

Виявлення рутенію-106 у вересні–жовтні 2017 року: звідки могло потрапити забруднення?

Про те, які об'єкти могли стати джерелами викиду рутенію-106, зафіксованого у вересні–жовтні поточного року, в своїй статті спеціально для веб-сайту Національної академії наук України пишуть завідувач відділу інформатики навколишнього середовища Інституту проблем математичних машин і систем (ІПММС) НАН України доктор технічних наук Іван Ковалець і заступник начальника цеху радіаційної безпеки Рівненської атомної електростанції (РАЕС) Олександр Романенко.

У кінці вересня та на початку жовтня 2017 року практично в усіх європейських країнах, а також на території Кувейту, у східній частині Росії було зафіксовано концентрації рутенію (Ru-106), що перевищували нижній поріг детектування [1]. Зафіксовані концентрації не сягали небезпечних значень (згідно з Нормами радіаційної безпеки України, порогове значення становить $0,5 \text{ Бк/м}^3$). Але рутеній-106 не зустрічається в природних умовах, тому фіксація цього радіонукліду на значних територіях спричинила неабияке занепокоєння серед громадськості й фахівців.

В ІПММС НАН України (керівник групи дослідників – доктор технічних наук І. Ковалець) спільно з О. Романенком (РАЕС) і за сприяння Державної інспекції ядерного регулювання України (ДІЯРУ) й Українського гідрометеорологічного центру (Укргідрометцентру) було проаналізовано найбільш імовірні шляхи атмосферного транспортування рутенію. Попередні результати даного аналізу, отримані на підставі неповного набору вимірів (20 значень), публікувалися раніше в постах (дописах) у соціальних мережах Facebook і LinkedIn [2,3]. Опубліковані результати викликали зацікавлення значного кола вітчизняних і зарубіжних фахівців. Автори отримали публічні та приватні відгуки й коментарі з Укргідрометцентру, ДІЯРУ, Інституту ядерної та радіаційної безпеки Франції (IRSN), Федерального офісу радіаційної безпеки (BFs, Німеччина), Університету Відня (Австрія), Шведського гідрометеорологічного інституту й інших організацій. У багатьох коментарях висловлювалося побажання з приводу використання ширшого кола вимірів – для уточнення результатів щодо можливих джерел рутенію.

У представлених нижче розрахунках використано дані станцій (усього 96 значень), показаних на рис. 1. На переважній більшості з них зафіксовано рутеній. Тому ця ілюстрація дає уявлення про горизонтальні масштаби розповсюдження рутенію, яке охоплювало практично всю Євразію – від Німеччини до Східного Сибіру та від Норвегії до Кувейту. При цьому точки наявних спостережень (доступних авторам даного дослідження) розподілені вкрай нерівномірно. На території Західної і Центральної Європи, а також України даних багато, тоді як на території Росії наявні переважно дані станцій Міжнародної системи моніторингу Договору про всеосяжну заборону ядерних випробувань (СТВТ). Ненульові значення зафіксовано в Дубні, Кірові, Залесовому (Алтайський край), Пеледуї

(Якутія). Використовувалися також деякі дані Росгідромету й Росатому, але це переважно нульові значення, отримані в Єкатеринбурзі, Обнінську, Мурманську.

Для розрахунків використано європейську систему ядерного аварійного реагування РОДОС [4], яку останніми роками було впроваджено в Україні [5]. В систему РОДОС включено модель далекого перенесення MATCH, здатну розраховувати атмосферне перенесення радіонуклідів у глобальному масштабі на відстані до десятків тисяч кілометрів [6,7]. Як вхідні дані модель може використовувати, в тому числі, глобальні дані прогнозу погоди Національного центру прогнозування навколишнього середовища США (NCEP), котрі вільно розповсюджуються через Інтернет і використовувались у даній роботі. Методика аналізу можливих джерел рутенію базується на розв'язанні спряжених рівнянь атмосферного перенесення за допомогою методу, описаного в роботі [8], який дає змогу побудувати функцію чутливості «джерело – рецептор» у табульованій формі (див., наприклад, [9]).



Рис. 1. Місця розташування станцій, які було використано для аналізу можливих наземних джерел рутенію

Невідомим є не лише місце розташування викиду, а й час, тривалість, висота, потужність викиду. В даній роботі аналіз обмежено *наземними* викидами, висота яких не перевищує 100 м від поверхні Землі. Для аналізу тривалості, часу й місцезнаходження викиду використано метод, аналогічний методіві [10], в якому розраховується коефіцієнт кореляції розрахованих і вимірянних концентрацій для

всіх джерел, розташованих у вузлах розрахункової сітки та в межах певного часового проміжку. Обираються ті джерела, для яких отримана кореляція є максимальною. В розрахунках використано такі параметри: просторова розрізненість розрахункової сітки – 1 град., межі сітки – 3-90 сх. д. та 30-70 град. п.ш.; часовий проміжок, у межах якого припускалася дія джерела, – від 24 вересня до 2 жовтня 2017 р.; розглянуті тривалості дії джерел – 3, 6, 12, 24 год, а часовий крок аналізу можливих джерел – 3 год. Для кожного джерела після розрахунку коефіцієнта кореляції аналізується потужність викиду.

На рис. 2 представлено просторовий розподіл максимального коефіцієнта кореляції розрахунків і вимірів, що відповідає розташуванню джерела у відповідній точці. Можна припустити, що розташування джерела в цій точці є тим імовірнішим, що більший досягається коефіцієнт кореляції. З ілюстрації видно, що досить високі значення коефіцієнту кореляції (0,6, світло-рожевий колір) можна отримати при розташуванні джерел на дуже значних територіях. Але, як правило, під час моделювання в масштабі кількох тисяч кілометрів розрахунки характеризуються кращими значеннями коефіцієнту кореляції (0,7–0,8) [7]. Тому розташування джерела на територіях, позначених світло-рожевим кольором, є малоймовірним.



Рис. 2. Просторовий розподіл максимального коефіцієнта кореляції розрахунків і вимірів, що відповідає розташуванню джерела у відповідній точці. Показано такі ізолінії коефіцієнта кореляції: 0,6; 0,7; 0,75; 0,8. Максимальне значення: 0,81

Коефіцієнт кореляції досягає значення 0,7 у двох точках на території України. Аналіз результатів зворотного моделювання свідчить про те, що

практично для всіх європейських станцій, де було виявлено рутеній, трубка ймовірних шляхів атмосферного транспорту дійсно перетинає територію України (рис. 3). Цей факт пояснює відому з приватних повідомлень, а також зі ЗМІ [11] інформацію, що деякі фахівці на початкових етапах аналізу вважали територію України ймовірним джерелом надходження рутенію. Таку гіпотезу спростовує аналіз зворотного моделювання для станцій Залєсово (Алтайський край, РФ) і Пеледуї (Якутія, РФ), згідно з яким атмосферні шляхи потрапляння рутенію на ці станції не пролягають територією України (рис. 4).

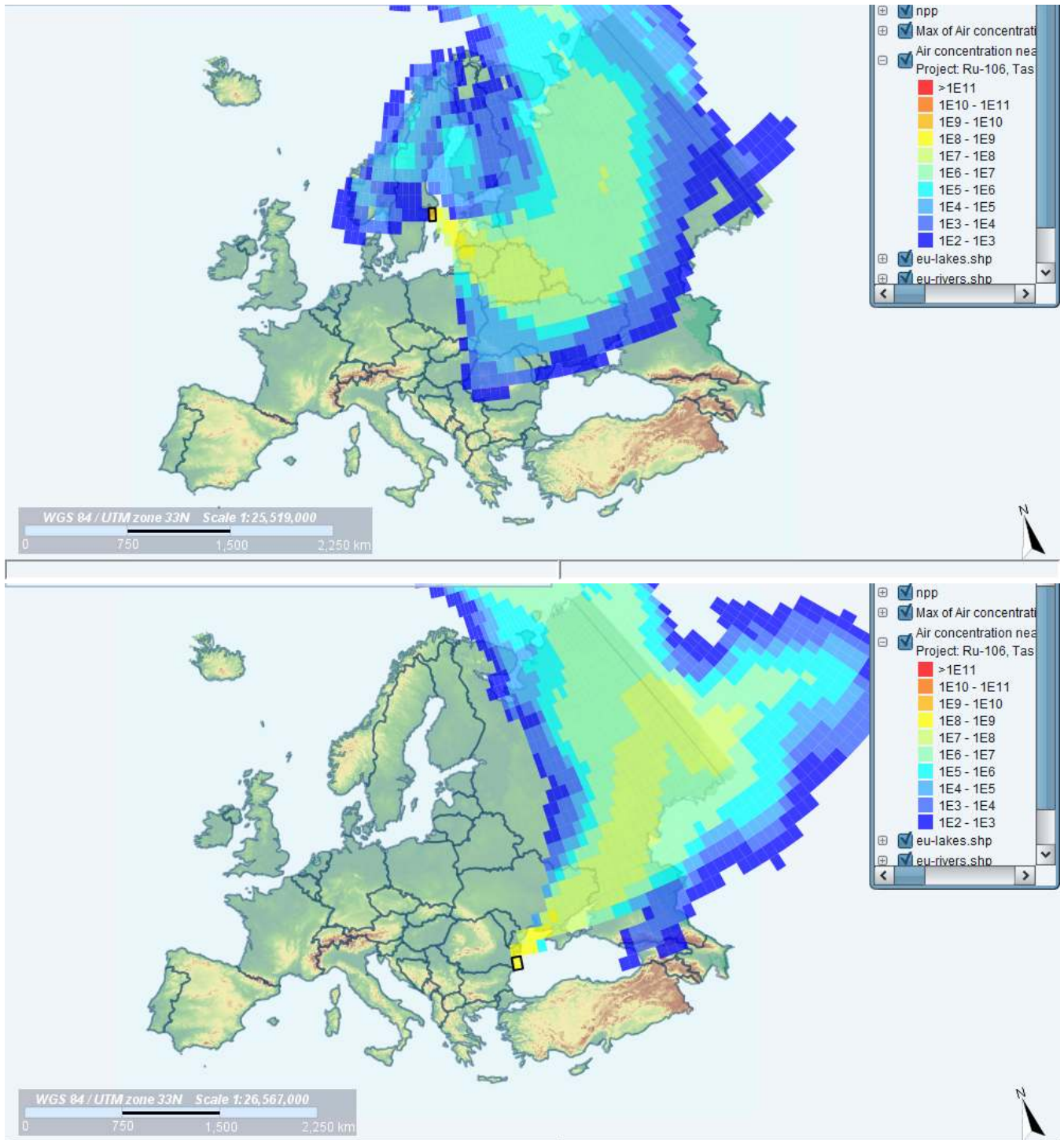


Рис. 3. Зворотнє моделювання розповсюдження рутенію-106, зафіксованого станціями у Стокгольмі (Швеція) 30.09.2017 р. (вгорі) та у Констанці (Румунія) з 28 по 30.09.2017 р. (внизу). Колір відповідає чутливості виміру до джерела, розташованого в даній точці. Зафарбована територія в цілому дає «трубку можливих траєкторій» потрапляння забруднювача у точку виміру

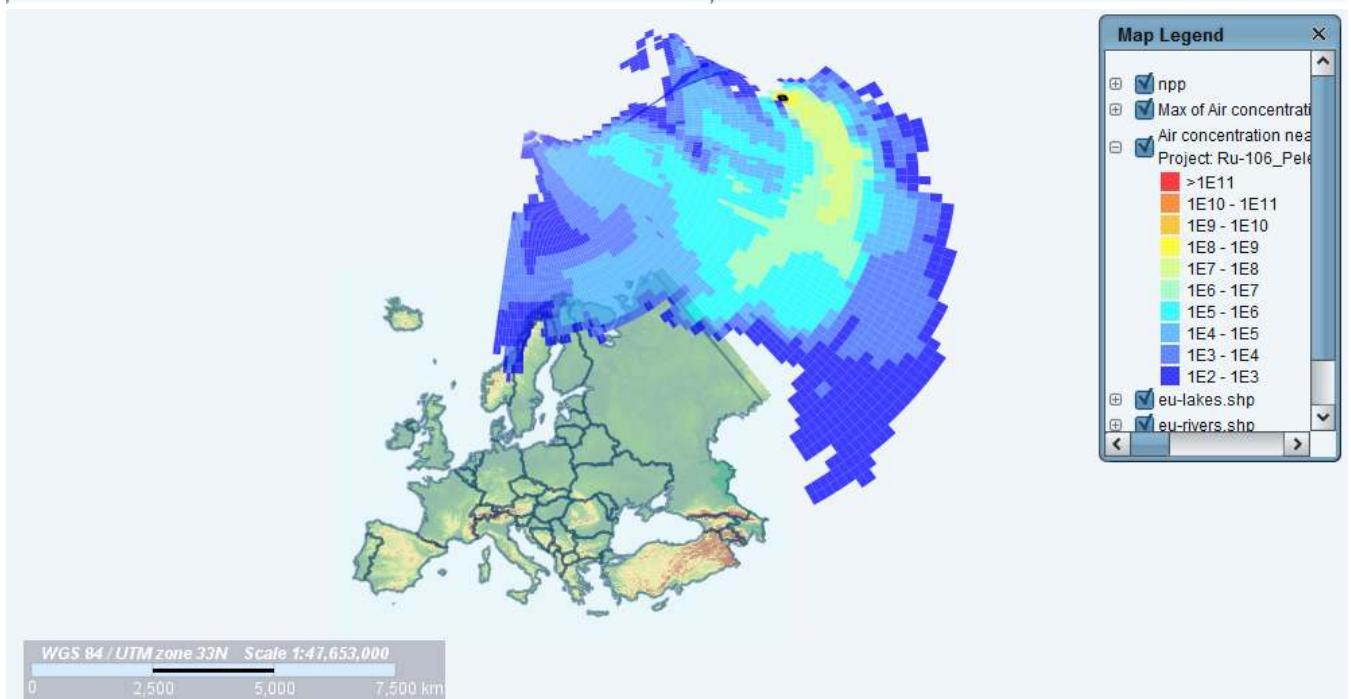
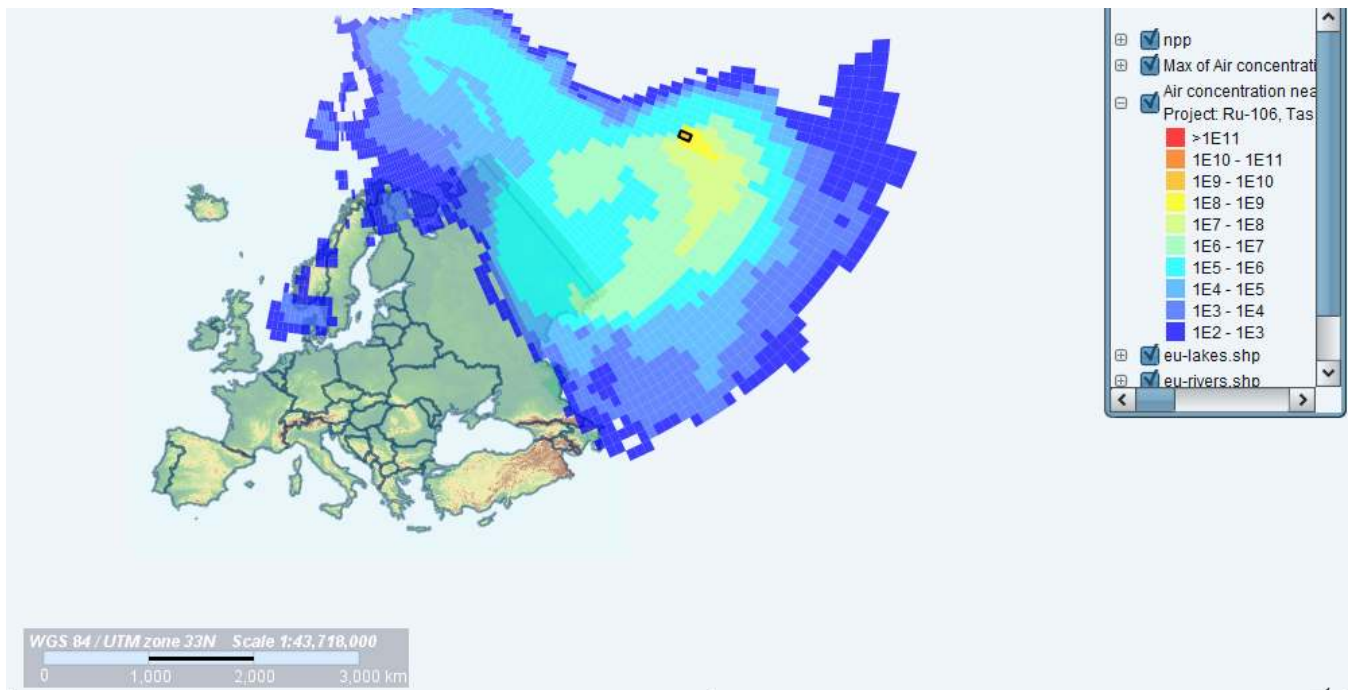


Рис. 4. Зворотнє моделювання розповсюдження рутенію-106, зафіксованого станціями в Залесово (Алтайський край, РФ) 02.10.2017 р. (вгорі) та в Пеледуї (Якутія, РФ) 04.10.2017 р. (внизу). Колір відповідає чутливості виміру до джерела, розташованого у даній точці. Зафарбована територія в цілому дає «трубку можливих траєкторій» потрапляння забруднювача у точку виміру

Область найбільших значень коефіцієнта кореляції (а отже, й імовірності викиду) розташовується на Уралі та прилеглих територіях на півдні Росії (рис. 2). Цей висновок підтверджується оцінками закордонних спеціалістів [12, 13]. Навіть нульові концентрації, за даними вимірів у Єкатеринбурзі, не перешкоджають досягненню значних коефіцієнтів кореляції у згаданому регіоні, оскільки нульові концентрації є осередненими за 10 діб. Таким чином, осереднене за значний строк значення може виходити за межі порогу детектування (близько 1 мкБк/м³). Територія можливого викиду є дуже значною. Це пов'язано з дуже низькою щільністю вимірів у регіоні. Діапазон оцінок обсягу викиду для можливих джерел, розташованих на цій території, коливається від ~1ТБк до ~1 ПБк. Точніша

ідентифікація джерела викиду потребує використання додаткових вимірів, особливо для територій Уралу та прилеглих регіонів РФ.

Як приклад на рис. 5 представлено розрахунок інтегральної концентрації рутенію-106 у повітрі (мкБк·год/м³), унаслідок гіпотетичного викиду 1,5 ПБк Ru-106 у Челябінську-40. Період розрахунку: 24.09.2017, 06:00–08.10.2017, 00:00. У представленому випадку територія, охоплена помітними концентраціями рутенію, задовільно узгоджується з даними вимірів. Більше того, території, де, згідно з розрахунком, концентрації є нульовими, здебільшого також узгоджуються з даними вимірів (Єкатеринбург, Обнінськ, станції на території Франції тощо). Але представлений розрахунок є лиш одним із численних можливих сценаріїв викидів.

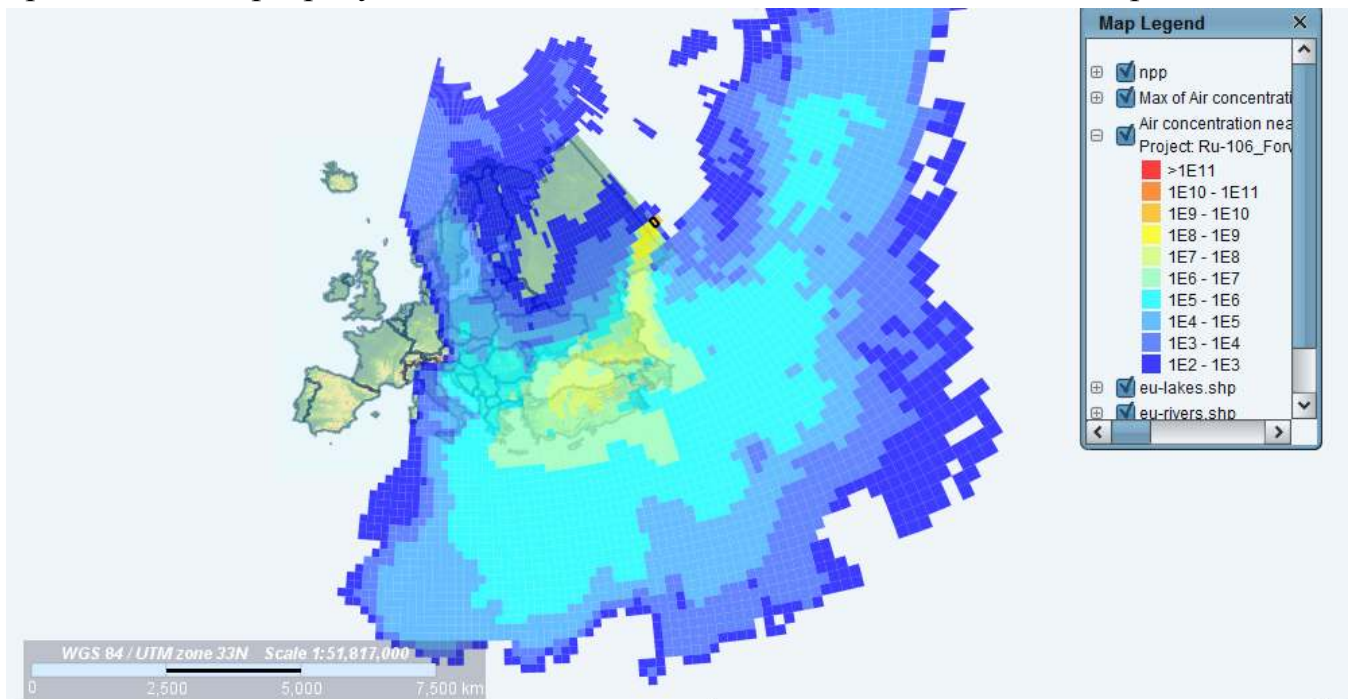


Рис. 5. Розрахована інтегральна концентрація Ru-106 у повітрі (мкБк·год/м³) унаслідок гіпотетичного викиду в Челябінську-40. Час початку викиду: 24.09.2017, 06:00, тривалість – 12 год., обсяг викиду – 1,5 ПБк. Період розрахунку: 24.09.2017, 06:00–08.10.2017, 00:00

На підставі вищенаведеного можна зробити висновок, що джерело викиду розташовувалося, найімовірніше, на території Уралу та прилеглих регіонів на півдні РФ. Обсяг викиду склав від ~1 ТБк до ~1ПБк. Без додаткових даних вимірювань, особливо на території Уралу та прилеглих регіонів Росії, неможливо точніше вказати місцезнаходження викиду.

Посилання.

1. <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/376746>
2. <https://www.linkedin.com/pulse/potential-sources-ruthenium-ivan-kovalets/>
3. <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=919033568251794&set=a.48468933168622.1073741827.100004354778384&type=3&theater>
4. <https://resy5.iket.kit.edu/>
5. http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=249152554
6. <http://dx.doi.org/10.1051/radiopro/2010036>
7. <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJEP.2014.065110>

8. https://www.researchgate.net/publication/317359018_SOLUTION_OF_THE_SOURCE_IDENTIFICATION_PROBLEM_WITH_USING_THE_JRODOS_MATCH
9. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378475411001686>
10. https://www.researchgate.net/publication/319748359_Inverse_identification_of_unknown_finite-duration_air_pollutant_releases_in_urban_environment
11. <https://www.2000.ua/v-nomere/derzhava/realii/bojtes-travu-polyn.htm>
12. http://www.irsn.fr/EN/newsroom/News/Pages/20171009_Detection-of-ruthenium-106-in-the-air-in-the-east-and-southeast-of-Europe.aspx
13. <https://www.bfs.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BfS/DE/2017/012.html>