

УДК 504.3.054

С.І. Азаров , д-р техн. наук, ст. наук. співр., зав. сектор., ІЯД НАНУ,
В.Л. Сидоренко , канд. техн. наук, ст. викл., ІДУЦЗ НУЦЗУ,
О.В. Руденко , інж., ІЯД НАНУ

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У ПОВІТРЯ ПРИ ПОЖЕЖАХ У ЛІСАХ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

(представлено д-ром. хім. наук Прохачем Є.Е.)

Відомо, що лісові пожежі у Чорнобильській зоні є одним із найбільш потужних джерел вторинного забруднення повітря радіонуклідами різного роду. Проведені вимірювання при лісовій пожежі у с. Товстий Ліс об'ємної активності радіоактивних продуктів згоряння та їх дисперсних характеристик з метою уточнення інгалаційних доз опромінення. Показано, що об'ємна активність сумішей радіонуклідів у аерозолях приземного шару атмосферного повітря у активній фазі лісової пожежі зросли у 600 разів у порівнянні з фоновими значеннями.

Ключові слова: лісові пожежі, зона відчуження, надходження радіонуклідів.

Постановка проблеми. У процесі Чорнобильської катастрофи на територію 30-ти кілометрової зони ЧАЕС випало у вигляді радіоактивних опадів приблизно 4,4 ПБк ^{137}Cs , 4,0 ПБк ^{90}Sr та 32 ТБк $^{239,240}\text{Pu}$ [1].

У забруднених навколо ЧАЕС лісах випадіння розподілені наступним чином: у деревостані зосереджено біля 5 %, у підстилаючому шарі від 20 до 85 %, решта у мінеральному шарі ґрунту, причому з плином часу відбувається збільшення вмісту радіонуклідів як у деревостані, так і в мінеральному шарі ґрунту.

З 1990 по 2008 рр. у Чорнобильській зоні сталося 42 великі лісові пожежі, якими було охоплено 16,9 тис. га лісів та 19,6 тис. га трав'яного настилу. Пожежонебезпечний сезон настає з моменту сходу снігового покриву і триває до настання стійкої дощової осінньої погоди чи утворення снігового покриву. Найбільша кількість лісових пожеж – 65 % припадає на весну, 25 % – на осінь та 10 % – на літо. Статистика причин виникнення лісових пожеж свідчить, що 60 % пожеж пов'язано зі спалюванням відходів, халатністю та навмишними підпалами, 15 % – з екстремальними погодними умовами (іскри, блискавки, самозапалювання, розряди ліній електропередач, тощо), для решти причини не встановлено.

Внаслідок лісової пожежі радіаційний дим піднімається на досить значну висоту та перенесення радіоактивних аерозолів відбувається на велику відстань. Тривалість життя радіаційної димоаерозольної хмари у нижній тропосфері (до 1,5 км) – менше тижня, у верхній

тропосфері – приблизно місяць, у стратосфері – 1÷3 роки. При цьому відбувається осідання радіоактивних продуктів згоряння (РПЗ) на «чистих» від радіоактивного забруднення територіях. Одне з основних завдань – не допустити лісових пожеж у Чорнобильській зоні, а у випадку їх виникнення мінімізувати їх радіоактивний вплив на довкілля з одночасним забезпеченням радіаційного захисту населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом, особливо після Чорнобильської аварії, проведено багато досліджень щодо вторинної небезпеки радіоактивних аерозолів при пожежах. Багато авторів вважають різні параметри визначальними для потрапляння РПЗ у довкілля при лісових пожежах на території Чорнобильської зони [2, 3].

Дослідження продовжуються, оскільки до цього часу немає достовірних даних, які однозначно визначають надходження різних радіонуклідів до атмосферного повітря при лісовій пожежі.

Постановка завдання та його вирішення. Дана робота присвячена пошуку параметрів, які характеризують утворення та розповсюдження РПЗ, вимивання та сухого осаду радіоактивних часток, аерозолів та легкої золи з димової хмари, визначення їх дисперсного складу, активності тощо в процесі лісової пожежі у Чорнобильській зоні.

Наприкінці квітня 1996 року поблизу села Товстий Ліс, розташованого в 20 км на захід від ЧАЕС (рис. 1), виникло декілька осередків загоряння рослинного покриву з високим рівнем радіоактивного забруднення ґрунту ($10^{15} \div 10^6$) Бк/кг. Пожежа тривала майже три доби, у результаті чого вогнем було знищено 30 га лісу та 16 га трав'яного покриву. Стовп диму сягав висоти 1,2 км, а довжина димового шлейфу – 20 км. За даними метеостанції "Чорнобиль" загальна метеорологічна ситуація в процесі лісової пожежі у точках спостереження визначалася такими показниками: північно-західний напрямок вітру, швидкість вітру у діапазоні 1,5÷3,0 м/с, пориви вітру 7÷8 м/с, середня температура повітря – 19°C. Тривала відсутність дощів, низька питома вологість повітря, стабільна температура дозволили провести виміри параметрів РПЗ на сході димового шлейфу протягом трьох діб.

Під час лісової пожежі проводився забір проб атмосферного повітря випадінь РПЗ на шлейфі димової хмари за стандартною методикою за допомогою марлевих планшетів [4, 5], розташованих на горизонтально рівній відкритій місцевості, а також натурне дослідження концентрації аерозолів та зважених частинок диму за допомогою блоків детектування БДАС-03П фірми «Ізотоп». Після чого було виконано аналіз композиції радіонуклідів та вимір об'єму активного і дисперсного складу аерозолу. Виміри питомої активності ^{137}Cs проводилися з використанням γ -детектора фірми «ORTEC» з надчистого германію, ефективність якого становила 40 %, а розподі-

льна здатність 1,95 кеВ при $E=1,33 \text{ MeV } ^{60}\text{Co}$.

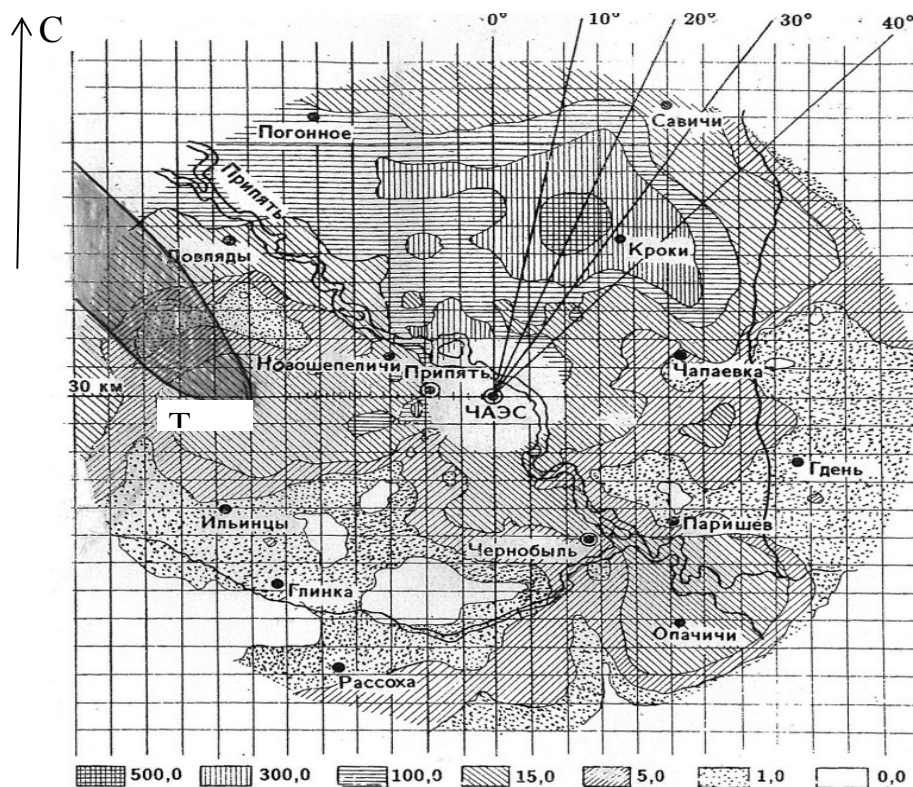


Рис. 1 – Схема радіоактивного забруднення ^{137}Cs в Чорнобильській зоні та руху диму під час лісової пожежі

У блоці детектування БДАС-03П було реалізовано безперервний режим відбору дисперсної фази диму на фільтрувальну смугу типу ЛФС-2-25 з одночасною реєстрацією об'ємної активності проб. Дисперсний склад РПЗ вимірювали за допомогою 5-ти каскадного імпактора ІБФ. Активність ^{90}Sr та трансуранових елементів (ТУЕ) (^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am) у пробах визначали за стандартною радіохімічною методикою [6, 7].

Активність екстрагованого ^{90}Sr виміряли шляхом радіометрії його дочірнього радіонукліду ^{90}Y з використанням α та β -радіометра «CANBERRA-2400». Відносна похибка вимірювання змінювалась у межах 10÷20 % для ^{137}Cs , 25÷30 % – для ^{90}Sr , 40÷50 % – ТУЕ, залежно від вмісту радіонуклідів у зразках.

Для статистичної обробки масиву експериментальних даних були використані стандартні пакети програм «Excel» та «Statistica 6.0». Середні значення та статистичні показники розраховували за загальноприйнятими формулами.

Дослідження при лісовій пожежі проводили у реальних (натурних) умовах із застосуванням методу активного експерименту за детальним моніторингом метрологічних умов та фонових значень параметрів ресуспенції.

Утворення і розповсюдження радіоактивного диму буде визна-

чатися конкретним видом лісової пожежі, фізико-хімічними процесами горіння та димоутворення, мікрофізикою та агрегатним станом радіоактивних продуктів згорання, а також конкретною метеорологічною ситуацією. Радіоактивний дим, (сажа, попел та волога), піднімаючись вгору, поступово буде осаджуватися на поверхню землі в залежності від розподілу частинок продуктів згорання за розмірами.

На рис. 2 приведено показники вмісту концентрації диму в атмосферному повітрі в усіх фазах лісової пожежі, а на рис. 3 розподіл об'ємної активності (концентрації) радіонуклідів у повітрі для різних фаз розвитку лісової пожежі.

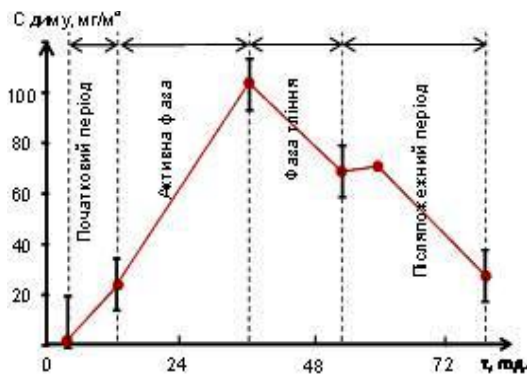


Рис. 2 – Показник вмісту концентрації диму в повітрі у місці лісової пожежі

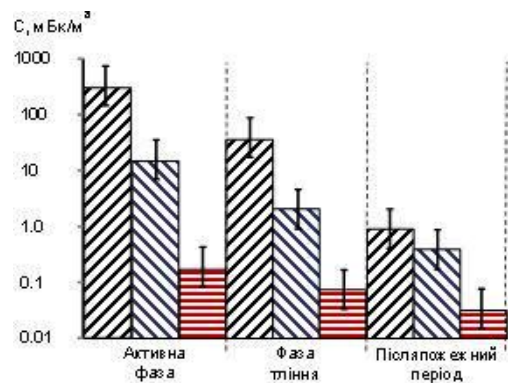


Рис. 3 – Об'ємна активність радіонуклідів у атмосферному повітрі при різних фазах лісової пожежі

З даних приведених на рис. 3 видно, що об'ємна активність РПЗ в основному обумовлена ^{137}Cs , який складає 92 % загальної активності, ^{90}Sr – 7 %, а ТУЕ – 1,0 %.

Розподіл об'ємної концентрації радіонуклідів та інтенсивність їх осідання в атмосферному повітрі на різних відстанях від лісової пожежі наведені на рис. 4 і 5.

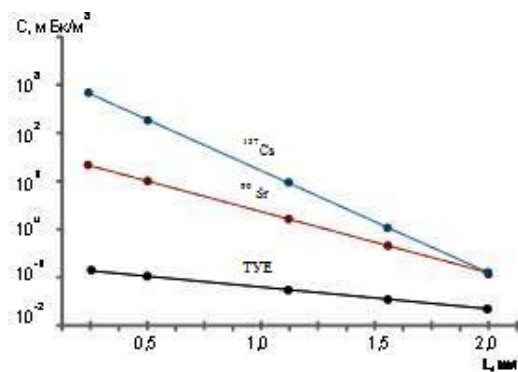


Рис. 4 – Розподіл об'ємної концентрації радіонуклідів в атмосферному повітрі в залежності від відстані при активній фазі лісової пожежі

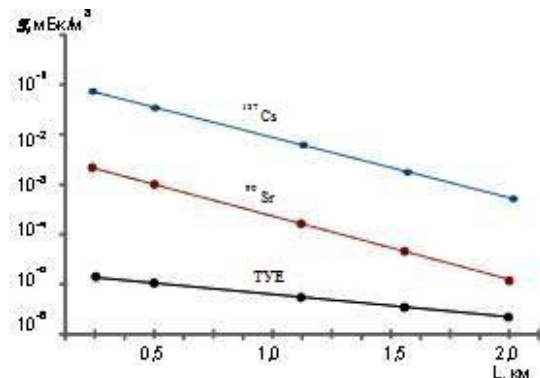


Рис. 5 – Розподіл інтенсивності осідання радіонуклідів в атмосферному повітрі в залежності від відстані при активній фазі лісової пожежі

З рис. 4 добре видно, що на відстані 2 км від місця лісової пожежі об'ємна концентрація ^{137}Cs зменшилася на три порядки, а для ^{90}Sr лише на порядок.

Рис. 5 показує, що інтенсивність осідання частинок диму з атмосфери на поверхню ґрунту буде визначатися в основному двома факторами: «сухим» гравітаційним турбулентним осадженням та вимиванням опадами. Окрім того, осідання часток диму може відбуватися за рахунок конденсації вологи та процесів дифузії.

Швидкість «сухого» осідання радіоактивних аерозольних часток різного радіуса (мкм) можна визначити за формулою Стокса [8]:

$$V = \frac{m_0 g}{6\pi\eta_\beta r_0}; \quad 0,7 \leq r_0 \leq 1,8; \quad (1)$$

$$V = \frac{r_0 g}{36\eta_\beta} (\rho - \rho_0); \quad 13,0 \leq r_0 \leq 2,5\rho, \quad (2)$$

де $\eta_\beta = 1,84 \cdot 10^{-5}$ Па·с – динамічний коефіцієнт в'язкості повітря; $r_0 = 3 \cdot 10^{-10}$ м, $m_0 = 3,6 \cdot 10^{-25}$ кг – радіус та маса аерозолю; $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння; $\rho_\beta = 1,2193$ кг/м³ – густина повітря.

На рис. 6 зображено розраховану швидкість «сухого» осідання радіоактивних аерозольних димових частинок в залежності від відстані джерела лісової пожежі.

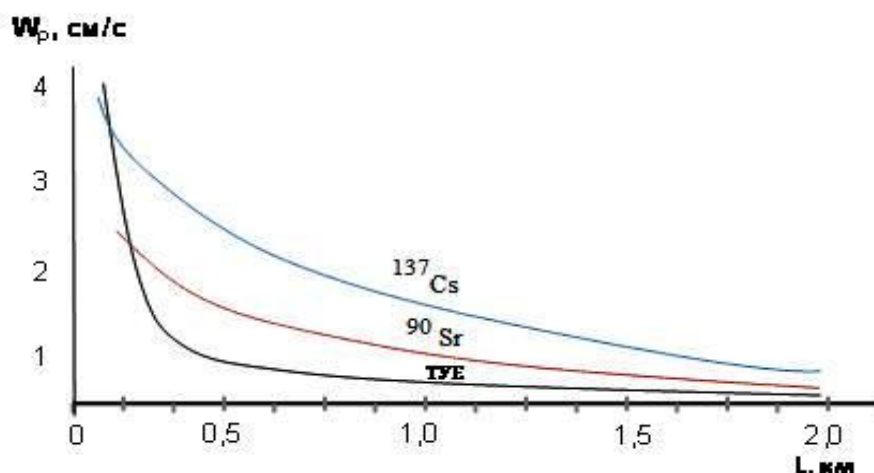


Рис. 6 – Швидкість «сухого» осідання в атмосферному повітрі радіонуклідів РІЗ

З рис. 6 видно, що аерозолі диму з ^{137}Cs найбільш стійкі у повітрі і можуть переноситися на значні відстані від місця лісової пожежі.

На рис. 7 представлено розподіл активності радіонуклідів за розмірами димових аерозолів для активної фази плинну лісової пожежі.

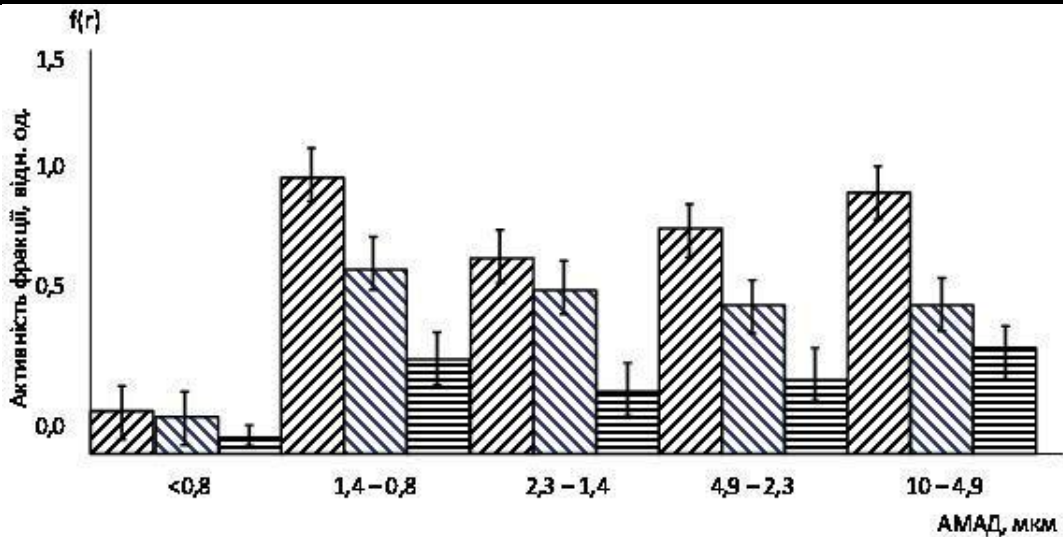


Рис. 7 – Розподіл активності радіонуклідів за розмірами по активності аеродинамічного діаметра (АМАД) в РПЗ в активній фазі лісової пожежі

З рис. 7 видно, що невелике радіоактивне навантаження буде для летючих часток РПЗ з АМАД в діапазоні 1,4÷0,8. При цьому діаметри медіан і стандартні відхилення для логарифмічно-нормального розподілу складає: $d_m=1,5$ мкм, $\tau=1,3$.

Вираз для розрахунку дози внутрішнього опромінення людини без урахування інтенсивності захисту дихальних шляхів за рахунок інгаляційного надходження радіонуклідів до організму [9, 10]:

$$E_{int}^{inhal} = V t \sum_i \sum_j e_{\tau}^{i,j} \left(\frac{C_{eq}^{\Sigma} \cdot P_{eq}^{i,j}}{100} \right), \quad (3)$$

де V – темп дихання людини, $m^3/год.$; t – час перебування людини на відкритій місцевості, год.; $e_{\tau}^{i,j}$ – доза на одиницю потрапляння активності інгаляційним шляхом зумовлена i -тим радіонуклідом j -го типу поглинання організмом, Зв/Бк; C_{eq}^{Σ} – середня концентрація суміші радіонуклідів в повітрі на висоті 1,7 метри, Бк/ m^3 ; $P_{eq}^{i,j}$ – відсотковий склад i -го нукліду j -го типу в атмосферному повітрі, %.

Попередня дозова оцінка інгаляційного опромінення розрахована за формулою (3) і за даними, приведеними на рис. 4–7 показала, що за максимальної об'ємної активності групи радіонуклідів і суміші РПЗ у приземному шарі атмосфери складає 290 мБк/ m^3 . При активній фазі лісової пожежі людина без засобів індивідуального захисту органів дихання, яка знаходилась на відкритій місцевості біля 5 годин, могла би отримати дозу внутрішнього опромінення, яка складає 0,01 мЗв.

Висновки. Проведені натуральні дослідження Чорнобильської зони свідчать про те, що зміст радіоактивних аерозолів у продуктах

згоряння при лісовій пожежі може значно збільшитися у приземному шарі атмосфери на декілька порядків і відзначається в основному ^{137}Cs . В приземному шарі атмосферного повітря переважає рідкий дим з аерозольним діаметром менш ніж 10 мкм, який в основному затримується у легенях людини до 50 %, що небезпечно у радіологічному розумінні. Виконана дозова оцінка інгаляційного опромінення людини показала, що максимальна доза при отриманні опромінення під час лісової пожежі мала порядок величини 0,01 мЗв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред / [Ю.А. Израэль, С.М. Вакуловский, В.А. Ветров и др.]. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 296 с.

2. Будыко А.К. Радиоактивные аэрозоли при пожарах на территориях, загрязненных продуктами Чернобыльской аварии / А.К. Будыко, В.И. Огородников // Радиационная биология. Радиэкология. – 1995. – Т. 35, Вып. 1. – С. 102–112.

3. Гаргер Е.К. Радиоактивность аэрозоля и его дисперсный состав на промплощадке ЧАЭС в период лесных пожаров / Е.К. Гаргер, В.А. Кашпур, Г.Г. Скоряк и др. // Агроекологічний журнал. – 2004. – № 3. – С. 6–12.

4. Захист від радіації. Загальні принципи відбирання проб радіоактивних речовин із повітря: ДСТУ ISO 2889. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 56 с. – (Національні стандарти України).

5. Методика определения плутония в почвах, растениях, аэрозолях, в марлевых планшетах. – М.: Геохим АН СССР, 1986. – 7 с.

6. Лаврухина А.К. Радиохимический анализ / А.К. Лаврухина, Т.В. Мальшева, Ф.И. Павлоцкая. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 220 с.

7. Мясоедов Б.Ф. Аналитическая химия трансплутониевых элементов / Б.Ф. Мясоедов, Л.И. Гусева, И.А. Лебедев. – М.: Наука, 1972. – 374 с.

8. Ламб Г. Гидродинамика / Г. Ламб. – М.: Гостехиздат, 1947. – 684 с.

9. ICRP Publication 67. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides. Part 2. Ingestion Dose Coefficient – Oxford Pergamon Press. – 1993. – 116 p.

10. Методика расчета радиоактивных веществ с АЭС и облучение окружающего населения / НТД «Безопасность в атомной энергетике». – М.: Энергоатомиздат, 1984. – Т. 1, Ч. 1. – 112 с.
nuczu.edu.ua

Азаров С.И., Сидоренко В.Л., Руденко О.В.

Изучение процесса поступления радионуклидов в воздух при пожарах в лесах зоны отчуждения ЧАЭС.

Известно, что лесные пожары в Чернобыльской зоне являются одним из самых мощных источников вторичного загрязнения воздуха радионуклидами различного вида. Проведены измерения в процессе лесного пожара вблизи села Толстый Лес объемной активности продуктов сгорания и их дисперсионные характеристики с целью уточнения ингаляционных доз облучения. Показано, что объемная активность смеси радионуклидов в аэрозолях наземной поверхности атмосферы в активной фазе лесного пожара увеличилась в 600 раз по сравнению с фоновым значением.

Ключевые слова: лесные пожары, зона отчуждения, поступление радионуклидов.

Azarov S.I., Sidorenko V.L., Rudenko O.V.

Study of process of receipt of radionuclide's in air at fires in the forests of zone of alienation of Chornobyl.

Forest fires are known as one of the most powerful sources of the atmosphere air secondary contamination by different aerosols. Experiments have been carried out the determination the radioactive aerosol volume activity and disperse characteristics in order to find out more precisely the ignition dozes during forest fires. It has been found that of the maximum smoke-screen the volume activity of radionuclide's in air increases by 600 as compared to background values.

Keywords: forest fires, zone of alienation, receipt of radionuclide's.