.

Поведение пожара
Поверхностный пожар, раздуваемый ветром, особенно при низких запасах горючих материалов (пастбище либо травянистый подлесок открытого соснового древостоя) приводит к кратковременному поверхностному нагреванию почвы зоны расположения боеприпасов. UXO

[20] Автор: Й. Голдаммер

выдерживают кратковременное температурное воздействие или вообще не детонируют от нагревания, особенно в холодное зимнее время.

Пожар, медленно движущийся против ветра, держится дольше, приводя к более длительному нагреву UXO или наземных мин.

Кроме ветра, продолжительность пожара определяется рельефом местности; так, огонь, быстро движущийся в гору, проходит быстрее, чем медленно распространяющийся вниз по склону.

Топливная нагрузка
Количество живого и неживого горючего материала на поверхности почвы, в совокупности с поведением огня и рельефом, определяет время горения и выброс энергии на участках с UXO. Пожар на быстро горящих участках с травой даст меньше тепла почве по сравнению с медленно продвигающимся огнем в слое с более высокой горючей нагрузкой (стволы, ветви, сучья, хвоя, растительность подлеска) или в слоях органики (сырой перегной или лесная подстилка).

Готовность UXO к взрыву также зависит от возраста и коррозии металлического корпуса. Пораженные коррозией металлические корпуса и химические реакции с окружающим воздухом, а также внешнее тепловое влияние, могут привести к быстрому самовозгоранию, например фосфорных боеприпасов (трассирующие пули и фосфорные бомбы).

Стандарты безопасности при борьбе с природными пожарами на участках с загрязнением UXO установлены в нескольких странах. Например, в Германии общее законодательство для пожарной службы определяет безопасное расстояние в 500 метров от огня на участках со взрывчатыми веществами. Правила безопасности при утилизации взрывчатых веществ требуют соблюдения как горизонтальной, так и вертикальной дистанции в 1 000 километров от горящих участков с боеприпасами. Относительно правил безопасности в других странах: соблюдение таких дистанций не позволяет проводить никаких мероприятий – как на земле, так и с воздуха (тушение водой, ретардантами с воздуха с расстояния в сотни метров не приведет к эффективному пожаротушению).

Таким образом, существует три варианта борьбы с природными пожарами на участках с боеприпасами.

- При погодных условиях с низкой пожаробезопасностью и ожидаемой низкой интенсивностью пожара (например, зимой и ранней весной), целесообразно применять низкотемпературные и поверхностные пожары низкой и умеренной интенсивности на местности, загрязненной учебными и боевыми боеприпасами для личного стрелкового оружия. Руководитель тушения на таком участке может принять решение применять обычные способы тушения – создание линий обратного огня на безопасном расстоянии. Для тушения может задействоваться воздушный транспорт.
- В ситуациях высокого риска (опасность высокого пожара; взрывов мощных UXO) наземный личный состав допускается к тушению только при ношении бронежилетов (баллистических СИЗ). Применяется автономно работающая либо дистанционно управляемая наземная или воздушная техника.

4.3.1 Наземные операции с использованием бронированной техники

Бронированная пожарная техника, преимущественно списанные танки, выпускаются конверсионными предприятиях в течение последних десятилетий со времени окончания Холодной войны, когда большое количество ненужной военной техники стало доступным для гражданского использования. Вышеупомянутый научно-исследовательский проект (разделы 2.5.4 и 2.5.5;

Goldammer *et al*., 2012) включил в себя три основных компонента безопасного использования предписанного пала на участках, загрязненных UXO:

Бронированная техника для пожаротушения

Существующая модель пожарного танка SPOT-55, выпущенная в Чехии для вооруженных сил, стала использоваться с оставленным на ней полным комплектом брони. Данный танк имеет емкость с водой, закрепленную вместо башни, объемом 11 000 литров воды, насосы и форсунки для распыления воды под высоким давлением. Танк, который затем был разработан в Германии для тушения пожара на опасных участках, получил также видеокамеры, спутниковую навигацию / GPS и радиосвязь, что позволило экипажу действовать под защитой полноценной брони, ориентироваться на местности без открытия люков и осуществлять внутреннюю коммуникацию друг с другом и внешнюю – с руководителем тушения пожара.

Руководитель тушения пожара направляет танк на критические участки, где необходимы действия по тушению. Навигация поддерживается воздушным беспилотным аппаратом (UAV/UAS), описанным ниже (см. рис. 2.27 и 2.28 в Приложении).

В случае необходимости проникновения пожарных или спасательных команд в опасную зону природного пожара необходимы средства защиты от осколков боеприпасов (Раздел 3.3.2 и рисунки 2.6 и 2.7 Приложения).

Бронированная техника для инициализации огня

Для инициализации предписанного пала с целью остановки пожара, создания линий обратного огня / буферных зон вокруг природного пожара был разработан специальный БМП. В рамках конверсионного проекта в Германии был переделан чешский БМП-ОТ-R5, где персонал может находиться под защитой полноценной брони (Приложение, рисунок 2.22).

Для инициирования огня на расстояниях до 80 метров на БМП была установлена система Pyroshot Green Dragon® system, которая работает как пусковая установка для метания зажигательных капсул (рисунок 2.23). Капсула имеет размер шарика для настольного тенниса и заполняется марганцовкой ($KMnO_4$). При выстреле происходит впрыскивание гликоля, возникает химическая реакция с $KMnO_4$, и капсула воспламеняется примерно через 20 секунд. Горящая капсула поджигает растительность. Кроме того, с правой стороны БМП оборудован зажигательным аппаратом , который действует на расстоянии до 6 метров и использует смесь дизельного топлива и бензина (Приложение, рисунки 2.24 и 2.25).

4.3.2 Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для управления и координации операций

Поскольку руководитель тушения пожара или предписанного пала должен оставаться на посту управления за пределами зоны безопасности до 1000 м и принимая в расчет ограничения по использованию пилотируемых человеком летательных аппаратов, является обязательным использование беспилотных летательных аппаратов/систем для получения визуальной тактической разведывательной информации в реальном времени о состоянии пожара, положении и передвижении бронированной наземной техники. В рамках упомянутого проекта в Германии использовался небольшой беспилотный вертолет типа CT BEE 6B® для непрерывного получения воздушного фото и видеоматериала, который в реальном времени передается в штаб тушения пожара. Элемент воздушной разведки БПЛА в рамках соблюдения безопасности в воздухе является

необходимым условием успешного проведения любой операции по пожаротушению на местности, загрязненной наземными минами и UXO (приложение, рисунки 2.27 - 2.30).

Беспилотные наземные транспортные средства поддержки тушения пожара на опасных участках

Недавнее создание дистанционно управляемого БПЛА позволяет осуществить непрямую атаку на лесной пожар путем искусственного создания линии огня. Технология позволяет личному составу оставаться за пределами зоны воздействия взрывающихся боеприпасов. Прототип, разработанный компанией Vallfirest (VF Dronster), позволяет осуществлять дистанционное управление при создании линии огня при горении типов растительности с мощностью топливного материала до 8 см (Приложение, рисунки 2.17 - 2.18).

БПЛА для воздушного тушения пожара

Создание дронов для тушения пожара с воздуха было значительным образом стимулировано компанией Lockheed Martin Corporation (США), которая провела испытания беспилотных вертолетов K-MAX в международном аэропорту Гриффитс. Они поднимали в воздух и осуществили сброс воды. ; В ноябре 2014 года командой Lockheed Martin Corp были успешно испытаны два таких аппарата в условиях тушения опасных пожаров.

Беспилотные летательные аппараты могут тушить пожары как днем, так и ночью в любых погодных условиях, работая в опасной зоне без риска жизни для людей. Компания Kaman производит вертолет K-MAX, оснащенный сенсорами от Lockheed, для автономного забора воды из пожарного водоема и доставки ее на территорию пожара (Приложение, рисунки 2.31 и 2.32).

БПЛА для запуска с воздуха

При наличии риска детонации пожаром UXO, в результате чего может пострадать пилотируемый человеком летательный аппарат, для инициирования огня с воздуха может использоваться специальная беспилотная техника, работы над созданием которой ведутся в настоящее время. Ожидается, что в 2015 году появится БПЛА (вертолет) следующего поколения, специально разработанный для инициирования предписанного пала и запуска отжига (рисунки 2.33 - 2.36).

5. Выводы и рекомендации

Пожары на загрязненных территориях создают дополнительный нестандартный риск для пожарных и могут негативно повлиять на здоровье пожарных и населения. Данный отчет рассматривает три основных вида загрязнений: (a) радиоактивное загрязнение территории, например, в результате аварии четвертого энергоблока ЧАЭС в 1986 году; (b) загрязнение территорий вокруг химических промышленных предприятий вследствие регулярных выбросов или аварий, а также ущерба, нанесенного военными конфликтами; (c) зоны, загрязненные неразорвавшимися боеприпасами на территориях бывших и настоящих военных конфликтов или военных полигонов и стрельбищ.

Один из главных выводов отчета – это то, что контроль природных пожаров на загрязненных территориях чрезвычайно опасен и затруднен. Именно поэтому необходимо должным образом расставить приоритеты по инвестициям и предоставить соответствующие средства, повысить уровень подготовки и потенциал с целью обеспечения безопасного и эффективного контроля природных пожаров и снижения первичного и вторичного рисков для пожарных и гражданского населения.

В отчете даны следующие рекомендации.

1) Специальные средства и меры пожароуправления, средства индивидуальной защиты и тактика, соответствующие медицинские и экологические службы должны быть определены, подготовлены и использованы для безопасного пожаротушения в упомянутых условиях.

2) Основные риски для здоровья пожарных связаны с дымом от горящей растительности, загрязненной радионуклидами и химикатами. В результате этого руководство должно проконтролировать применение средств защиты органов дыхания, ограничить время пребывания пожарных в зависимости от радиологических и химических рисков и выбранной тактики непрямой атаки при тушении пожара.

3) Необходимо разработать планы коротко – и долгосрочного снижения пожароопасности и управления горючими материалами. Стратегически такие планы должны включать специальную методику обращения с собранной радиоактивной древесиной, включая специальные сжигающие установки и последующий план утилизации остатков сжигания. Без такой долгосрочной стратегии будет сложно контролировать леса и снижать риск пожара, удаляя сухую древесину.

4) Пожарные, работающие на территориях с радиоактивным либо химическим загрязнением, должны быть должным образом обучены и оснащены. Система поддержки принятия решений при борьбе с огнем, а также система радиационного конроля, включая контроль качества воздуха,позволят руководству регулировать время пребывания пожарных на линии огня, исходя из индивидуальных норм радиационной и химической безопасности.

5) Тушение пожара на местности, загрязненной неразорвавшимися боеприпасами и наземными минами требует применения иных средств индивидуальной защиты и оборудования, для обеспечения защиты персонала в случае взрыва. Существуют три варианта борьбы с растительными пожарами на таких территориях:
   - в условиях низкой пожарной опасности и интенсивности огня (зима – ранняя весна), преобладания травяного горючего, а также низовых пожаров низкой и умеренной интенсивности в местах проведения учений и применения стрелкового оружия, руководитель тушения пожара может принять решение о применении обычных

способов и средств борьбы с огнем, т.е. создания линии огня и применение обратного пала на безопасном расстоянии. Для тушения можно также использовать воздушную технику;

- в обстановке высокого риска (высокая пожарная опасность и интенсивность пожара, возможна детонация боеприпасов) наземный персонал отправляется на тушение только с применением бронированной защиты и/или средств специальной индивидуальной защиты от взрывов и осколков;
- применяются средства с дистанционным управлением, либо автономно работающих.

6) Для всех типов загрязнения раннее обнаружение, мониторинг и контроль пожаров требуют усовершенствованных методов, которые сократят присутствие людей. Дистанционное измерение показателей и параметров с целью раннего обнаружения пожаров (наземное автоматическое и автономно работающее оборудование с целью быстрого выявления дыма или повышенной температуры) и беспилотные аппараты с дистанционным управлением или автономные наземные и воздушные транспортные средства обеспечивают значимое снижение риска для здоровья, риска увечий и летальных исходов для пожарных. Самые передовые решения для беспилотных, воздушных и наземных методов борьбы с огнем заслуживают внимания для дальнейшего практического применения.

Использованная литература

Adolph, E. F. 1947. Physiology of man in the desert. Interscience. 53 p.

Anonymous. 1997. Radiation safety norms of Ukraine (RSNU-97).Kyiv. (in Ukr.).

Anonymous. 2008a. Radiation safety rules during carrying out of works in the exclusion zone and zone of absolute resettlement, implemented by the order of MH and ME of 04.04. 2008 № 179/276. (Ukr.).

Anonymous. 2008b. The basic control level, level and release level action on radioactive contamination of the Exclusion zone, Ministry of Ukraine, Kyiv, 2008, 11p. (Ukr.).

Booze, T.F., Reinhardt, T.E., Quiring, S.J., and Ottmar, R.D. 2004. A screening-level assessment of health risks of chronic smoke exposure for wildland fire-fighters. J. Occup. Environ. Hyg. 1, 296-305.

Bytnerowicz, A., Arbaugh, M., Riebau, A., and Andersen, C. (eds.). 2009. Wildland fires and air pollution. Elsevier B.V., Developments in Environmental Science, Vol. 8, Amsterdam-Boston, 687 p.

CEPA (Canadian Environmental Protection Act). 1999. National Ambient Air Quality Objectives of particulate matter Part 1, Science Assessment document. Minister Public Works and Government Services, Cat. No. H46-2/98-220-1E. Cesti, G. 2006. Effects of forest fire smoke. FFNet 4, 113-126.

Cuddy, J.S., Ham, J.A., Harger, S. (and others). 2008. Effects of an electrolyte additive on hydration and drinking behavior during wildfire suppression. Wilderness and Environmental Medicine 19 (3), 172-180.

Domitrovich, J., and Sharkey, B. 2010. Heat Illness Basics for Wildland Firefighters. In: Fire Tech Tips. Technology and development program. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 8 p.

Eckerman K.F. and Ryman, J.C. 1993. External exposure to radionuclides in air, water, and soil. Federal Guidance Report No. 12, EPA-402-R-93-081, Oak Ridge National Laboratory, USA, 238 p.

Evangeliou N., Balkanski Y., Cozic A., Hao, W., and Møller A. 2014. Wildfires in Chernobyl – contaminated forests and risks to the population and the environment: A new nuclear disaster about to happen? Environment International 73, 346-358.

Evangeliou, N., Balkanski, Y., Cozic, A., Hao, W. M., Mouillot, F., Thonicke, K., Paugam, R., Zibtsev, S., Mousseau, T. A., Wang, R., Poulter, B., Petkov, A., Yue, C., Cadule, P., Koffi, B., Kaiser, J. W., and Møller, A.P. 2015. Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus: Future risks for the population and the environment. Ecological Monographs 85 (1), 49-72.

FKS (Feuerwehr Koordination Schweiz). 2014. Handbuch für ABC-Einsätze. Version 04.2014 (German and French). Available online: http://www.feukos.ch/de/abc-einsatze/handbuch-fur-abc-einsatze/

Goldammer, J.G. (ed.) 2009. White Paper on Use of Prescribed Fire in Land Management, Nature Conservation and Forestry in Temperate-Boreal Eurasia. Results and recommendations of the Symposium on Fire Management in Cultural and Natural Landscapes, Nature Conservation and Forestry in Temperate-Boreal Eurasia and members of the Eurasian Fire in Nature Conservation Network (EFNCN), Freiburg, Germany, 25-27 January 2008. Fire Ecology Research Group/ Global Fire Monitoring Center, 28 p. UNECE/FAO International Forest Fire News No. 38, 133-152.

Goldammer, J.G. 2013a. Beyond Climate Change: Wildland Fires and Human Security in Cultural Landscapes in Transition – Examples from Temperate-Boreal Eurasia. Chapter 22 in: Vegetation Fires and Global Change: Challenges for Concerted International Action. A White Paper directed to the United Nations and International Organizations (J.G. Goldammer, ed.), 285-311. A publication of the Global Fire Monitoring Center (GFMC). Kessel Publishing House, Remagen-Oberwinter, 398 p.

Goldammer, J.G. (ed.) 2013b. Prescribed Burning in Russia and Neighbouring Temperate-Boreal Eurasia. A publication of the Global Fire Monitoring Center (GFMC). Kessel Publishing House, 326 p.

Goldammer, J.G., M. Statheropoulos, and M.O. Andreae. 2009. Impacts of vegetation fire emissions on the environment, human health and security – A global perspective. In: Wildland fires and air pollution (A. Bytnerowicz, M. Arbaugh, A. Riebau, and C. Andersen, eds.), 3-36. Elsevier B.V., Developments in Environmental Science, Vol. 8, Amsterdam-Boston, 687 p.

Goldammer, J.G., E. Brunn, A. Held, A. Johst, S. Kathke, F. Meyer, K. Pahl, A. Restas, and J. Schulz. 2012. Kontrolliertes Brennen zur Pflege von Zwergstrauchheiden (Calluna vulgaris) auf munitionsbelasteten Flächen: Problemstellung, bisherige Erfahrungen und geplantes Vorgehen im Pilotvorhaben im Naturschutzgebiet „Heidehof-Golmberg“ (Landkreis Teltow-Fläming). Naturschutz und Biologische Vielfalt 127, 65-95.

Heil, A., and Goldammer, J.G. 2001. Smoke-haze pollution: A review of the 1997 episode in Southeast Asia. Reg. Environ. Change 2, 24-37.

Hendrie, A.L., Brotherhood, J.R., Budd, G.M. (and others). 1997. Project Aquarius 8. Sweating, drinking, and dehydration in men suppressing wildland fires. International Journal of Wildland Fire 7(2), 145-158.

IAEA. 2010. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh-water environments. Vienna: IAEA-TRS-472. - 194p.

IAEA. 2011. Radiation protection and safety of radiation sources : international basic safety standards: general safety requirements. – Interim edition. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 303 p.

Ipatiev V.A. (eds.). 1999. Forest. People. Chernobyl. Forest ecosystems after the Chernobyl accident: The state, the forecast, the reaction of the population, ways of rehabilitation. Gomel: Institute of Forest of NAS of Belarus, 452 p. (Rus.).

Johnson, R. 1999. Guidance on measures in forest fire emergency cases. In: Goh, K.-T., Schwela, D., Goldammer, J.G., and Simpson, O., eds. Health guidelines for vegetation fire events-background papers, 6–9 October 1998. Lima, Peru, WHO/UNEP/WMO, pp. 411-465.

Kashparov V.A. 2014. Experimental biogenic fluxes 137Cs in forest ecosystems. The scientific and research Report. NUBiP Ukraine, Kyiv, 81p. (Ukr.).

Kashparov, V.A., Ahamdach N., Zvarich S.I., Yoschenko, V.I., Maloshtan, I.N., and Dewiere, L. 2004. Kinetics of dissolution of Chernobyl fuel particles in soil in natural conditions. //Journal of Environmental Radioactivity 72 (3), 335-353.

Kashparov, V.A., Ivanov, Yu.A., Zvarich, S.I., Protsak, V.P., Khomutinin, Yu.V., Kurepin, A.D., and Pazukhin E.M. 1996. Formation of Hot Particles During the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident. Nuclear Technology 114 (1), 246-253.

Kashparov, V.A., Lundin, S.M, Kadygrib, A.M., Protsak, V.P., Levtchuk, S.E., Yoschenko, V.I., Kashpur, V.A., and Talerko, N.M. 2000. Forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident: radioactive aerosol resuspension and exposure of fire-fighters. Journal of Environmental Radioiactivity 51, 281-298.

Kashparov, V.A., Lundin, S.M., Khomutinin, Yu.V., Kaminsky, S.P., Levtchuk, S.E., .Protsak, V.P., Kadygrib, A.M., Zvarich, S.I., Yoschenko, V.I., and Tschiersch, J. 2001. Soil contamination with 90Sr in the near zone of the Chernobyl accident. Journal of Environment Radioactivity 56 (3), 285-298.

Kashparov, V.A., Lundin, S.M., Zvarich, S.I., Yoschenko, V.I., Levtchuk, S.E., Khomutinin, Yu.V., Maloshtan, I.N., and Protsak, V.P. 2003. Territory contamination with the radionuclides representing the fuel component of Chernobyl fallout. The Science of the Total Environment 317 (1-3), 105-119.

Kelly, J. 1992. U.S. Department of the Interior National Park Service, Health Hazard Evaluation Report, Heta 92-045-2260, NIOSH. http://www.cdc.gov/niosh/topics/firefighting.

Koppmann, R., Czapiewski, K.von., and Reid, J.S. 2005. A review of biomass burning emissions, part I: Gaseous emissions of carbon monoxide, methane, volatile organic compounds, and nitrogen containing compounds. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 5, 10455-10516.

Krasnov, V.P. 1999. Scientific basis of the use of forest products in terms of radioactive contamination of forests. Doctoral thesis, 39 p. (Ukr.).

Kuriny, V.D., Ivanov, Yu.A., Kashparov, V.A., Loshchilov, N.A., Protsak, V.P., Yudin, E.B., Zhyrba, M.A., and Parshakov, A.E. 1993. Particle-associated Chernobyl fall-out in the local and intermediate zones. Annals of Nuclear Energy 20 (6), 415-420.

Lacaux, J.P., Brustet, J.M., Delmas, R., Menaut, J.C., Abbadie, L., Bonsang, B., Cachier,H., Baudet, J., Andreae, M.O., and Helas, G. 1995. Biomass burning in the tropical savannas of Ivory Coast: An overview of the field experiment fire of savannas (FOS/DECAFE 91). J. Atmos. Chem. 22, 195-216.

Muraleedharan, T.R., Radojevic, M., Waugh, A., and Caruana, A. 2000. Chemical characterisation of the haze in Brunei Darussalam during the 1998 episode. Atmos. Environ. 34, 2725-2731.

Malilay, J. 1998. A review, of factors affecting the human health impacts, of air pollutants from forest fires. In: Goh, K.-T., Schwela, D., Goldammer, J.G., and Simpson, O., eds. Health guidelines for vegetation fire events-background papers, 6–9 October 1998. Lima, Peru, WHO/UNEP/WMO 1999: Health Guidelines for Vegetation Fire Events, Lima, Peru, October 6–9, pp. 255-270.

McDonald, J.D., Zielinska, B., Fujita, E., Sagebiel, J., and Chow, J. 2000. Fine particle and gaseous emission rates from residential wood combustion. Environ. Sci. Technol. 34, 2080-2091.

Miranda, A.I. 2004. An integrated numerical system to estimate air quality effects of forest fires. Int. J. Wildland Fire 13, 217-226.

Muraleedharan, T.R., Radojevic, M., Waugh, A., and Caruana, A. 2000. Chemical characterisation of the haze in Brunei Darussalam during the 1998 episode. Atmos. Environ. 34, 2725-2731.

Paskevich, S.A. 2006. Radiation importance of phytocoenoses meadows and fallow Exclusion Zone to stage a late phase of the accident. Doctoral thesis. Kiev National University, 22 p. (Ukr.).

Perevolotsky, A.N. 2006. Distribution of 137Cs and 90Sr in the forest Biogeocenoses. Gomel: RSRUE "Institute of Radiology", 255 p. (Rus.).

Petrilli, T., Ackerman, M. 2008. Tests of undergarments exposed to fire. Tech Tip 0851–2348–MTDC. Missoula, MT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Missoula Technology and Development Center. 10 p.

Radojevic, M. 2003. Chemistry of forest fires and regional haze with emphasis on Southeast Asia. Pure Appl. Geophys. 160, 157-187.

Reh, C.M., and Deitchman, S.D. 1992. U.S. Department of the Interior National Park Service, Health Hazard Evaluation Report, Heta 88-320-2176, NIOSH. http://www.cdc.gov/niosh/topics/firefighting/.

Reinhardt, T.E., and Ottmar, R.D. 2004. Baseline measurements of smoke exposure among wildland fire-fighters. J. Occup. Environ. Hyg. 1, 593-606.

Ruby, B.C., Scholler, D.A., Sharkey, B.J. (and others). 2003. Water turnover and changes in body composition during arduous wildfire suppression. Medicine & Science in Sports & Exercise 35 (10), 1760-1765.

Sharkey, B. 2004. Wildland firefighter health and safety report: No. 8. Tech Rep. 0451–2802–MTDC. Missoula, MT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Missoula Technology and Development Center. 12 p.

Shauer, J.J., Kleeman, M.J., Cass, G., and Simoneit, B.T. 2001. Measurement of emissions from air pollution sources. 3. C1–C29 organic compounds from fireplace combustion of wood. Environ. Sci. Technol. 35, 1716-1728.

Sheglov A.I. 2000. Biogeochemistry of artificial radionuclides in forest ecosystems: materials 10 years of research in the area of influence of the Chernobyl accident. Nauka, 268 p. (Rus.).

Shityuk K.F. 2011. Evaluate forest management in the area of radiation exposure from Chernobyl patterns of behavior of radionuclides in forest ecosystems. Doctoral thesis, NUBiP Ukraine, 24 p. (Ukr.).

Statheropoulos, M., and Karma, S. 2007. Complexity and origin of the smoke components as measured near the flame-front of a real forest fire incident: A case study. J. Anal. Appl. Pyrolysis 78, 430-437.

Steinhauser, G., Brandl, A., and Johnson, T. 2014. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. Science of the Total Environment 470-471, 800-817.

Trabalka, J., Eyman, L., and Auerbach, S. 1980. Analysis of the 1957-1958 Soviet nuclear accidents. Science 209 (4454), 345-53.

Ward, D.E., 1999. Smoke from wildland fires. In: Goh, K.-T., Schwela, D., Goldammer, J.G., and Simpson, O., eds. Health guidelines for vegetation fire events-background papers, 6-9 October 1998. Lima, Peru, WHO/UNEP/WMO, pp. 70-85.

Ward, T.J., and Smith, G.C., 2001. Air sampling study of the 2000 Montana Wildfire Season. Paper No 113. In: Proceedings of the Air and Waste Management. Conference, Orlando, Florida, USA.

Yoschenko, V.I., Kashparov, V.A., Levchuk, S.E., Glukhovskiy, A.S., Khomutinin, Yu.V., Protsak, V.P., Lundin, S.M., and Tschiersch, J. 2006. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl Exclusion Zone: Part II. Modeling the transport process. Journal of Environmental Radioactivity 87 (3), 260-278.

Yoschenko, V.I., Kashparov, V.A., Protsak, V.P., Lundin, S.M., Levchuk, S.E., Kadygrib, A.M., Zvarich, S.I., Khomutinin, Yu.V., Maloshtan, I.M., Lanshin, V.P., Kovtun, M.V., and Tschiersch, J. 2006. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl Exclusion Zone: Part I. Fire experiments. Journal of Environmental Radioactivity 86 (2), 143-163.

Приложение

Приложение. Иллюстрации проблем, возникающих при пожарах и технологий тушения на территориях с радиоактивным и химическим загрязнением, неразорвавшимися боеприпасами

1. Примеры остатков взрывчатых веществ, которые потенциально угрожают пожарникам и лесникам

Фото 1.1 - 1.3. Знак, предупреждающий о наличии неразорвавшихся боеприпасов на Южном Кавказе (слева). Неразорвавшаяся граната, едва видна под слоем почвы (посередине). Неразорвавшаяся бомба, присыпанная небольшим слоем песчаной земли, - опасность для транспортных средств (Брандербург, Германия). Автор: GFMC.

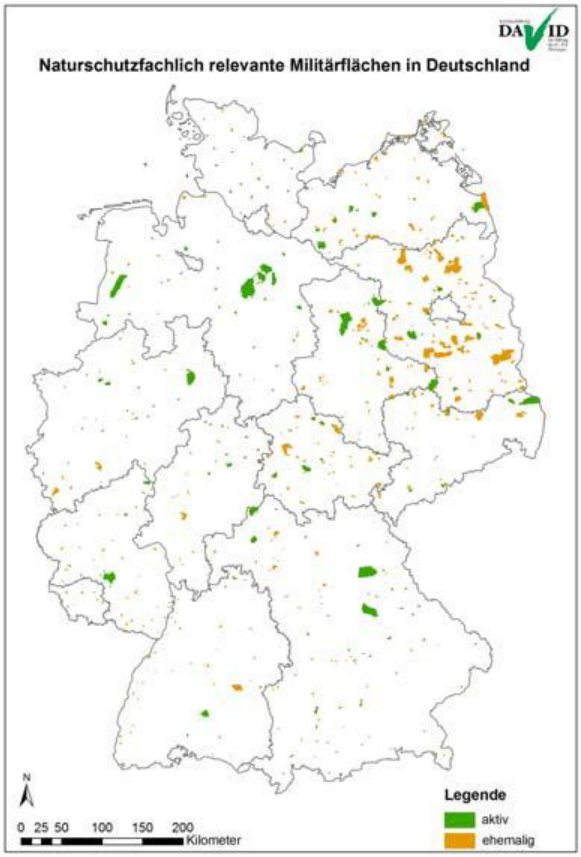

Фото 1.4 и 1.5. Карты бывших и активных военных обучающих полигонов в Германии и неразорвавшихся боеприпасов, подготовленных для уничтожения (Бранденбург, бывший военный полигон Jüterbog Ost). Автор: Фонд Дэвида иGFMC.

Фото1.6 и 1.7. Карты расположения мин в Хорватии, после военного конфликта в 1990-х гг. Автор: Croatian Mine Action Center.

Фото 1.8 - 1.10. Неразорвавшиеся мины в Армении. Автор: МЧС Армении.

Фото 1.11 и 1.12. Взрывы неразорвавшихся боеприпасов на бывшем советском военном полигоне под Брандебургом, Германия. Автор: Бранденбургское лесничество.

Фото 1.13 и 1.14. Неразорвавшиеся гранаты и бомбы после пожара в Бранденбурге, Германия (слева и посредине) и в Нагорном Карабахе (справа). Автор: GFMC.

Примеры средств индивидуальной защиты (СИЗ) и механизированных средств для борьбы с растительными пожарами

Фото 2.1 - 2.3. Защитные куртки, брюки, шлемы с очками, и маски для защиты от дыма, которые применяются GFMC. Автор: GFMC.

Фото 2.4 - 2.5. СИЗ, которые применяются GFMC и партнерами в Германии и Бразилии. Автор: GFMC.

Фото 2.6 - 2.7. Защитный жилет и шлем для пожарников и команд, которые разработают при разминировании и применяются GFMC. Автор: GFMC.

Фото 2.8 - 2.10. Обучение применения капельным факелом для того, чтобы устроить контролированный пожар и создания «черной буферной зоны» в зоне нахождения неразорвавшихся боеприпасов. Автор: GFMC.

Фото 2.11 - 2.13. Обучение использования капельным факелом для того, чтобы устроить контролированный пожар и создания «черной буферной зоны» либо снижения количества горючих материалов в лесной подстилке.
Боярская опытная станция и Региональный Восточно-Европейский центр мониторинга пожаров, Украина.
Автор: GFMC.

Фото 2.14 - 2.16. Типичная ситуация тушения пожара низкой и средней интенсивности, с применением ручных средств - в Бразилии (слева) и Германии (посредине и справа). Автор: GFMC.

Фото 2.17 и 2.18. Машина на дистанционном управлении, срезающая растительность; предназначена для создания непрямой атаки путем создания линии огня. Технология позволяет персоналу оставаться вне зоны потенциальных взрывов либо радиоактивного загрязнения. Автор: Vallfirest.

Фото 2.19 - 2.21. Применение пожарного танка SPOT-55, переконструированного с Т-55 (объем воды либо пены 11000 л). Используется DiBuKa, Германия, для безопасного контроля за контролируемым пожаром либо пожарами на территориях с неразорвавшимися боеприпасами либо с радиоактивным загрязнением. Автор: GFMC.

Фото 2.22 и 2.23. Танк BMP-OT-R5, переделанный для поджигания, оборудованный Pyroshot Green Dragon®. Автор: GFMC.

Фото 2.24 и 2.25. Танк BMP-OT-R5, переделанный для целей поджигания, дополнительно оборудованный капельным факелом ATV для того, чтобы устроить контролированный пожар либо встречного пожара. Автор: GFMC.

Figure 2.26. Танк для поджигания BMP-OT-R5 производит поджог на территории с неразорвавшимися боеприпасами. Автор: GFMC.

Фото 2.27 и 2.28. Дроны необходимы при тушении пожаров и наблюдением за контролированными пожарами. Автор: GFMC.

Фото 2.29 и 2.30. Операции, которые проводятся с применением дронов: красный танк тушит пожар (слева), синий танк производит поджог. Оба танка управляются через дроны. Операция GFMC на бывших военных полигонах в Бранденбурге, Германия. Автор: GFMC.

Фото 2.31 и 2.32. Корпорация Lockheed Martin (США) успешно испытывает беспилотные вертолеты K-MAX в международном аэропорту Griffiss (подъем груза и гашение водой контролированного пожара). Автор: Lockheed Martin Corporation.

Фото 2.33 и 2.34. Миниатюрные системы поджога Raindance® в небольших вертолетах с человеком на борту и на беспилотных вертолетах снижают риски для пожарников. Автор: Rainbow Services.

Фото 2.35 to 2.36. Поджоги, вид сверху. Автор: Working on Fire International.