

## **ЗАРОСТАННЯ ТА ЗАМУЛЕННЯ РУСЕЛ ЯК ВИХІДНИЙ ПАРАМЕТР У ПРОГНОСТИЧНІЙ МОДЕЛІ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МЕЛІОРАТИВНИХ КАНАЛІВ**

На прикладі одного з типових меліоративних каналів Чорнобильської зони відчуження оцінено вплив заростання та замулення русла на пропускну здатність та рівень води, що дозволило, враховуючи раніше отримані коефіцієнти вимивання, створити прогностичну модель вторинного радіоактивного забруднення поверхневих вод. Проведені розрахунки свідчать про визначальну роль деградації русел у формуванні об'ємної активності  $^{90}\text{Sr}$  у воді каналів зони відчуження.

### **Вступ**

Водне винесення  $^{90}\text{Sr}$  за межі Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) в р. Дніпро залишається чи не єдиним суттєвим джерелом формування колективної дози від опромінення радіонуклідами „чорнобильського” походження населення України за межами Поліського регіону. Тому пошуки ефективних, економічно виправданих засобів мінімізації водного винесення  $^{90}\text{Sr}$  за межі ЧЗВ не повинні припинятися.

Обсяги винесення радіонуклідів із водозборів залежать від водності року, тобто обумовлюються витратами та рівнями затоплення заплавл річок або укосів каналів [1, 2]. Концентрацію радіонуклідів у поверхневих водах визначають ті ж самі рівні затоплення в комплексі з іншими зовнішніми факторами (поглинаюча здатність ґрунту, рослинності та ін.), внутрішніми міграційними властивостями радіоактивних речовин, а також процесами (окремі з них також належать до зовнішніх факторів міграції) та джерелами вторинного забруднення вод [2]. Для ЧЗВ рівні затоплення та підтоплення водозборів переважно залежать від ступеню штучного зарегулювання та природної деградації русел, що проявляється через зменшення їх пропускну здатності. Тобто останнє викликає заболочення та утворення проточних затоплених ділянок на прилеглій до

водотоку території, що призводить до значного винесення радіонуклідів у найбільш багатоводні періоди [3, 4]. Дуже слабка проточність викликана як штучними (перекриття шлюзів-регуляторів на каналах, залишки фільтруючих перемичок), так і природними причинами (заростання та замулення русел після залишення меліоративних систем без нагляду). Саме ці фактори виділені нами як основні причини пасивної але постійної дії, що викликають перезволоження площ меліоративних систем у ЧЗВ [5]. Якщо ж до підтоплення призводять переважно чинники штучного походження, відповідні меліоративні системи відносяться до найбільш значущих осередків радіоактивного забруднення поверхневих вод (Чистогалівська, Усівська, Чапайівська осушувальні системи, Опачичі – Купувате, Уж-2).

### **Розрахунки пропускної здатності та рівня води в каналі при його замуленні та заростанні**

На залишених територіях з радіоактивним забрудненням головними причинами зменшення пропускної здатності приток р. Прип'ять та меліоративних каналів є зменшення площі їх діючого поперечного перерізу внаслідок деформацій відкосів, замулення та збільшення гідравлічної шорсткості через заростання русел рослинністю. За матеріалами проектної документації щодо проведення реконструкції меліоративної мережі в ЧЗВ, товщина замулення окремих каналів досягала на початок розчисток (1999-2000 рр.) 50-60 см, у середньому становлячи 15-20 см. Максимальні шари мулу спостерігалися перед перегороджувальними спорудами, які частково перекривають русло, створюючи підпори у верхніх б'єфах, а також у межах водосховищ, утворених бобровими греблями, що зустрічаються тут досить часто. Зменшення стоку і відповідно рівнів та швидкості течії в нижніх б'єфах таких гребель є додатковою причиною заростання русел меліоративних каналів.

Типовим об'єктом для дослідження ролі замулення та заростання було вибрано канал МК-1, що являє собою каналізоване русло р.Бережесь на осушувальній системі „Грезля”. Остання розташована на лівобережжі р. Уж Поліського району. Канал пройдено однаковим перерізом по всій довжині. Замулення каналу практично рівномірне по всій довжині каналу, за винятком верхніх б'єфів перегороджувальних споруд, де воно дещо зростає, досягаючи максимуму – 28 см. Порівняно з проектною, площа діючого (“живого”) перерізу каналу зменшилася на

1,25 м<sup>2</sup>, тобто на 17,7% (табл. 1). Із них 2,7% – внаслідок замулення на дні каналу, решта – за рахунок замулення бортів.

Таблиця 1

Параметри каналу МК-1 системи „Гребля” на ПК-21 до і після замулення

| Параметр                                         | До замулення | Після замулення | Різниця |
|--------------------------------------------------|--------------|-----------------|---------|
| Глибина, $h$ , м                                 | 1,65         | 1,46            | 0,19    |
| Площа живого перерізу, $\omega$ , м <sup>2</sup> | 7,10         | 5,84            | 1,26    |
| Змочений периметр, $\chi$ , м                    | 8,38         | 7,67            | 0,71    |
| Гідравлічний радіус, $R$ , м                     | 0,85         | 0,76            | 0,09    |

Відповідно до проектних даних, за умови роботи повним перерізом канал розрахований на пропуск витрати 8,83 м<sup>3</sup>/с. Внаслідок зменшення діючого перерізу каналу, його пропускна здатність зменшилася до 6,89 м<sup>3</sup>/с, тобто на 22% (табл. 2).

Таблиця 2

Пропускна здатність каналу при роботі повним перерізом до і після замулення залежно від коефіцієнту шорсткості русла,  $n$

| Коефіцієнт шорсткості, $n$ | До замулення           |                        |                                    | Після замулення |       |       | Різниця     |             |             |                |
|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|----------------|
|                            | Коефіцієнт Шезі, $C_0$ | Швидкість, $V_0$ , м/с | Витрата, $Q_0$ , м <sup>3</sup> /с | $C_t$           | $V_t$ | $Q_t$ | $C_0 - C_t$ | $V_0 - V_t$ | $Q_0 - Q_t$ | $\Delta Q$ , % |
| 0,026                      | 37,43                  | 1,24                   | 8,83                               | 36,74           | 1,18  | 6,89  | 0,69        | 0,06        | 1,94        | 22,0           |
| 0,035                      | 27,8                   | 0,92                   | 6,56                               | 27,29           | 0,86  | 5,02  | 0,51        | 0,06        | 1,54        | 23,5           |
| 0,050                      | 19,46                  | 0,65                   | 4,59                               | 19,10           | 0,61  | 3,56  | 0,36        | 0,04        | 1,09        | 22,4           |
| 0,10                       | 9,73                   | 0,31                   | 2,2                                | 9,55            | 0,3   | 1,75  | 0,18        | 0,01        | 0,47        | 20,5           |
| 0,15                       | 6,48                   | 0,22                   | 1,53                               | 6,37            | 0,2   | 1,17  | 0,11        | 0,02        | 0,36        | 23,5           |

Окрім замулення, суттєво впливає на зменшення пропускної здатності меліоративних каналів, особливо в осінньо-літній період, заростання каналу рослинністю, внаслідок чого значно зростає коефіцієнт гідравлічної шорсткості русла. На меліоративних каналах ЧЗВ це має особливе значення, оскільки в результаті припинення експлуатаційних робіт зменшення пропускної здатності каналів призвело до підйому рівнів води у багатоводні періоди року і затоплення забруднених радіонуклідами укосів. І хоча протягом усього меженного літньо-осіннього періоду рівні невисокі, течія в багатьох каналах практично

відсутня, що значно стримує самоочищення поверхневих, а на ділянках підпорів – і ґрунтових вод.

Заростання укосів каналів призводить до утворення „мертвого простору” (застійної течії) вздовж берегів, а заростання дна каналів обумовлює зменшення швидкості потоку в середній частині живого перерізу каналів, що в меженний період є причиною різкого зменшення стоку. На каналі МК-1 системи „Гребля” ширина „мертвого простору” по урізу водної поверхні зі сторони правого берега становила 1,6 м, а зі сторони лівого берега – 2,85 м. При цьому часткове заростання русла спостерігалось по всьому перерізу. У цілому при загальній площі водного перерізу каналу 3,79 м<sup>2</sup> площа „живого перерізу” становила 1,64 м<sup>2</sup>, тобто 43,3%. Подібна ситуація спостерігалась і на інших каналах.

Питання оцінки пропускної здатності при заростанні меліоративних каналів досить складне і ще недостатньо вивчене, що пов'язано з відсутністю достовірних методів визначення коефіцієнта шорсткості ( $n$ ). Детальні натурні дослідження з даного питання проводилися переважно на великих меліоративних каналах. На зарослих малих річках значення  $n$  зростає в 3-7,5, а інколи і в 30 разів [6]. Очевидно, що коефіцієнт шорсткості, у першу чергу, залежить від параметрів русла, його стану і характеристик рослинності.

Найбільші ускладнення при розробці теоретичних методів розрахунку коефіцієнта шорсткості зарослих русел пов'язані з відсутністю оцінок опору водної рослинності рухові водного потоку (втрат енергії потоку) за її густотою, ступенем занурення, товщиною занурених частин, з урахуванням видового складу, умов обтікання, гнучкості та ін. Протягом року коефіцієнт шорсткості русла збільшується з ростом маси рослин, а починаючи з осені – зменшується в міру старіння і зриву потоком однолітньої водної рослинності. Так, за даними Є.О.Леонова [7], впродовж вегетаційного періоду значення  $n$  змінюються в 5 і більше разів.

Існує ряд таблиць для визначення коефіцієнтів шорсткості, які в діапазоні зарослих русел суттєво відрізняються. У СНіП "Мелиоративные системы и сооружения" (1986) рекомендацій для зарослих земляних каналів немає, а для каналів із задернованими укосами та дуже повільною течією рекомендується максимальне значення  $n$ , що дорівнює 0,035. Дещо вищі значення у своїх таблицях приводять М.М.Павловський і М.Ф.Срібний (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння коефіцієнтів шорсткості для зарослих земляних русел

| Автор                                                     | Характеристика русла                                                     | $n$        |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| М.М.Павловський                                           | Канали і річки в поганому стані (каміння і водорості)                    | 0,035      |
|                                                           | Канали і річки в дуже поганому стані (густе коріння, обвали, лепеха)     | 0,040      |
| М.Ф. Срібний                                              | Річки значно зарослі, зі слабкою течією і великими вимоїнами             | 0,067      |
|                                                           | Річки болотного типу, зарослі, із застійною водою                        | 0,100      |
| ДБН В.2.4-1-99<br>Меліоративні системи та споруди, 2001р. | Канали водозбірно-скидної мережі в нормальному стані: при $1 < Q < 25$ , | 0,025      |
|                                                           | $Q < 1$                                                                  | 0,030      |
|                                                           | Зарослі ділянки річок із дуже повільною течією і глибокими вимоїнами     | 0,05-0,08  |
|                                                           | Зарослі ділянки річок болотного типу (зарослі, стояча вода та ін.).      | 0,075-0,15 |

Найбільші значення  $n$  наведено в ДБН України [8]. Це значною мірою виправдано і підтверджується натурними дослідженнями. Значення  $n$  при розрахунках пропускної здатності каналів доцільно використовувати в межах наведеного діапазону (0,05-0,15) диференційовано, залежно від форми і параметрів русла та фази розвитку рослинності (пори року). Зокрема, під час проходження весняної повені, коли русла каналів майже вільні від рослинності, необхідно брати мінімальне значення  $n$  у межах визначеного діапазону. При цьому необхідно враховувати, що під час проходження весняного льодоходу і повені залишки рослинності не завжди виносяться з русел повністю. Як показали спостереження на меліоративних каналах Поліського району, після весняного водопілля в руслі залишається значна кількість зів'ялої рослинності з досить міцною кореневою системою. Це характерно тільки для рослин, коренева система яких знаходиться на дні або в нижній частині укосів каналів і, очевидно, на каналах, що не промерзають на всю глибину.

Розрахунки пропускної здатності меліоративних каналів при різних значеннях коефіцієнта шорсткості виконано на прикладі каналу МК-1 меліоративної системи „Грезля” за відомою формулою Шезі-Манінга.

Значення коефіцієнта  $n$  вибрано 0,027 (канали в нормальних умовах експлуатації з незначним заростанням); 0,05 (нижня межа для зарослих русел, згідно ДБН) і 0,1. Діапазон витрат прийнято від 0,16 до 0,61, як для літньо-осіннього періоду (табл. 4).

Таблиця 4

Пропускна здатність каналу МК-1 залежно від коефіцієнта шорсткості

| Витрата,<br>$Q$ , м <sup>3</sup> /с | Коефіцієнт<br>шорсткості,<br>$n$ | Глибина<br>максимальна, $h$ ,<br>м | Гідравлічний<br>радіус, $R$ , м | Площа<br>поперечного<br>перерізу, $w$ , м |
|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 0,16                                | 0,027                            | 0,25                               | 0,15                            | 0,375                                     |
|                                     | 0,05                             | 0,35                               | 0,23                            | 0,595                                     |
|                                     | 0,1                              | 0,49                               | 0,31                            | 0,970                                     |
| 0,41                                | 0,027                            | 0,4                                | 0,26                            | 0,720                                     |
|                                     | 0,035                            | 0,47                               | 0,29                            | 0,912                                     |
|                                     | 0,05                             | 0,56                               | 0,34                            | 1,187                                     |
|                                     | 0,1                              | 0,77                               | 0,44                            | 1,956                                     |
| 0,61                                | 0,027                            | 0,5                                | 0,31                            | 1,000                                     |
|                                     | 0,05                             | 0,67                               | 0,39                            | 1,598                                     |
|                                     | 0,1                              | 0,92                               | 0,51                            | 2,650                                     |

Дані таблиці свідчать про те, що зі збільшенням значення коефіцієнта шорсткості відбувається суттєве зростання площі поперечного перерізу та глибини потоку. Хоча площа діючого (живого) перерізу при цьому зменшується. Отримані результати розрахунку підтверджуються натурними спостереженнями.

Таким чином, замулення і заростання водотоків є режимотворчими чинниками, що визначають пропускну здатність русла. Далі розглянемо їх значення у формуванні якісного складу поверхневого стоку.

#### **Визначення зв'язку між рівнем води в каналі та об'ємною активністю $^{90}\text{Sr}$**

З наведених вище розрахунків випливає, що при збільшенні витрат на 280% (або у 3,8 разу) під час літнього паводка, рівні води в каналі можуть збільшитись в 2...3,7 разу, залежно від коефіцієнта шорсткості русла каналу, значення якого зумовлюється ступенем заростання та замулення каналу. Очевидно, що такий підйом рівня води в каналах меліоративних систем, розташованих на радіоактивно забруднених територіях, призведе до змиву частини радіонуклідів із ґрунтів на укосах і

вторинного забруднення води. Тобто рівень радіоактивного забруднення укосів визначатиме вміст радіонуклідів у водотоці через процеси вимивання при затопленні та змиві при стіканні атмосферних опадів. При цьому максимальне надходження  $^{90}\text{Sr}$  відбувається з верхньої, тобто найрідше затоплюваної частини суходолів [2]. Зрозуміло, що чим вище підніметься рівень води в каналі, тим більше  $^{90}\text{Sr}$  надійде у воду. Це підтверджується спостереженнями на зарослих каналах з невеликими площами водозбору (до 100 км<sup>2</sup>). До таких належить і канал МК-1 осушувальної системи „Грезля” (рис.1).

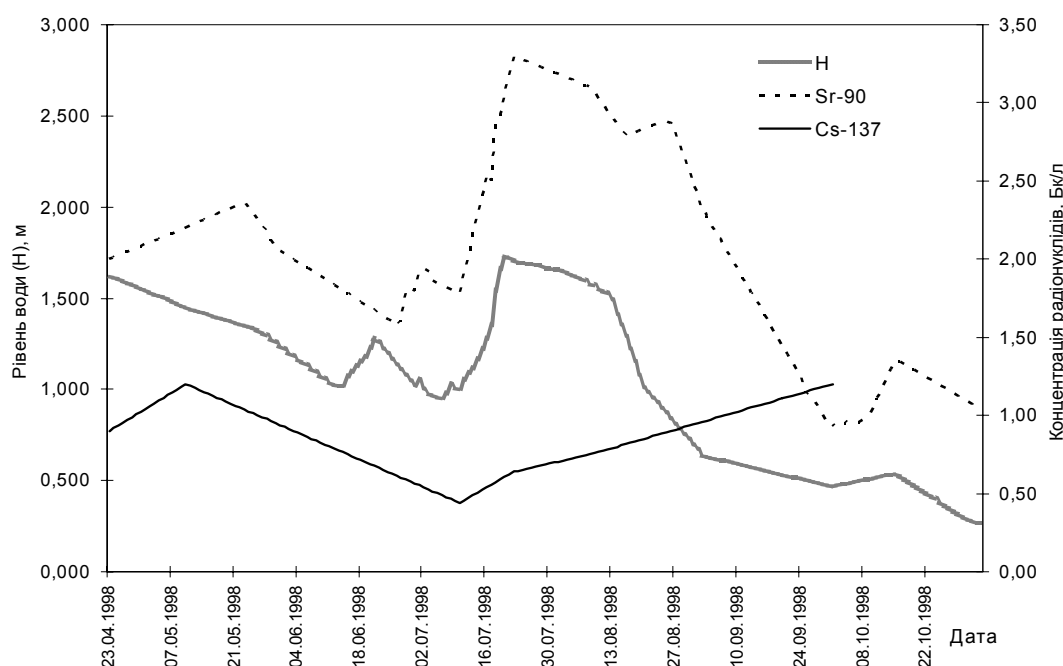


Рис.1. Коливання концентрації  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у каналі МК-1 (р.Бережесть) на фоні змін рівня води (1998 р.)

За період спостережень до серпня 1998 р., коли канал ще не був розчищений, залежність об'ємної активності  $^{90}\text{Sr}$  від рівня води описувалася досить високими позитивними коефіцієнтами кореляції (з квітня по листопад  $K = 0,77$ ), які змінювалися на від'ємні лише на спаді повені (кінець квітня-травень,  $K = -0,6$ ). Позитивні коефіцієнти кореляції між цими показниками характерні для періоду наростання повені і для більш великих річок, також частково зарегульованих та зарослих. Наприклад, на річці Брагінка (впадає з лівого берега в затоплене Київським водосховищем гирло р.Прип'ять) підйом рівня води до 19 квітня супроводжувався майже синхронним зростанням концентрації  $^{90}\text{Sr}$ , але ця залежність знову ж таки порушується зі спадом повені (рис.2). На

великих річках і каналах (площа водозбору  $> 1000 \text{ км}^2$ ) позитивна кореляція між рівнем води та концентрацією радіонуклідів може порушуватись і в інші періоди року не тільки за рахунок розбавлення та інертності процесу вимивання, який забезпечує максимальне надходження радіонуклідів у воду при тривалості затоплення 6 і 38-45 діб [1, 2], а переважно за рахунок поступового надходження забруднених вод з верхньої, можливо, більш забрудненої частини водозбору. Тобто максимальні концентрації  $^{90}\text{Sr}$  можуть припасти на період зниження рівня води (рис. 2), що ніяким чином не слід пов'язувати з живленням ґрунтовими водами.

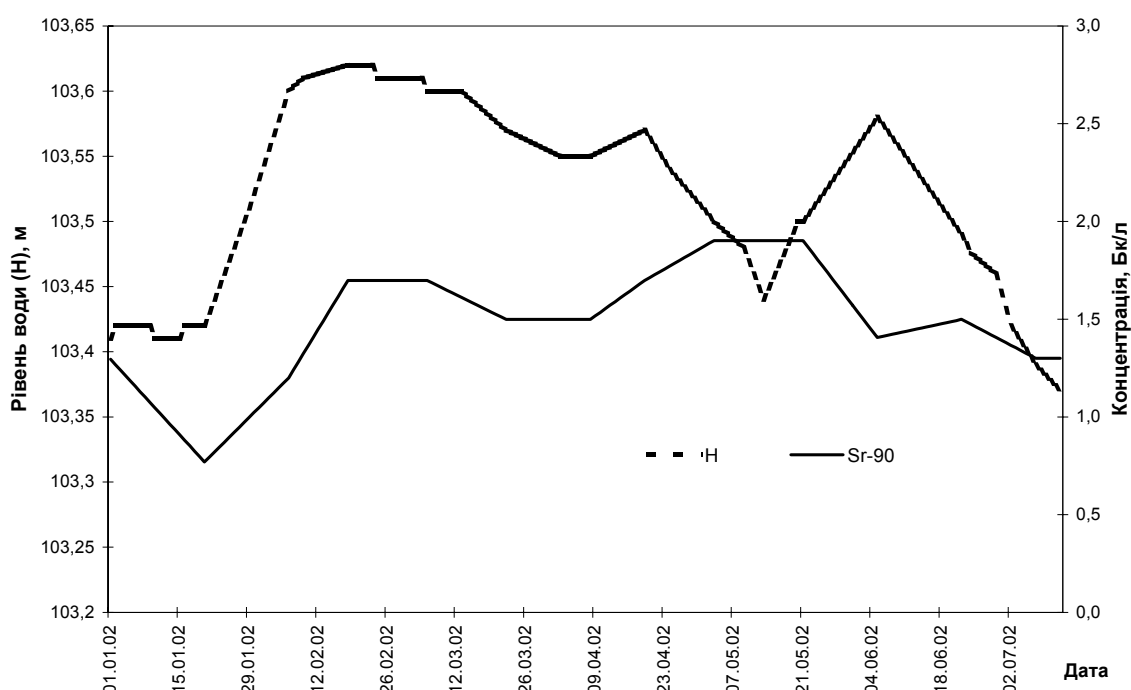


Рис. 2. Коливання концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у воді р.Брагінки на фоні змін рівня води (перше півріччя 2002 р.)

На прикладі каналу МК-1 спробуємо математично описати зміни концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у воді при підйомах рівня і тривалому затопленні укосів каналу. Позначимо збільшення рівня води в каналі за рахунок підвищення коефіцієнта шорсткості з 0,027 до 0,05 як  $\Delta h$ . За даними таблиці 4, при витратах  $0,61 \text{ м}^3/\text{с}$  воно дорівнює 0,17 м.

Для розрахунку концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у воді каналу ( $C_6$ ) при підвищенні рівня скористаємося формулою для коефіцієнта вимивання при затопленні [2]:



$$\hat{E}_{\hat{a}i} = \frac{C \cdot V}{C_{\hat{a}0} \cdot \rho \cdot V_{\hat{a}0} \cdot h} \text{ (MM}^{-1}\text{)}, \quad (1)$$

де  $C_v$  – об’ємна активність  $^{90}\text{Sr}$  у воді над забрудненим укосом, Бк/м<sup>3</sup>;  $V_v$  – об’єм цієї води, м<sup>3</sup>;  $C_{zp}$  – питома активність  $^{90}\text{Sr}$  в контактному шарі ґрунту, Бк/кг;  $\rho$  – об’ємна маса цього шару, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{zp}$  – об’єм ефективного контактного шару ґрунту, м<sup>3</sup>,  $h$  – шар води над монолітом, мм або м.

Візьмемо значення  $K_{\text{вм}}$  рівне  $1,25 \text{ м}^{-1}$ . Воно характеризує надходження  $^{90}\text{Sr}$  у воду за 16 діб з моноліту, відібраного з укусу каналу на лівому березі р. Прип'ять і залитого природною водою [2]. З рівняння (1) отримаємо:

$$\tilde{N}_{\hat{A}} = \frac{\hat{a}_i \tilde{N}_{\text{ä.}} \rho V_{\text{ä.}} \Delta h}{2V_{\hat{A}}}, \quad (2)$$

де  $\Delta h/2$  – середній приріст шару води над затопленим укосом за умови, що поперечний переріз каналу має трапецієподібну форму (рис. 3).

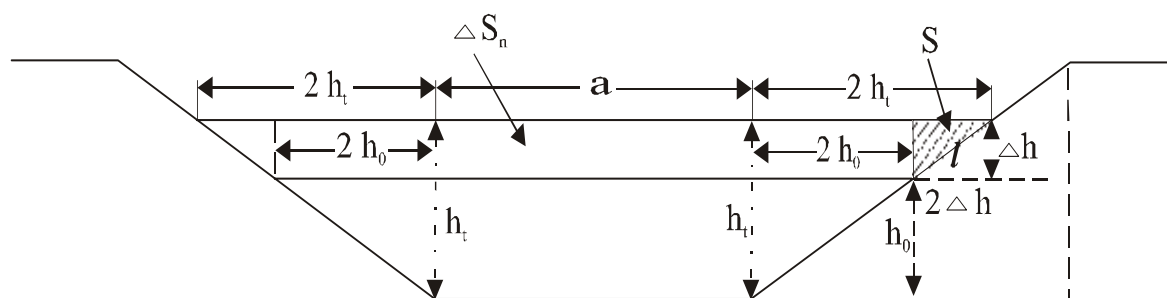


Рис. 3. Поперечний профіль каналу та параметри русла до і після підйому рівня води (при  $m = 2$ )

Очевидно, що концентрація радіонукліду у воді прямо залежить від приросту рівня води. Якщо закладення укусу  $m = 2$ , вода розтікатиметься на укіс на відстань  $c = \sqrt{4 \cdot \Delta h^2 + \Delta h^2} = 2,236 \cdot \Delta h$ , а площа поперечного перерізу прибортової товщі води дорівнюватиме  $S_{i0} = 2\Delta h \frac{\Delta h}{2} = \Delta h^2$ . Тоді вся додаткова площа визначається як

$$\Delta S_i = ((4h_t + a) + (4h_o + a)) \cdot \frac{\Delta h}{2}, \quad (3)$$

де  $h_t$  – глибина, або рівень води на час  $t$ , що зріс унаслідок зменшення пропускної здатності русла (для МК-1 дорівнює 0,67 м);  $h_0$  – початкова глибина води в каналі, що співпадає з проектною для даної витрати (0,5 м). Можна записати  $h_t = h_0 + \Delta h$ , тоді

$$\Delta S_i = (4h_0 + 2 \cdot \Delta h + a) \cdot \Delta h$$

Розрахуємо концентрацію для прибортового шару, або об'єму води, враховуючи, що  $V_{cp} = 2,236 \Delta h \cdot H_m \cdot L$ , а  $V_e = L \cdot \Delta h^2$ , де  $H_m$  – товщина шару масообміну, або ефективного контактного шару ґрунту (переважно 0,05-0,1 м) [2];  $L$  – довжина каналу (для розрахунків прийнято одиничну довжину, тобто 1 м):

$$\tilde{N}_{i0} = \frac{\hat{E}_{ai} \tilde{N}_{a0} \rho H_m 2,236 \Delta h^2}{2 \Delta h^2} = 1,118 \cdot \hat{E}_{ai} \tilde{N}_{a0} \rho H_m, \quad (4)$$

де  $\rho$  – питома вага ґрунту.

У цьому випадку концентрація не залежить від  $\Delta h$ , тоді як для всього додаткового шару води :

$$C_{\Delta} = \frac{\hat{E}_{ai} \tilde{N}_{a0} \rho H_m 1,118 \cdot \Delta h}{4h_0 + 2 \cdot \Delta h + a}. \quad (5)$$

Підставивши експериментальні дані (табл. 5) отримаємо  $C_{\Delta} = 0,13 \text{ кБк/м}^3$ , що відповідає реальним концентраціям  $^{90}\text{Sr}$  в центральній частині потоку МК-1. На відміну від усього додаткового об'єму, для прибортового шару отримаємо більш істотні концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у воді:  $C_{пр} = 4,7 \text{ кБк/м}^3$ . Це більше, ніж у 2 рази вище за ГДК. Завдяки заростанню, у цьому шарі майже не відбувається перемішування, тобто він належить до „мертвої зони”. Розсіювання, тобто переміщення радіонуклідів до перехідної зони (між проточною та мертвою), підпорядковується молекулярній дифузії і протікає дуже повільно (приймаючи, що  $D_m$  у вільних розчинах дорівнює  $(8...15) \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{добу}$  [9]). Застійний режим мертвої зони зумовлює зростання  $H_m$ , що, згідно з рівняннями 4 і 5, призводить до збільшення виходу радіонукліду в розчин. При цьому слід враховувати, що з глибиною питома активність ґрунту ( $C_{гр}$ ) зменшується, а об'ємна маса збільшується (табл. 5).

Таблиця 5

Значення параметрів для розрахунку об'ємної активності  $^{90}\text{Sr}$  при підйомах рівня води

| Формула | Параметр                       |                               |                       |                      |                          |                 |               | Результат           |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------|---------------|---------------------|
|         | $K_{\text{вм}}, \text{м}^{-1}$ | $C_{\text{гр}}, \text{Бк/кг}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\Delta h, \text{м}$ | $H_{\text{м}}, \text{м}$ | $h_0, \text{м}$ | $a, \text{м}$ | $C, \text{кБк/м}^3$ |
| (4)     | 0,94                           | 30                            | 1230                  | -                    | 0,15                     | -               | -             | 5,8                 |
| (4)     | 1,25                           | 35                            | 1220                  | -                    | 0,12                     | -               | -             | 7,2                 |
| (5)     | 1,25                           | 40                            | 1200                  | 0,17                 | 0,07                     | 0,5             | 4             | 0,126               |

В перехідній зоні дифузія поступово змінюється турбулентним перемішуванням, тобто до центральної, найбільш проточної частини нарастає дисперсія між струменями різної швидкості. Дійсна швидкість перемішування радіонуклідів у перехідній зоні дорівнюватиме:  $U = U_{\text{дис}} + U_{\text{диф}}$ .

Завдяки турбулентному перемішуванню, особливо при значних швидкостях потоку, радіонукліди досить швидко розходяться з прилеглої до укосу зони по усьому об'єму потоку води в діючому перерізі. Тому в результаті отримуємо меншу концентрацію:

$$C = \frac{V_{\text{м.п}} C_{\text{м.п}} + V_{\text{ц}} C_{\text{ц}} + V_{\text{м.л}} C_{\text{м.л}}}{V_{\text{м.п}} + V_{\text{ц}} + V_{\text{м.л}}}, \quad (6)$$

де  $C$  – результуюча концентрація (об'ємна активність радіонукліда) після змішування об'ємів води центральної зони ( $V_{\text{ц}}$ ) з концентрацією  $C_{\text{ц}}$  і мертвих зон правого ( $V_{\text{м.п}}$ ) та лівого ( $V_{\text{м.л}}$ ) берегів з концентраціями  $C_{\text{м.п}}$  і  $C_{\text{м.л}}$ .

На вході в досліджувану область  $V_{\text{с}}$  об'ємна активність радіостронцію у воді каналу обумовлюється, як правило, процесами дощового змиву з укосів, надходженням з ґрунтовими водами, можливо, незначною десорбцією з донних відкладів і такими ж процесами вимивання (катіонного обміну та розчинення) із затоплених укосів, але в дещо меншій мірі. При збільшенні ступеня заростання каналу і просуванні потоку з верхньої його частини до гирла значення процесів вимивання радіонуклідів із укосів, як правило, зростає. Це підтверджують останні дослідження розподілу розчинених форм  $^{90}\text{Sr}$  у верхніх та нижніх частинах каналів (Осадча Н.М., Шевченко О.Л.): на відміну від верхніх частин, загальна концентрація  $^{90}\text{Sr}$  до гирла суттєво збільшується (за умов

більш-менш рівномірного забруднення водозбору), при цьому помітно (у 2-7 разів, залежно від пори року та гідрометеорологічних умов) зростає частка  $^{90}\text{Sr}$  у фульвокомплексах (до 4-5%). Доведено саме поверхнево-грунтове походження фульвокомплексів, оскільки ґрунтові та дренажно-ґрунтові води містять не більше 1% SrFA, а донні відклади на цих ділянках каналів відіграють депонуючу роль.

### Висновки

У Чорнобильській зоні відчуження інтенсивним заростанням та замуленням охоплено близько 90% відкритої мережі меліоративних каналів. Спостереженнями на типовому каналі встановлено, що в результаті замулення площа його поперечного перерізу скоротилася майже на 18%, що призвело до зменшення пропускної здатності каналу на 22%. Ще майже 57% площі живого перерізу втрачається внаслідок заростання. Останнє суттєво збільшує коефіцієнт шорсткості русла, що призводить до підйому рівня води, при одних і тих же витратах, в 1,2...2,0 рази. Затоплення радіоактивно забруднених укосів викликає й відповідне збільшення концентрацій  $^{90}\text{Sr}$  у прибортовій частині потоку (найбільш небезпечні ділянки суходолу, які раніше не затоплювались і мають максимальний потенціал виходу  $^{90}\text{Sr}$  в розчин). Розроблена модель дозволяє прогнозувати концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у воді каналу з трапецієподібним руслом (беззаплавного типу) залежно від приросту рівня води та питомої активності шару максимального масообміну ґрунту на затопленому укосі. При цьому використовуються емпіричні коефіцієнти рідкого змиву радіонуклідів із ґрунту під час затоплення, отримані в результаті експериментів із монолітами.

\* \*

*На примере одного из типичных мелиоративных каналов Чернобыльской зоны отчуждения оценено влияние зарастания и заиления русла на пропускную способность и уровень воды, что позволило, учитывая ранее полученные коэффициенты вымывания, создать прогностическую модель вторичного радиоактивного загрязнения поверхностных вод. Выполненные расчеты свидетельствуют об определяющей роли деградации русел в формировании объемной активности  $^{90}\text{Sr}$  в воде каналов зоны отчуждения.*

\* \*

1. *Шевченко О.Л., Козицький О.М., Наседкін І.Ю. та ін.* Аналіз ефективності та варіанти експлуатації водоохоронного комплексу Лівобережної польдерної системи // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. – 2001. – Вип. 7 – С. 112-125.

2. *Шевченко О.Л., Кіреєв С.І, Гудзенко В.В., Михайлов Ю.О.* Моделювання вторинного радіоактивного забруднення вод меліоративних каналів // Меліорація і водне господарство. – Вип. 87. – К., 2001. – С. 72-85.

3. *Шестопалов В.М., Шевченко О.Л., Козицький О.М. та ін.* Ідентифікація автореабілітаційних процесів у водотоках зони відчуження та можливе спрямування реабілітаційної діяльності // Бюлетень екологічного стану Зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 2000. – №16. – С. 18-23.

4. *Шестопалов В.М., Шевченко О.Л., Бублясь В.М., Панасюк М.І.* Основні процеси, що впливають на автореабілітацію водних систем та їх компонентів // Автореабілітаційні процеси в екосистемах Чорнобильської зони відчуження / Під ред. *Ю.О.Іванова, В.В. Доліна.* – Чернівці, Київ, 2001. – С. 67-115.

5. *Шевченко А.Л., Наседкин И.Ю.* Естественные-антропогенные особенности формирования водообмена и распространения радиоактивных веществ на мелиоративных системах гумидной зоны // Водообмен в гидрогеологических структурах и Чернобыльская катастрофа. – Ч 1. – Киев.: НАН Украины, ТОВ „Карбон ЛТД”, 2001. – С. 162-232.

6. *Гончаров В.Н.* Основы динамики русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1954.

7. *Леонов Е.А.* Некоторые характеристики зарастающего русла в связи с методикой учета стока воды //Тр. ГГИ. – Вып. 77. – Л.: Гидрометеиздат, 1960.

8. ДБН В.2.4-1-99. Меліоративні системи та споруди. Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. – К, 2001.

9. *Рошаль А.А.* Методы определения миграционных параметров. М.: ВИЭМС, 1980. – 62 с.