

## АНАЛІЗ СМЕРЧОНЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ВИВЕДЕННЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДОЙМИ-ОХОЛОДЖУВАЧА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

**В. М. Ващенко, І. Б. Кордуба**

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського 35 корпус 2, м. Київ, Україна, 03035, Україна. E-mail:  
danileo@ukr.net, uamrv\_ibk@ukr.net

Робота присвячена питанням, що стосуються необхідності переоцінки смерчонебезпеки для водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС (ВО ЧАЕС). Показано, що ймовірність виникнення смерчу в районі розташування ВО ЧАЕС оцінюється в межах  $6 \cdot 10^{-3}$  1 / рік з інтенсивністю 2 бали за шкалою Фуджити. Аналізуються екологічні наслідки аварійних подій на радіоактивно-забрудненому озері Карачай (ПО Маяк) в результаті впливу на нього вітрів і смерчів в 1967 році. Крім небезпечних прямих впливів вітрового напору, навантажень від перепаду тиску, навантажень від предметів, захоплених смерчем вкрай важливими є дослідження процесів і механізмів підйому і виносу аерозолів, води, мулу та інших радіоактивних субстанцій за межі осушеної чаші водойми. Такі процеси можуть ініціюватися не лише руйнівними смерчами класу 1-3 за шкалою Фуджити, але і неруйнівними смерчами меншої потужності. При виникненні смерчу в районі розташування ЧАЕС найбільш вірогідним є сценарій підйому і вторинного переносу різних радіоактивних субстанцій в північному та північно-східному напрямках. У зв'язку з виявленими обставинами є доцільною необхідність уточнення нормативних вимог з обліку метеорологічних та інших факторів природного походження в проєкті виведення ВО ЧАЕС з експлуатації з метою забезпечення радіаційно-екологічної безпеки осушеного водойми-охолоджувача ЧАЕС.

**Ключові слова:** смерчонебезпека, водойма-охолоджувач, радіонукліди, вторинне перенесення

## АНАЛІЗ СМЕРЧЕОПАСНОСТІ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

**В. Н. Ващенко, И. Б. Кордуба**

Государственная экологическая академия последипломного образования и управления  
ул. Митрополита Василя Липкивского 35 корпус 2, г. Киев, 03035, Украина. E-mail: danileo@ukr.net,  
uamrv\_ibk@ukr.net

Работа посвящена вопросам, касающимся необходимости переоценки смерчопасности для водоема-охладителя Чернобыльской АЭС (ВО ЧАЭС). Показано, что вероятность возникновения смерча в районе расположения ВО ЧАЭС оценивается в пределах  $6 \cdot 10^{-3}$  1/год с интенсивностью 2 балла по шкале Фуджити. Анализируются экологические последствия аварийных событий на радиоактивно загрязненном озере Карачай (ПО Маяк) в результате воздействия на него ветров и смерчей в 1967 году. Кроме опасных прямых воздействий ветрового напора, нагрузок от перепада давления, нагрузок от предметов, захваченных смерчем крайне важны исследования процессов и механизмов подъема и выноса аэрозолей, воды, ила и других радиоактивных субстанций за пределы осушенной чаши водоема. Такие процессы могут инициироваться не только разрушительными смерчами класса 1-3 по шкале Фуджити, но и неразрушающими смерчами меньшей мощности. При возникновении смерча в районе расположения ЧАЭС наиболее вероятным является сценарий подъема и вторичного переноса различных радиоактивных субстанций в северном и северо-восточном направлениях. В связи с выявленными обстоятельствами целесообразна необходимость уточнения нормативных требований по учету метеорологических и других факторов природного происхождения в проекте вывода ВО ЧАЭС из эксплуатации с целью обеспечения радиационно-экологической безопасности осушаемого водоема-охладителя ЧАЭС.

**Ключевые слова:** смерчопасность, водоем-охладитель, радионуклиды, вторичный перенос.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Розпочате в березні 2014 року поступове зниження рівня води у водоймі-охолоджувачі Чорнобильської АЕС з метою його виведення з експлуатації супроводжується поступовим осушення ділянок його дна. Однак, як показує світова практика експлуатації та остаточного виведення з експлуатації аналогічних радіоактивно забруднених водойм, такі частково осушені водойми, що вміщують значні кількості радіоактивних відходів (РАВ), являють собою екологічну загрозу, пов'язану з екологічними ризиками вторинного підйому і

перенесення вітрами і смерчами радіоактивних субстанцій – радіоактивні тверді і рідкі аерозолі та інші радіоактивні субстанції. При цьому під смерчем, як правило, мається на увазі атмосферний вихор (торнадо, тромб), який має потужну руйнівну і підйомну силу і в якому різномісцеві потоки повітря, змішуючись, утворюють потужну воронку яка швидко обертається [1].

Смерчі утворюються практично на всій поверхні Землі як на суші так і на морських акваторіях. Винятком є полярні і екваторіальні регіони [5]. Найчас-

**Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування**

тіше смерчі/торнадо утворюються над США і Австралією. Всього щорічно на Землі в середньому реєструється 1000-1500 смерчів. Майже половина їх утворюється над США в просторі над «алеєю торнадо» на північних широтах  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ , де повторюваність смерчів максимальна. У цій широтній смузі потужні теплі атмосферні потоки, які приходять з Мексиканської затоки, стикаються з холодними атмосферними масами які приходять з території Канади. При цьому приземний атмосферний шар піднімається і стикається з охолодженими атмосферними масами. В результаті утворюється сильний зворотний потік прогрітого вологого повітря, що породжує сильні дощові зливи і град. При цьому, якщо утворюється потужна циркуляція, а зовні присутні високі швидкості вітру, то в результаті запускається механізм закручування і обертання атмосферного потоку з формуванням епіцентральної області, в якій і утворюється смерч / торнадо [9, 10].

Найбільш руйнівний торнадо ХХ століття, який отримав назву «Чудовисько», обрушився 3 травня 1999 року, на місто Оклахома-Сіті в США і здійснював руйнування протягом півтори години. Метеорологам вперше вдалося побачити на радарі момент його зародження [11] і громадяни США були вчасно попереджені про катастрофу, що насувається. У результаті вдалось запобігти тисячам людських жертв, але все ж десятки людей загинули.

У європейській частині колишнього СРСР відомі дві зони смерчоутворення. Перша - між Москвою і Нижнім Новгородом, друга - на трансграничних територіях поблизу кордону України-Білорусі з центром біля Києва. Отже, Чорнобильська АЕС, вся зона відчуження і водойма-охолоджувач ЧАЕС знаходяться в зоні підвищеного активного смерчоутворення.

Всього на території України з 01.03.1960 року по 01.03.2004 року було зареєстровано більше 71 смерчу. В середньому сезон смерчів доводиться на сезон травень-серпень. Але максимальна частота смерчів припадає на липень-червень. Найраніший смерч був зареєстрований 5 травня 1970 року біля села Чабанка Одеської області, а найпізніший - 20 жовтня 1976 року біля Генічеська в Херсонській області. На Чорному морі смерчі утворюються як правило восени, коли атмосферні маси з охолодженої суші переносяться на іще теплу морську поверхню [6, 7].

Частотна регіональна повторюваність смерчів над територією України неоднорідна. Більше за все сильних смерчів за зазначений період (11 смерчів) було зареєстровано в Криму, Миколаєвській, Херсонській, Запорізькій та Київській областях. Також значима частота смерчоутворення спостерігалася в Дніпропетровській, Черкаській, Одеській, Волинській і Львівській областях – по 4 смерчі в кожній. Відповідно до статистики в період часу 1844 - 2001 рр., Більшість областей України, включаючи Чорнобильську зону відчуження, знаходяться в смерчонебезпечних районах з загрозою можливого утворення смерчу з розрахунковим класом інтенсивності  $kr \geq 2$  і з річною ймовірністю виникнення смерчонебезпечний події більш  $Ps = 10^{-4}$  1/рік.

Смерчі виникають в умовах меридіональної циркуляції атмосфери, якщо фронтальні зони, вздовж яких утворюються смерчеутворюючі хмари, займають квазі-меридіональне положення. В такому випадку починається швидке вторгнення холодних повітряних мас з Арктики в південні райони. А в північному напрямку виникає зворотний винесення прогрітого тропічного повітря з сильною нестійкістю по вертикалі [12, 14]. В першу чергу це характерно для південних Середземноморських або Чорноморських циклонів, які потім переміщуються на північний схід. При цьому смерчі переміщуються по траєкторіях відповідно до швидкості і напрямом ведучого потоку.

Аналіз траєкторій руху смерчів над європейською частиною колишнього СРСР [13], показує, що в 73% випадків вектор їх переміщення направлений з південного заходу на північний схід. Вектори решти смерчів спрямовані з півдня на північ - 10%; із заходу на схід - 6%; з південного сходу на північний захід - 5%; з північного сходу на південний захід - 5%; з північного заходу на південний схід - 1%.

Відповідно до результатів аналізу, проведеного в роботі [12], територія Чорнобильської ЗВ розташована в зоні підвищеної смерчонебезпеки. За період 1969-2012 років в Київській області було зареєстровано 9 смерчів. Результати останніх спостережень показують, що ймовірність утворення смерчу в Київській області на території в  $1000 \text{ км}^2$  може досягати значення  $1.5 \times 10^{-2}$  1/рік, а над територією Чорнобильської ЗВ  $6 \times 10^{-3}$  1/рік.

На території Київської області дуже сильний був смерч спостерігався 18 серпня 1969 року. Сила цього смерчу була оцінена рівною 3-му класу за шкалою Фуджита. Ще один потужний смерч з географічним центром його зародження поблизу Чорнобильської зони відчуження, пронісся над територіями Чернігівської області навесні 2016 року. Смерч супроводжувався вивалом лісу і перенесенням різних предметів на відстанях більше 100 км.

Більш ранні висновки, отримані в роботі [13] в 1987 році, також узгоджуються і з даними метеорологічних спостережень смерчів в Київській області. При виникненні смерчу безпосередньо в районі розташування Чорнобильської АЕС та її водойми-охолоджувача найбільш ймовірним сценарієм є подальше вторинне підняття і поширення радіоактивного пилу і водяних крапель (туману), піднятих з осушеної частини водойми-охолоджувача ЧАЕС - це наступне екологічно небезпечне атмосферне перенесення радіонуклідів в напрямку кордонів Білорусі та Росії.

В роботі [48] було отримано висновок про практично незначний вплив наслідків осушення території водойми-охолоджувача на величину можливого ближнього і далекого транскордонного перенесення радіонуклідів при проходженні смерчу в Чорнобильській ЗВ, а також пов'язані з цим наслідки для здоров'я населення Білорусі і Росії. Однак світовий досвід показує, що вплив вітрів і смерчів на радіоактивні водойми може призводити до катастрофічних екологічних наслідків. Яскравим трагічним прикла-

**Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування**

дом тому може служити радіаційна екологічна катастрофа, яка сталася в 1967 році на технологічній водоймі В-9 (озеро Карачай) ПО Маяк в Челябінській області колишнього СРСР.

Виконані дослідження ставили за мету вивчити особливості екологічної смерчонебезпеки, а також можливий вплив смерчів на водойму-охолоджувач Чорнобильської АЕС (ВО ЧАЕС) і подальший викликаний цим впливом підйом і вторинне перенесення радіоактивних субстанцій з водойми-охолоджувача за межі її частково осушеної чаші. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

– аналіз і систематизація даних про частоту і районування випадків виникнення небезпечних руйнівних смерчів в регіоні розташування водойми - охолоджувача Чорнобильської АЕС;

– аналіз статистичних даних про проходження смерчів над регіоном, в якому розташована водойма-охолоджувач Чорнобильської АЕС;

– аналіз зарубіжного досвіду експлуатації і виведення з експлуатації радіоактивно забрудненої водойми на прикладі озера Карачай, відомого як водойма В-9 ПО МАЯК.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.**

Межі зміни величин головних газодинамічних характеристик відповідають визначеному класу інтенсивності смерчів за F-шкалою Фуджита - Пірсона [2]. Розрахункова величина максимального вітрового тиску при впливі смерчів повинна використовуватися як векторна сума максимальної швидкості обертального руху стінки смерчу  $V$  по горизонталі і швидкості смерчу  $U$  вздовж його траєкторії. Величина зміни атмосферного тиску уздовж радіальної відстані  $r$  від центру смерчу визначається відомими співвідношеннями

$$p_a(r) = \rho \frac{V_m^2}{2} \left( 2 - \frac{r^2}{R_m^2} \right); 0 \leq r \leq R_m; \quad (1)$$

$$p_a(r) = \rho \frac{V_m^2}{2} \cdot \frac{R_m^2}{r^2}; r \geq R_m, \quad (2)$$

де  $V_m$  – максимальна тангенційна швидкість вітру;  $R_m$  – радіальна відстань до точки в якій швидкість обертання повітряного потоку найбільша;  $\rho$  – щільність повітря [1].

Таблиця 1 – Відповідність класів інтенсивності смерчів діапазнам визначальних газодинамічних характеристик

Клас Інтенсивності $k$	Діапазони характеристик				
	Максимальная горизонтальная скорость вращательного движения стенки смерча $V$ , м/с	Поступательная скорость движения смерча $U$ , м/с	Длина пути прохождения смерча $L$ , км	Ширина пути прохождения смерча $W$ , м	Перепад давления между периферией и центром воронки смерча $\Delta p$ , ГПа
0	До 33	До 8	До 1,6	До 16	До 13
1	33 – 49	8 – 12	1,6 – 5,0	16 – 50	14 – 31
2	50 – 69	13 – 17	5,1 – 16,0	51 – 160	32 – 60
3	70 – 92	18 – 23	16,1 – 50,9	161 – 509	61 – 104
4	93 – 116	24 – 29	51 – 160	510 – 1600	105 – 166
5	117 – 140	30 – 35	161 – 507	1601 – 5070	167 – 249

Статистичні дані про проходження смерчів над територією вибраного промислового майданчика для розташування і спорудження ОВАЕ визначають рішення про прийняття допустимої межі ймовірності виникнення смерчонебезпечної події  $P_0$ . З урахуванням Рекомендацій для оцінки характеристик смерчу для ОВАЕ викладеної в Керівництві з безпеки РБ-022-01 [1] можна покладати  $P_0 = 10^{-4}$ .

Смерчонебезпека району в якому розташована ВО ЧАЕС можна визначити шляхом оцінки річної ймовірності  $P_S$  виникнення смерчонебезпечної події в районі розташування ВО ЧАЕС в межах оточуючої її прилеглої території розміром в 1000 км<sup>2</sup> [1]. Якщо для району розташування ВО ЧАЕС в межах навколишнього ЙОГО території в 1000 км<sup>2</sup> з однорідними фізико-географічними характеристиками утворення смерчів визначена річна ймовірність наявності смерчів більш величини  $P_0$  ( $P_S > P_0$ ), то район є смерчонебезпечним і такий висновок вимагає визначення головних параметрів смерчів. При цьому, аналізуючи смерчонебезпеку території розташування ОВАЕ, в даному випадку ВО ЧАЕС, відповідно

до рекомендацій МАГАТЕ [2] слід враховувати те, що смерчі 3-го класу інтенсивності і більше, можуть піднімати і переносити предмети з наступними характеристиками: авто вагою до 1,8 т; бронейний артилерійський снаряд вагою 125 кг і діаметром 0,2м; цілісна сталева куля з діаметром 2,5см.

Річна ймовірність  $P_S$  виникнення смерчонебезпечної події в районі розміщення і спорудження ОВАЕ в межах оточуючої його промисловий майданчик території площею 1000 км<sup>2</sup>, розташованої в районі площею  $A$  з однорідними фізико-географічними умовами виникнення смерчів, визначається за формулою:

$$P_S = \frac{S \cdot 10^3}{AT}, \quad (3)$$

де  $S$  – суммарная площа зона разрушений от смерчей в районе площадью  $A$ ;  $T$  – эффективный период наблюдений [1].

Під смерчонебезпечною подією тут мається на увазі проходження через територію розташування об'єктів використання атомної енергії (ОВАЕ) смер-

**Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування**

чу, здатного викликати пошкодження з подальшими радіаційними наслідками [1]. А ефективний період спостережень - це інтервал часу протягом якого частота появи смерчів в районі постійна і збігається з частотою появи смерчів протягом періоду регулярних спостережень.

Для оцінки ефективного періоду спостережень  $T$  в досліджуваному районі (зоні) шляхом аналізу хронологічного графіка зареєстрованих смерчів необхідно вибрати максимальний однорідний за частотою проходження смерчів період  $T_0$ , протягом якого зареєстровано  $m_0$  смерчів. Величину  $T$  слід визначати з умови постійної частоти проходження смерчів за формулою:

$$T = T_0 \frac{m}{m_0} \quad (4)$$

де  $m$  – повне число смерчів, зареєстрованих в районі.

Річна ймовірність проходження смерчу з класом інтенсивності  $k$  через район площею  $A$ , в якому знаходиться майданчик ОБАЕ, повинна визначатися на основі співвідношення

$$P = P_S [1 - F(k)], \quad (5)$$

де  $F(k)$  - ймовірність перевищення класу  $k$  серед смерчів, зареєстрованих в даному районі.

Загальна кількість смерчів  $N$ , які пройшли через досліджуваний район, і сумарну площу руйнувань  $S$  слід визначати за допомогою наступних формул

$$N = \sum_{k=0}^m n_k a(k), \quad S = \sum_{k=0}^m n_k a(k) L_k W_k, \quad (6)$$

де  $n_k$  – число зареєстрованих смерчів класу  $k$ ;  $L_k$  – довжина шляху смерчу;  $W_k$  - ширина зони руйнування на шляху смерчу.

Розрахунковий клас інтенсивності ймовірного смерчу на території розміщення ОБАЕ слід визначати з урахуванням вимоги

$$F(k_p) = 1 - \frac{P_0}{P_S} \quad (7)$$

де:

$$k_p = -\frac{1}{a} \left[ \ln \left( 1 - \frac{P_0 A T}{S \cdot 10^3} \right) + b \right] \quad (8)$$

Значення  $F(k)$  визначається при виконанні умови

$$P_S > P_0. \quad (9)$$

При невиконанні умови (9) встановлення смерчонебезпеки і розрахункових характеристик смерчів не проводиться і територія розміщення ОБАЕ приймається безпечною за ймовірними впливами смерчів [1].

Водойма-охолоджувач Чорнобильської АЕС з точки зору екологічної смерчонебезпеки - одна з найбільш небезпечних споруд, яка на момент початку її осушення вміщувала 150 млн. куб. м води та близько 200 000 тон радіоактивної органічної біомаси: планктон, «м'який» бентос, занурювальні рослини, повітряно-водні рослини, двостулкові моллюски і риби. В процесі часткового та після остаточного ви-

сушування водойми залишки цих мас разом з радіоактивним мулом набирає потенціалу радіоактивних ризиків.

Штучна водойма-охолоджувач ЧАЕС була створена для охолодження чотирьох реакторних блоків і була введена в експлуатацію в 1976 році. Площа водойми близько 22 км<sup>2</sup>, об'єм - до 150 млн. м<sup>3</sup>. Водойма відділена від річки Прип'ять дамбою з довжиною 11,4 км.

В результаті аварії на ЧАЕС і надходження на поверхню водойми-охолоджувача радіоактивних аерозолів і диспергованих паливних частинок із зруйнованого реактора, в водоймі таким шляхом отримала виключно високе радіоактивне забруднення, включаючи також скиди (близько 5000-8000 м<sup>3</sup>) дуже радіоактивних вод з головного контуру аварійного реактора та інших систем станції.

У жовтні 2014 року було припинено підкачування води у водойму-охолоджувач і рівень в ній на сьогодні знизився практично на 7 метрів і водойма іще продовжує "самоосушатись" за рахунок процесів інфільтрації води крізь огорожувальну його штучну захисну дамбу з боку річки Прип'ять. Після стабілізації процесів інфільтрації вода залишиться в численних неоднорідних поглибленнях на дні водойми-охолоджувача в яких зібрана і продовжує збиратися основна маса радіоактивних і екологічно небезпечних радіонуклідних забруднень. В остаточній гідросистемі водойми-охолоджувача знову проявляться історично природні озера, які під час наповнення ВО ЧАЕС разом з виселеним селами були затоплені водою.

Сьогодні просторовий розподіл радіоактивних забруднень в ВО ЧАЕС сформувався в результаті їх перерозподілу між водними товщами і донними відкладеннями радіонуклідів, які потрапили у водойму різними шляхами - після аварійні випадіння з атмосфери, скиди з аварійного реактора і з інших систем технічного забезпечення станції крізь промислову каналізацію в ході ліквідації наслідків аварії та в ході дезактивації проммайданчика ЧАЕС.

Основними дозоутворюючими радіонуклідами в воді ВО ЧАЕС залишаються 137Cs та 90Sr [2]. За 1987-2010 роки середньорічні концентрації цих радіонуклідів у водних обсягах зменшилися майже на два порядки і складають 1,5 Бк/л (137Cs) и 1,9 Бк /л (90Sr) [3]. Значна частина забруднених частинок мулистої фракції стяглася і продовжує стягуватися з усієї осушеної площі дна в найбільш глибокі зони, утворюючи нові потужні товщі високоактивного мулу [4]. Загальний запас радіонуклідів в ВО ЧАЕС становить понад 300 ТБк (з них близько 85% - 137Cs і 10% - 90Sr), причому близько половини цієї активності міститься саме в донних відкладеннях глибше 10 м [1].

Близько 80% від сумарного запасу радіонуклідів 137Cs та 90Sr у донних відкладеннях зосередилося на глибинах більше 7,5 м в межах старого русла р. Прип'ять і заплавних озер. Після стабілізації процесів осушення ВО ЧАЕС близько 30% загальної площі ВО ЧАЕС залишиться сполученій між собою гідросистемі остаточно проявлених історичних і ново-

**Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування**

створених озер з різною площею і глибиною, на дні яких буде сконцентровано до 80-90% радіонуклідів, а їх інша частина на певний час буде залишатися на осушених ділянках дна і в рослинності, яка буде утворюватися в результаті природного і штучного пророщування.

У донних відкладеннях ВО ЧАЕС основна маса радіонуклідів міститься в матриці паливних частинок [7] які не зазнали значних змін з моменту аварії на ЧАЕС через нейтральні умови навколишнього середовища (рН 7,3 - 8,5 [8]) на відміну від кислих ґрунтів, де розчинення паливних частинок відбувалося інтенсивніше. Паливні частинки були законсервовані в донних відкладеннях ВО ЧАЕС. Після припинення подачі води в ВО ЧАЕС від берегової насосної станції почався процес його осушення обумовлений спільним впливом втрат на фільтрацію в р. Прип'ять і на випаровування з водної поверхні водойми. Значна частина радіоактивних донних відкладень в проявлених історичних і новостворених озерах залишиться покритою водою. Однак, в результаті осушення чаша водойми буде містити весь набір таких гідрологічних і ландшафтних утворень як рілля, луг, зарості, ліс, болото, водна поверхня стабілізованих і сезонних озер і калюж, і ін.

Таким чином сухі ділянки дна загальною площею близько 15 кв. км і новоутворені водні акваторії стануть екологічно небезпечними джерелами вторинного радіоактивного забруднення територій внаслідок підйому і перенесення радіації вітрами і смерчами. Важким трагічним прикладом цього став досвід експлуатації і консервації озера Карачай яке за всіма своїми радіаційними параметрами має досить високу аналогію з ВО ЧАЕС. Використання озера Карачай з жовтня 1951 року як сховища рідких радіоактивних відходів після радіаційної аварії на ПО Маяк, дозволило припинити скидання радіації в річку Теча. Однак в підсумку в озері було сумарно накопичено понад 120 млн. Кі бета-активних нуклідів: 40%  $^{90}\text{Sr}$  і 60%  $^{137}\text{Cs}$ , які на момент початку робіт по консервації водойми розподілялися приблизно так: 7% - у воді, 41% - у суглинках ложа водойми, 52% - в рухомих донних відкладеннях.

Озеро Карачай до його консервації було інтенсивним джерелом забруднення повітря, ґрунтів і підземних вод. Тому було вирішено ліквідувати озеро шляхом його засипки для повного виключення вітрового і іншого радіоактивного забруднення повітря, підземних вод і сухопутних територій.

Через накопичення радіонуклідів водойма Карачай стала висихати, так як наявність радіонуклідів підвищує температуру води, і озеро стало ще більш небезпечним джерелом виносу радіоактивності. В результаті підйому і перенесення вітрами і смерчами радіоактивної речовини у вигляді аерозолів, піску та інших субстанцій, з оголених від води в результаті посухи берегів озера Карачай в 1967 році відбулося радіоактивне забруднення величезної території, що примикає до майданчика ВО «Маяк», в тому числі КМР [15].

Параметри вітрового підйому радіоактивного пилу складним чином залежали від метеорологічних

умов, підстилаючої поверхні, властивостей ґрунту та інших факторів. Число досліджень з цього питання обмежена, а відомі значення параметрів підйому радіонуклідів вітрами і смерчами змінюються в межах кілька порядків величини. Сумарна активність рознесених з осушених ділянок і з водної поверхні озера Карачай радіоактивних аерозолів становила близько 600 000 Кюрі. В озері Карачай всього находиться близько 200 млн кюрі. Для порівняння у Чорнобилі 40-50 млн кюрі. Ґрунти, що прилягають до ВО «Маяк», забруднені довгоживучими нуклідами стронцію-90, цезію-137, плутонію-239, 238, 241 і продуктами їх розпаду.

У 1967 році на радіоактивному озері Карачай сталася нова радіаційна екологічна катастрофа - під час посухи вітри і смерчі, викликані незвичайними (в порівнянні з середніми багаторічними) погодними умовами, підняли і рознесли з берегової осушеної смуги радіоактивні елементи на три тисячі квадратних кілометрів, посиливши радіоактивне зараження територій після першої катастрофи 1957 року. Постраждалими від вторинної радіоактивності було визнано понад 500 тисяч осіб. Підйом і перенесення радіації був обумовлений недостатньою кількістю атмосферних опадів протягом зими 1966-1967 рр. В грудні-березні випало всього 10% середньої багаторічної норми, характерної для цього періоду часу) а також ранньої і сухою весною, і виникненням сильних рвучких вітрів смерчів. Вже на 20-е березня сніговий покрив зник і верхній шар ґрунту швидко став сухим а подальше підвищення температури сприяло прогріванню ґрунту і виникненню умов підвищеного пилоутворення. У зв'язку з різким зниженням рівня води у водоймі Карачай відбулося осушення берегової смуги озера що спричинило залучення радіоактивних донних відкладень в процеси пилоутворення.

З початком смерчів і вітрів, швидкості яких сягали біля підстилаючої поверхні до 20 м / сек, стовпові підйомні атмосферні потоки підняли висохлі мулові відкладення і рознесли їх по окрузі. Таким шляхом було піднято близько 600 тисяч кюрі і рознесено на площу більше 3000 км<sup>2</sup>. Радіоактивні випадання накрили 63 населених пункти, в яких проживали 42 тисяч осіб і 18 тисяч з них були евакуйовані. В результаті вторинного радіаційного забруднення в селах на відстанях 7-12 км від озера Карачай утворилися ділянки із забрудненням до 0,1 Кі/кв. км що відповідає зоні надзвичайної екологічної ситуації.

У жителів населеного пункту Новогорний вміст плутонію в організмі в 14 разів перевищує глобальний рівень. Жителі міст Каслі (40 тис. жителів), Киштим (40 тис.), Озерськ (80 тис.), Новогорний (10 тис.) стали носіями плутонію з рівнями рівнях, що в десятки разів перевищують глобальні випадання. Населення в Верхньому Уфалей, Тюбуку, Багарянці, Кунашаку, Аргаяші, Долгодеревенському, піддаються небезпеці накопичення в організмі плутонію в 4-7 разів вище глобального рівня.

Таким чином, виходячи з трагічного досвіду поводження з радіоактивним озером Карачай, яке є

## Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

радіаційно-екологічним аналогом ВО ЧАЕС важливо відзначити наступне. Однією з проблем при використанні озера Карачай, як сховища рідких і твердих радіоактивних відходів, стали його дуже пологі береги. Ця рельєфна особливість стала причиною того, що навіть самі незначні коливання об'єму води в озері в результаті дощів або посух, призводили до значної зміни площі водної поверхні озера. Ця обставина стала однією з причин аварійної ситуації в 1967 році, і посилила процеси вторинного радіоактивного зараження територій коли в результаті збільшення площі озера і подальшого швидкого висихання його частини стався винос донних відкладень на поверхню і їх подальше видування і рознесення вітрами і смерчами на великі території.

Сучасні фотографії осушеної чаші ВО ЧАЕС показують багато в чому аналогічну з озером Карачай рельєфну картину для багатьох його прибережних осушених ділянок. До того ж ця рельєфна картина посилюється великими осушеними кілометровими площами рівнинних піщаних ділянок. У разі нового аварійного катастрофічного підйому радіонуклідів і вторинного забруднення ними ближніх і дальніх територій навколо ВО ЧАЕС виникнуть нові масштабні екологічні ризики і пов'язані з ними можливі нові екологічно небезпечні явища, процеси і проблеми які не матимуть аналогів і досвіду для ліквідації їх наслідків які доведеться вирішувати унікальними і дорогими методами не мають аналогів у світовій практиці. Тому до головних проблем, які стосуються розробки стратегії довгострокового забезпечення екологічної безпеки ВО ЧАЕС в процесі і після стабілізації його осушення слід віднести і питання необхідності переоцінки вітробезпеки та смерчонебезпеки ВО ЧАЕС з точки зору можливості вторинного зараження близьких і дуже віддалених від водойми-охолоджувача.

## ВИСНОВКИ.

1. Територія Чорнобильської зони відчуження і розташована на ній водойма-охолоджувач ЧАЕС знаходяться в зоні підвищеної смерчонебезпеки з можливістю виникнення 3-го класу смерчів. З урахуванням останніх спостережень ймовірність виникнення смерчу в Київській області на 1000 кв. км оцінюється рівною  $1,5 \cdot 10^{-3}$  1/рік.

2. Як показує досвід експлуатації ВО ЧАЕС і досвід експлуатації і консервації озера Карачай ПО Маяк, при виведенні з експлуатації водойми-охолоджувача ЧАЕС можуть проявитися негативні неконтрольовані екологічні фактори а саме - поширення радіоактивних аерозолів з осушених та водних поверхонь в чаші водойми за рахунок їх підйому вітрами і смерчами.

3. У зв'язку з виявленими обставинами є доцільною необхідність уточнення нормативних вимог з обліку метеорологічних та інших факторів природного походження в проекті виведення ВО ЧАЕС з експлуатації з метою забезпечення абсолютної радіаційно-екологічної безпеки осушувача ставка-охолоджувача ЧАЕС. При цьому в разі ВО ЧАЕС крім небезпечних прямих впливів вітрового напору, навантажень від перепаду тиску, навантажень від

предметів, що летять, захоплених смерчем вкрай важливими є дослідження процесів і механізмів підйому і виносу аерозолів, води, мулу та інших радіоактивних субстанцій за межі осушеної чаші водойми. Як показують спостереження підйом величезних мас води може здійснюватися не тільки руйнівними смерчами класу 1-3 за шкалою Фуджита, але і неруйнівними смерчами меншої потужності при менших значеннях їх критичних параметрів.

4. При виникненні смерчу в районі розташування ЧАЕС найбільш вірогідним є сценарій підйому і вторинного переносу різних радіоактивних субстанцій, в т.ч. і радіоактивного пилу, піднятою з чаші осушеної ВО ЧАЕС і їх подальше перенесення в північному та північно-східному напрямках.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии // Руководства по безопасности // РБ-022-01. – Госатомнадзор, 2002.
2. Учет экстремальных метеорологических явлений при выборе площадок АЭС // Серия изданий по безопасности МАГАТЭ. № 50-SG-S11A. – Вена, 1983.
3. Научно-технические основы мероприятий повышения безопасности АЭС с ВВЭР / В. И. Скалозубов, А. А. Ключников, Ю. А. Комаров, А. В. Шавлаков. - Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2010. – 200 с.
4. Будилина Е.Н., Прох Л.З., Снитковский А.И. Смерчи и шквалы умеренных широт. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 32 с.
5. Ивус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б. Смерчи и струйные течения низких уровней.// Географические науки. –№6. –2012.
6. Волеваха В.А., Токарь Н.Ф. Шквалы и смерчи на Украине в 1984–1985 гг. // Труды Украинского регионального научно-исследовательского института. – 1987. – Вып. 225. – С. 46–55.
7. Каталог смерчей, которые наблюдались на территории Украины в 1987–2003 гг. – ВМП Укр ГМЦ, – 145 с
8. Лилли Д. К. Развитие и поддержание вращения в конвективных штормах // Интенсивные атмосферные вихри. — М.: Мир, 1985. – С. 169—182.
9. Hanstrum B.N., Mills G.A., Watson A., Monteverdi J.P., Doswell C.A. The cool-season tornadoes of California and southern Australia // Weather and Forecasting. – 2002. – Vol. 17. – № 4. – P.705–722.
10. Houze Jr. R.A., Smull B.F., Dodge P. Mesoscale organization of springtime rainstorms in Oklahoma.// Mon. Weather. Rev. – 1990. – Vol. 118. – № 3. – P. 613–654.
11. Zupanski D., Zupanski M., Rogers E., Parrish D.F., DiMego G.J. Fine-resolution 4DVAR data assimilation for the Great Plains tornado outbreak of 3 May 1999 // Weather and Forecasting. – 2002. – Vol. 17. – № 3. – P. 506–525.
12. Брюхань Ф.Ф., Ляхов М.Е., Погребняк В.Н. Смерчеопасные зоны в СССР и размещение атом-

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

ных станций // Изв. АН СССР. Сер. географ. - 1989. - № 1. - С. 40 - 48.

13. Снитковский А. И. Смерчи на территории СССР // Метеорология и гидрология. - 1987. - № 9. - С. 12 - 25.

14. Талерко Н.Н., Гаргер Е.К., Кузьменко А.Г. Прогнозная оценка трансграничного переноса радионуклидов вследствие прохождения смерча над водоемом-охладителем ЧАЭС // Проблемы безопасности

атомных электростанций в Чернобыля. - 2013. - вып. 20.

15. Ю.В.Глаголенко, Е.Г.Дорожко, Ю.Г.Мокров, П.М.Стукалов, И.А.Иванов, А.И.Алексахин. Современное состояние и обеспечение вывода и эксплуатации водоемов-хранилищ жидких среднеактивных отходов - озера Карачай и хранилища Старое Болото. - Вопросы радиационной безопасности 2003 г., №1, с. 14-19.

TORNADO HAZARD ANALYSIS FOR IMPROVEMENT OF ECOLOGICALLY SAFE CHERNOBYL NPP COOLANT POND DECOMMISSIONING TECHNOLOGY

V. Vashchenko, I. Korduba

State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management

vul. V. Lypkivskogo, 35, bldg.2, Kyiv, Ukraine, 03035. E-mail: danileo@ukr.net, uamrv\_ibk@ukr.net

**Purpose.** The aim of the paper is to improve environmental safety of Chernobyl nuclear power plant coolant pond drying process during its decommissioning that began in 2014. **Methodology.** A literature survey has been carried out to estimate tornado hazard level in Kyiv Oblast, especially in Chernobyl NPP region and a comparison has been made of known consequences of radioactive aerosol secondary transport at Karchay lake. **Results.** Chernobyl alienation zone territory and the Chernobyl NPP coolant pond are located in an increased tornado hazard region with a chance of 3-rd class tornados appearance. Taking into consideration the latest observations data, the probability of a tornado appearance in Kyiv Oblast is estimated as  $1,5 \cdot 10^{-3}$  per year per 1000 sq.km. As seen from the experience of the Chernobyl NPP coolant pond operation and of Karachay lake (Mayak Production Association) operation and conservation, during decommissioning of the Chernobyl NPP coolant pond uncontrollable negative ecological factors can emerge, namely - secondary transport of radioactive aerosol from the dried and water surfaces inside the pond basin resuspended by winds and tornadoes. Due to these circumstances, it is necessary to reconsider law regulations concerning rare meteorological events of natural origin in the project of the Chernobyl NPP coolant pond decommissioning to guarantee absolute radio-ecological safety of the drying Chernobyl NPP coolant pond. Moreover, in case of the Chernobyl NPP coolant pond decommissioning not only direct impacts of wind pressure, pressure fall strains, damage, caused by flying debris caught by tornado are important, but also investigation of processes and mechanisms of aerosol, water, slit and other radioactive substances resuspension and transport outside of the dried pond basin are of critical significance. As shown by observations uplift of large water quantities may be caused not only by destructive tornadoes with 1-3 class according to Fujita scale, but also by non-destructive tornados of lower power with lower values of their critical parameters. In case of a tornado appearance in the Chernobyl NPP coolant pond vicinity the most probable scenario of radioactive substances (including radioactive dust) resuspension and secondary transport direction is North and North-East. **Originality.** This paper investigates tornado hazard near the Chernobyl NPP from the coolant pond ecological safety during its decommissioning process point of view for the first time. As a result, new scientific data has been obtained concerning secondary transport of radioactive aerosols to distances up to 100 km, with most probable direction towards Belorussia and Russia borders. **Practical value.** Results of this research can be used to increase ecological safety of the Chernobyl NPP coolant pond decommissioning process. The necessity of risk linked to hurricane and tornado radioactive aerosol resuspension and transport for large distances re-estimate is stressed. The paper conclusions can also be used for practical improvement of regulatory documentation that governs ecological and radiation safety during nuclear power objects operation. *References 15, tables 1, no figures.*

**Key words:** tornado risk, coolant pool, radionuclides, secondary transport.

REFERENCES

1. Rekomendatsii po otsenke harakteristik smercha dlya ob'ektov ispolzovaniya atomnoy energii (2002). Rukovodstva po bezopasnosti. RB-022-01, Gosatomnadzor.

2. Uchet ekstremalnykh meteorologicheskikh yavleniy pri vyibore ploshchadok AES (1983). Seriya izdaniy po bezopasnosti MAGATE. № 50-SG-S11A, Vena.

3. Skalozubov, V. I., Klyuchnikov, A. A., Komarov, Yu. A., Shavlakov, A. V. (2010). Nauchno-tehnicheskie osnovy meropriyatiy povysheniya bezopasnosti AES s VVER. Chernobyl: In-t problem bezopasnosti AES NAN Ukrainyi, 200.

4. Budilina, E.N., Proh, L.Z., Snitkovskiy, A.I. (1976). Smerchi i shkvalyi umerennykh shirot. L.: Gidrometeoizdat, 32.

5. Ivus, G.P., Semergey-Chumachenko, A.B. (2012). Smerchi i struynnye techeniya nizkikh urovney. Geograficheskie nauki, № 6.

6. Volevaha, V.A., Tokar, N.F. (1987). Shkvalyi i smerchi na Ukraine v 1984-1985 gg. Trudyi Ukrainского regionalnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta. Vyip. 225, 46-55.

7. Katalog smerchey, kotoryie nablyudalis na territorii Ukrainyi v 1987-2003 gg. VMP Ukr GMTs, 145.

**Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування**

8. Lilli, D. K. (1985). *Razvitie i podderzhanie vrascheniya v konvektivnyih shtormah, Intensivnyie atmosferynie vihri*. M.: Mir, 169—182.
9. Hanstrum, B.N., Mills, G.A., Watson, A., Monteverdi, J.P., Doswell, C.A. (2002). *The cool-season tornadoes of California and southern Australia // Weather and Forecasting*. Vol. 17, № 4, 705–722.
10. Houze, Jr. R.A., Smull, B.F., Dodge, P. (1990). *Mesoscale organization of springtime rainstorms in Oklahoma*. *Mon. Weather. Rev.*, Vol. 118, № 3, 613–654.
11. Zupanski, D., Zupanski, M., Rogers, E., Parrish, D.F., DiMego, G.J. (2002). *Fine-resolution 4DVAR data assimilation for the Great Plains tornado outbreak of 3 May 1999*. *Weather and Forecasting*. Vol. 17, № 3, 506–525.
12. Bryuhan, F.F., Lyahov, M.E., Pogrebnyak, V.N. (1989). *Smercheopasnyie zonyi v SSSR i razmeschenie atomnyih stantsiy*. *Izv. AN SSSR. Ser. geograf*, № 1, 40 - 48.
13. Snitkovskiy, A. I. (1987). *Smerchi na territorii SSSR*. *Meteorologiya i gidrologiya*, № 9, 12 - 25.
14. Talerko, N.N., Garger, E.K., Kuzmenko, A.G. (2013). *Prognoznaya otsenka transgranichnogo pereno-sa radionuklidov vsledstvie prohozheniya smercha nad vodoemom-ohladiatelym ChAES. Problemi bezpeki atomnih elektrostantsiy i Chornobilya*. vip. 20.
15. Glagolenko, Yu.V., Dorozhko, E.G., Mokrov, Yu.G., Stukalov, P.M., Ivanov, I.A., Aleksahin, A.I. (2003). *Sovremennoe sostoyanie i obespechenie vyivoda i ekspluatatsii vodoemov-hranilisch zhidkih sredneaktivnyih othodov - ozera Karachay i hranilisha Staroe Boloto*. - *Voprosyi radiatsionnoy bezopasnosti 2003 g.*, №1, 14-19.