

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Інституту проблем  
математичних машин і систем

НАН України  
академік НАН України

Анатолій МОРОЗОВ



## АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

про виконану роботу в рамках реалізації проєкту  
із виконання наукових досліджень і розробок

«Прогнозування небезпечних впливів радіоактивно забруднених поверхневих вод і затоплення берегів: розвиток моделей та їх впровадження для зменшення наслідків надзвичайних ситуацій у м. Києві, спричинених водами р. Дніпро»  
(назва Проєкту)

**Назва конкурсу:** «Наука для безпеки людини та суспільства»

**Реєстраційний номер Проєкту:** 2020.01/0421

**Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок** (реєстраційний номер Проєкту 2020.01/0421) «Прогнозування небезпечних впливів радіоактивно забруднених поверхневих вод і затоплення берегів: розвиток моделей та їх впровадження для зменшення наслідків надзвичайних ситуацій у м. Києві, спричинених водами р. Дніпро»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Наука для безпеки людини та суспільства» протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21

### 1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту

Початок – 07.10.2020 - дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок;  
Закінчення – 15.12. 2021.

Загальна вартість Проєкту, грн. 5 746 825 грн. (п'ять мільйонів сімсот сорок шість тисяч вісімсот двадцять п'ять) гривень.

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 2 063 625 грн. (два мільйони шістдесят три тисячі шістсот двадцять п'ять гривень)  
2-й рік 3 683 200 грн. (три мільйони шістсот вісімдесят три тисячі двісті гривень).

### 2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту було залучено 17 виконавців, з них:

доктори наук 2;  
кандидати наук 4;  
інші працівники 11.

### 3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

м.Київ-187, просп. Академіка Глушкова, 42 , код за ЄДРПОУ 05417503, КВЕД 054175026503

## **ОРГАНІЗАЦІЯ СУБВИКОНАВЦЯ ПРОЄКТУ**

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, код за ЄДРПОУ 02572508, КВЕД 025725026502

До виконання Проєкту було залучено 5 виконавців.

## **4. ОПИС ПРОЄКТУ**

### **4.1. Мета Проєкту**

Створення високопродуктивних комп'ютеризованих систем підтримки прийняття рішень для оперативного прогнозування радіаційного стану поверхневих вод і затоплення річкових берегів для м. Києва.

### **4.2. Основні завдання Проєкту**

- Польові і лабораторні дослідження змін в динаміці чорнобильських радіонуклідів у системах «вода – донні відклади» та в гідробіонтах ВО ЧАЕС і Київського водосховища;
- Розвиток відповідних моделей переносу і гідроекологічних моделей;
- Створення нових Систем підтримки прийняття рішень (СППР) прогнозування і оцінки ризиків шкідливих впливів вод Дніпра на населення і інфраструктуру Києва.

### **4.3. Детальний зміст Проєкту:**

- Сучасний стан проблеми

Після аварії на ЧАЕС в ІПММС розроблялися моделі різної розмірності для розрахунків радіоактивного забруднення водних систем. Вони інтегрувались в гідрологічний модуль Європейської системи прогнозування наслідків радіаційних аварій RODOS. З 1986 року здійснювались польові та експериментальні дослідження поведінки радіонуклідів у гідрологічних системах зони відчуження та Київського водосховища.

- Новизна Проєкту

В Проєкті отримані нові дані про концентрації радіонуклідів у ВО ЧАЕС та в Київському водосховищі. Розроблена моделююча система прогнозування радіаційного стану поверхневих вод при затопленнях забруднених територій та проведенні днопоглиблювальних робіт. Проведені деталізовані розрахунки зон затоплень прибережної забудови м. Києва для сценаріїв екстремальних повеней і руйнування греблі ГЕС.

- Методологія дослідження

Проби з Київського водосховища, р. Прип'ять і ВО ЧАЕС відбирались з науково-експедиційних плавзасобів і вимірювались в лабораторіях УкрГМІ. Розрахунки проводились моделями на основі методи паралельних обчислень на багатопроцесорних системах і графічних платах. Створення нових СППР здійснювалось з використанням Java технології розподілених об'єктів-обгорт.

## **5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:**

### **5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)**

В рамках реалізації Проєкту отримані такі наукові та технічні результати:

1. Опрацьовано і систематизовано результати лабораторних досліджень проб води, донних відкладів і гідробіонтів, відібраних під час експедицій жовтня 2020 р. і червня 2021 р. у Київському водосховищі, на заплаві р. Прип'ять та у ВО ЧАЕС. Експериментально визначено відповідні концентрації радіонуклідів станом на 2020 і 2021 роки, а також сучасні значення параметрів обміну радіонуклідів у системах «вода – донні відклади», які використовувались для налаштування математичних моделей.
2. Розраховані щільності випадання радіонуклідів на водойми під час лісових пожеж в ЗВ 2015 і 2020 років та у випадку сценарію з метеорологічними умовами, які сприяють максимальному радіологічному впливу на населення через водні шляхи переносу радіонуклідів. За допомогою математичного моделювання показано, що у випадку реальних лісових пожеж не очікується значного підвищення концентрації радіонуклідів у воді, що

свідчить про низький ризик ураження населення радіонуклідами через питну воду під час пожеж в ЗВ. При модельному «несприятливому» сценарії ці значення можуть бути значно вищими, проте вони є набагато меншими, ніж допустимі норми для питної води.

3. Двовимірну модель змиву радіонуклідів налаштовано для заплави р. Прип'ять із урахуванням сучасних значень параметрів взаємодії води з ґрунтами заплави, визначеними за даними досліджень відповідних проб 2020-2021 років. Проведено розрахунки переносу радіонуклідів для гіпотетичних сценаріїв прориву захисних лівобережних дамб в районі заплави р. Прип'ять. Найвищі концентрації  $^{90}\text{Sr}$  в Прип'яті отримано для сценарію прориву лівобережної дамби при повені 35% забезпеченості.
4. Розроблено нову версію моделі COASTOX для паралельних розрахунків на графічних процесорах GPU. Показано, що використання нових графічних процесорів NVIDIA з високими показниками продуктивності і пропускної здатності пам'яті дозволяє проводити розрахунки швидше, ніж на робочій станції з багатоядерними процесорами Intel Xeon. За допомогою набору тестів показано, що модель здатна вірно відтворювати процеси затоплення і осушення заплави із складним рельєфом, переливання потоку води через перешкоди, поширення хвилі паводку при прориві дамб, взаємодію хвилі прориву зі спорудами та збурення позаду споруд та ін.
5. За результатами проведених польових та лабораторних досліджень води, донних відкладів та гідробіонтів, а також систематизації наявних даних показано, що в результаті зниження рівня води у ВО ЧАЕС відбулося незначне підвищення концентрації  $^{137}\text{Cs}$  у всіх частинах водойми, тоді як концентрація  $^{90}\text{Sr}$  підвищилась нерівномірно з максимумом у північній частині ВО при незначних змінах в концентрації радіонуклідів у донних відкладах. Ці дані були використані для калібрування нової моделі стану ВО POSEIDON-F, результати якої узгоджуються з даними вимірювань 1986-2020 років. Розроблена модель дозволила прогнозувати стабілізацію концентрацій радіонуклідів в ВО в найближчі роки на нових значеннях, які дещо перевищують відповідні концентрації до початку зниження рівня води.
6. Здійснено налаштування двовимірної моделі COASTOX і камерної моделі POSEIDON-F на Київське водосховище для оцінок потенційного радіоактивного забруднення водного середовища у результаті виносу радіонуклідів з р. Прип'ять при високих повенях та можливих роботах з днопоглиблення. Показано, що при високих повенях з одночасним руйнуванням захисних дамб на заплаві р. Прип'ять може спостерігатися деяке підвищення концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у воді і в рибі у всьому водосховищі, хоча загалом рівень забруднення є нижчим гранично допустимої концентрації, згідно "Допустимих рівнів вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді" (ДР-97). Для розглянутих сценаріїв днопоглиблення продемонстровано, що за рахунок порушення верхнього шару донних відкладів водосховища можуть мати місце лише незначні локальні підвищення концентрації радіонуклідів в місцях днопоглиблення, що не може негативно вплинути на радіаційну безпеку водокористування населенням.
7. Двовимірну модель COASTOX налаштовано для деталізованих розрахунків зон затоплень м. Києва у результаті весняних повеней різної забезпеченості та сценаріїв руйнування греблі Київської ГЕС з використанням сучасних цифрових карт прибережної забудови та топографії м. Києва. Здійснено оцінки ризиків затоплення потенційно небезпечних об'єктів в залежності від імовірності і глибини затоплення з використанням ГІС-технологій.
8. Результати, отримані під час виконання проекту, частково опубліковані у 3 наукових статтях у міжнародних журналах (*Journal of Environmental Radioactivity*, *Biogeosciences*, *Marine Pollution Bulletin*) та були представлені у 5 доповідях на наукових конференціях. Одна стаття в збірнику праць видавництва *Springer* прийнята до публікації. Ще 2 статті за результатами виконання проекту подані для публікації в міжнародний журнал *Water*.

## 5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

У результаті лабораторного аналізу проб води, донних відкладів та гідробіонтів, було отримано актуальні концентрації забруднення у зоні відчуження і в Київському водосховищі, а також нові значення параметрів обміну радіонуклідів у системах «вода – донні відкладення» на

заплаві р. Прип'ять та у ВО ЧАЕС (попередній раз роботи з визначення параметрів обміну виконувались у 90-х роках XX століття).

Моделі RIVTOX, RETRACE та COASTOX були налаштовані для роботи в середовищі СППР RODOS в режимі ланцюжка для моделювання переносу нуклідів в р. Прип'ять та Київському водосховищі з використанням нових даних щодо фізичної кінетики радіонуклідів (аналогів немає).

Розроблена модель POSEIDON-F, параметри якої налаштовані для прісноводного середовища, вперше дозволить одночасно описувати динаміку радіонуклідів у воді, донних відкладах та гідробіонтах ВО ЧАЕС з унікальною деталізацією, що вирішує існуючу проблему коротко- і довгострокового прогнозування змін концентрацій радіонуклідів в водоймі-охолоджувачі.

Версія двовимірної моделі розрахунку зон затоплень з використанням паралельних розрахунків на графічних процесорах GPU, розроблена в ході виконання Проєкту, дає прискорення розрахунків у порівнянні з класичним методом паралельних розрахунків на Робочій станції з багатоядерним процесором у 8,59 разів (167 разів порівняно з непаралельними розрахунками).

### **5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)**

У результаті виконання Проєкту створені програмні комплекси прогнозування і оцінки ризиків шкідливих впливів вод верхів'я української частини Дніпра і р. Прип'ять на населення і інфраструктуру м. Києва та персонал, що працює в зоні відчуження (ЗВ) ЧАЕС, а саме:

- нова СППР прогнозування динаміки радіонуклідів в екосистемах водойм, щойно сформованих на місці ВО ЧАЕС при його частковому осушенні, переносу радіонуклідів річкою Прип'ять та прогнозування динаміки підвищення радіоактивного забруднення вод Дніпра біля Києва в результаті високих повеней на Прип'яті, можливого руйнування захисних дамб біля ЧАЕС та днопоглиблення в Київському водосховищі (Практична цінність визначається отриманням науково обґрунтованих оцінок радіаційних ризиків для персоналу при плануванні подальшої технічної активності в ЗВ, для населення регіону м. Києва від водного фактору при реалізації інженерних проєктів у водних системах і в надзвичайних ситуаціях, відповідних публікацій в наукових виданнях та в мас-медіа).
- нова СППР з розрахунків затоплень берегової забудови м. Києва під час високих повеней і при сценаріях руйнування греблі Київської ГЕС (Практична цінність визначається збереженням здоров'я і життя населення в зонах потенційних затоплень своєчасним попередженнями населення про загрози на основі використання моделюючої системи в оперативних режимах).

### **5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.**

СППР RODOS, гідрологічний модуль якої (ГМ) розроблено в ІПММС, протягом 2012-2016 років встановлена в кризових центрах Держатомрегулювання, Центрі прогнозування наслідків радіаційних аварій УГМЦ ДСНС і ДСП Екоцентр ДАЗВ м. Чорнобиль. Результати даного Проєкту суттєво підсилюють прогностичні можливості ГМ RODOS, оскільки тепер в моделях ГМ використовуються нові значення коефіцієнтів обмінів, визначені на основі даних вимірювань у 2020-2021 рр. Нова СППР дозволить отримувати не лише оцінки впливу високих повеней на радіоактивне забруднення, але й аналізувати радіаційні впливи днопоглиблення та інших інженерних проєктів, зокрема транспортного коридору Е-40. Тому саме перелічені вище державні установи, де вже встановлено систему RODOS, стануть першими користувачами нової СППР. За результатами виконання Проєкту СППР радіоактивного забруднення Київського водосховища та система прогнозування змін концентрації радіонуклідів у ВО ЧАЕС встановлені в Центрі прогнозування наслідків радіаційних аварій УГМЦ.

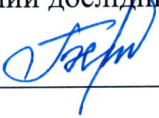
Оперативним прогнозуванням зон затоплень в м. Києві в системі державного управління займається Відділ гідропрогнозів УГМЦ ДСНС, представники якого є членами команди проєкту. Вони є вмотивованими покращити розроблену технологію моделювання після ознайомлення з її прототипом. За результатами Проєкту нова швидкісна СППР на GPU процесорах встановлена в УГМЦ для оперативного прогнозування кожної весняної повені на Дніпрі. Після цього можливі

модифікації системи для інших міст України, що мають загрози затоплень, з установкою СППР у регіональних прогностичних центрах УГМЦ. Крім того, СППР може бути використана для зонування території на можливість затоплень в неоперативному режимі – для впровадження результатів в Генплан розвитку Києва та інших міст. В перспективі система буде корисна для ДСНС, яка нещодавно стала відповідальною за розроблення Планів управління ризиками затоплення (ПУРЗ) у відповідності до Паводкової Директиви ЄС 2007/60/ЄС та статті 107 Водного Кодексу України (Постанова КМ України 4.04.2018).

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

**Науковий керівник Проєкту**

С.н.с., старший дослідник, д.т.н.



Роман БЕЖЕНАР

(підпис)