

УДК 577.411:577.391: 631.36

РЕГІОНАЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ОСУШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА БАР'ЄРНУ СТІЙКІСТЬ ВОДОЗБІРНИХ БАСЕЙНІВ ДО РАДІОНУКЛІДІВ

О.Л. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ТАРАСА ШЕВЧЕНКА,

Д.В. ЧАРНИЙ канд. техн. наук

ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ НААН

Завдяки розробленій авторами методології аналізу даних багаторічних спостережень з використанням статистичних програм стало можливим оцінити граничні значення впливу штучної дренажної мережі на бар'єрні функції водозбірних басейнів по відношенню до забруднюючих речовин на прикладі радіоактивно забруднених територій Чорнобильської зони відчуження.

Ключові слова: осушувальні системи, водозбірні басейни, статистичний аналіз, водне винесення радіонуклідів, бар'єрна стійкість, зарегульованість.

Постановка питання і обґрунтування методики досліджень. Свідчення про вплив осушувальних меліорацій на обсяги річкового стоку досить суперечливі. Ряд дослідників переконливо запевняють, що більшість показників (середній річний стік, його сезонні значення, коефіцієнт стоку) помітно збільшуються [1-4]. Проте є численні факти та прогнози оцінки, що переконують у незначному впливі осушення на сумарний стік [5-7], або навіть у від'ємній його ролі (з урахуванням посилення транспірації сільськогосподарськими культурами) [8-10]. У свій час, після аварії на ЧАЕС, така неоднозначність викликала суперечки у визначенні стратегії поводження із осушувальною мережею на територіях 1-ї та 2-ї зон радіоактивного забруднення. Перемогла, як відомо, доктрина виведення систем з експлуатації та впровадження засобів утримання стоку на водозборі. І хоча ці заходи перший рік сприяли зменшенню водного винесення радіонуклідів, врешті решт, тривале стримування стоку призвело до підтоплення, заболювання, затоплення радіоактивних плям та збільшення винесення ^{90}Sr у багатководні періоди [11]. Проте обсяги водного винесення радіонуклідів, які краще представляти через модулі винесення [12], визначаються не лише ступенем забруднення водозбору та гідрологічними умовами, вони є інтегральним показником сукупної дії багатьох чинників. Серед них і певні ландшафтно-геохімічні характеристики водозбірних басейнів (для кожного радіонукліду набір цих характеристик може бути індивідуальним), які разом визначають ступінь утримання забруднюючих речовин на площі водозбору. Наприклад, для ^{90}Sr це відносна площа лісових масивів, відносна площа органогенних та нейтральних ґрунтів, площа западин на водозборі, поширення ґрунтів з високим вмістом обмінного Ca^{2+} тощо. Сукупну утримуючу дію цих чинників по відношенню до радіонукліда (або іншого забруднювача) назвемо *природною бар'єрною функцією*. Кількісно вона оцінюється за сумою балів, які еквівалентні впливу кожного з ландшафтно-геохімічних чинників на водне винесення радіонукліда з водозбору (табл. 1). Ранжування бар'єрної функції виконується за показником бар'єрної стійкості (добра – сума балів > 15, достатня – 10...15, середня – 0...10 і т.д.) (табл.2). Про дефіцит бар'єрних функцій або вичерпання бар'єрної стійкості свідчить

фактичний модуль винесення, який перевищує модуль, нормований до ГДК даного радіонукліда у воді ($M_{ГДК}$) [12]. Різницю між фактичним модулем винесення (M_f) та модулем гранично допустимої концентрації ($M_{ГДК}$) назвемо модулем необхідної утримуючої здатності ($M_{нбм}$). Знання про роль тих чи інших ландшафтно-техногенних чинників у регулюванні винесення дозволить через вплив на ці чинники посилити бар'єрні функції водозборів.

Штучний дренаж, що посилює водообмін, може суттєво дестабілізувати процеси депонування радіонуклідів в ґрунтах водозбору. У цьому є як негативна, так і позитивна складова: з одного боку, згущена дренажна мережа спричиняє збільшення водного винесення радіонуклідів до водоприймачів, з іншого – сприяє автореабілітації ландшафтів та самої гідрографічної мережі в межах зони забруднення. Наявність додаткової дренажної мережі послаблює природні бар'єрні функції водозборів, в той же час за допомогою регулюючих засобів та дамб можна акумулювати, утримувати і перерозподіляти забруднений стік.

По мірі накопичення фактичних даних моніторингових спостережень у зоні відчуження та завдяки розвитку ГІС технологій і статистичних програм з обробки даних з'явилася можливість більш об'єктивно оцінити вплив осушувальних систем (згідно існуючого досвіду) на винесення радіоактивних трасерів та ступінь порушення ними природних бар'єрних (утримуючих) функцій водозбірних басейнів.

Суть запропонованої методики. Досліджувати зв'язок між ступенем меліорованості водозбірних басейнів та обсягами річного поверхневого стоку в зоні відчуження було б не коректним із зрозумілих причин: значна частина регулюючої мережі втратила свої провідні функції у зв'язку із замуленням та заростанням. Очевидно неоднозначним буде вплив у різній мірі зарегульованих меліоративних систем на обсяги винесення радіонуклідів. Тому спочатку було вирішено провести співставлення обсягів річного винесення ^{90}Sr , як найбільш рухливого водного мігранта, із щільністю гідрографічної мережі (рис. 1) та ступенем її зарегульованості. Звичайно, попередньо була створена цифрова модель водозборів окремих магістральних каналів

1. Градація оціночних балів, згідно із ступенем впливу чинника на винесення радіонукліда (за $K_{кор.}$)

Площа сухих западин та на піску		Площа перезволожених і затоплених западин		Щільність западин		Площа кислих ґрунтів		Площа лісу		Площа органо-мінеральних ґрунтів на водозборі		Площа під ґрунтами органічного походження	
Діапазон, % *	Бал	Діапазон, %	Бал	Діапазон, шт./км ²	Бал	Діапазон, %	Бал	Діапазон, %	Бал	Діапазон, %	Бал	Діапазон, %	Бал
0,5- 1	- 2	лівий берег р. Прип'ять		1-5	- 3	лівий берег р. Прип'ять		5-10	5	0-1	0	1-5	-1
1-2	- 3	0,5-1	-1	5-10	- 5	2-10	-2	10-15	7	1-3	1	5-10	-2
2-3	-4...- 7	1,0-2,0	-2	10-20	- 10	10-15	-3	15-20	10	3-5	2	10-15	-3
3-5	- 8...-16	2,0-3,0	-3	20-25	- 15	15-20	-5	20-25	13	5-10	3	15-20	-4
> 5	< - 18	правий берег				20-30	-10	25-30	14	10-15	4	20-22	-5
		0,5-1,0	2			30-45	-15	30-35	15	15-20	5	22-25	-6
		1,0-2,0	1			правий берег		35-40	16	20-25	6	25-30	-7
						0-2	0	40-50	17	> 25	7	30-35	-8
						2-10	1	50-60	18			35-40	-9
						10-15	2	60-75	19			40-45	-10
						15-30	3	> 75	20				

* - Відсотки для всіх подібних діапазонів пораховано від загальної площі водозбірною басейну.

2. Бальна оцінка порушеної бар'єрної стійкості водозбірних басейнів із врахуванням антропогенних надбудов

№№	Водозбори річок та магістральних каналів	Сума балів по природних ландшафтних характеристиках	Площа меліоративних систем, км ²	Меліорованість		Щільність гідромережі		Зарегульованість*			Сума балів із врахуванням антропогенних чинників	Бар'єрна стійкість
				%	Бал (-22)	км/км ²	Бал (-26)	%	Бал для року середньої водності (50-60%)	Бал для року високої водності (<15%)		
1	Глиниця	9	14,37	16,4	-5	0,58	-3	33	5	-5	1	середня
2	Сахан	16	80,92	40,7	-12	1,10	-10	32	5	-5	-6	задовільна
3	МК-1	4	72,34	62,2	-17	1,05	-10	54	8	-10	-25	слабка
4	Стік до про-рану в дамбі №7	-16	52,41	81,2	-20	2,09	-20	96	10	-13	-59	незадовільна
5	о.с. Усів МК-2	-25	3,85	84,1	-21	3,01	-26	91	9	-12	-75	дуже незадовільна і небезпечна
6	МК-7	-17	15,19	73,0	-19	2,37	-25	72	9	-11	-63	- « -
7	о.с. Усів МК-1	-27	8,44	84,6	-21	2,23	-24	89	10	-12	-74	- « -
8	МК-5	-6	15,21	78,5	-20	2,67	-26	74	9	-11	-54	незадовільна
9	МК-6	5	9,72	99,5	-22	2,39	-25	98	10	-13	-45	незадовільна
10	Брагінка	-6	95,23	27,5	-7	1,501	-15	40	6	-5	-27	дуже слабка
11	Ілля	11	55,97	14,2	-2	0,778	-4	27	4	-2	7	середня

Примітка: о.с. – осушувальна система, МК – магістральний канал; (-22) – максимальна кількість балів для даного показника, * - в даному випадку враховано бал для 25% забезпеченості.

з існуючою відкритою дренажною мережею. Далі було виконано кореляційний аналіз між щільністю гідрографічної мережі (стала величина) та об'ємами винесення ^{90}Sr за кожен рік спостережень по 11 водозбірних басейнах з різним ступенем меліорованості. Так само, за допомогою ГІС, кількісно оцінено інші впливові сталі ландшафтні характеристики виділених водозборів: відносну площу лісу, мінеральних та органогенних ґрунтів, ґрунтів з різним рН водної витяжки; мікрозападин різних класів (сухих, перезвожених, затоплених тощо) та виконано парний кореляційний аналіз між ними і винесенням за кожен рік.

Подальший множинний кореляційний аналіз дозволив визначити ступінь залежності не лише винесення від сталих характеристик ландшафту а й останніх між собою. Крім того, отримані регресійні залежності дозволили виконати епігнозні оцінки винесення ^{90}Sr за роки, в які воно по окремих водозборах не визначалось, розрахувати сталі ландшафтні характеристики для великих басейнів, інформації по яких було недостатньо, та зробити прогнози винесення на найближче майбутнє. Наступний крок полягав у підборі значень сталих і динамічних чинників, які, згідно регресійних рівнянь, забезпечують зниження винесення забруднювача.

Визначені коефіцієнти кореляції покладено в основу бальної оцінки, розробленої за принципами кваліметрії. Отримана за результатами кореляційного, факторного та кластерного аналізів інформація, а також вирішення регресійних рівнянь з підбором показників для мінімізації водного винесення радіонукліда, в сукупності дозволяє оцінити роль (позитивну чи негативну) і значимість (високу, низьку) чинника у формуванні винесення і за значеннями цих чинників визначити для кожного із басейнів природну бар'єрну стійкість по відношенню до водного винесення певного радіонукліда. Із врахуванням меліорованості площі водозбору і зарегульованості гідрографічної мережі водозбірні басейни окремо диференційовано за порушеною бар'єрною стійкістю (табл. 2).

Таким чином, оцінка бар'єрної стійкості водозбірних басейнів за алгоритмом «кількісне визначення показників і обґрунтування та бальна оцінка чинників бар'єрної стійкості за ступенем впливу на ці показники» передбачає такі етапи:

- збір інформації про винесення радіонукліда водотоками (не менше 8) за окремі роки впродовж усього часу після його надходження на поверхню водозбору (не менше 15 років);
- оцінка зв'язку між динамічними чинниками (обсяги стоку, кількість опадів) та водним винесенням радіонукліда за весь період спостережень та по окремих етапах;
- виділення і оцифрування границь водозбірних басейнів, визначення їх площі; оцінка запасів радіонукліда в межах окремих басейнів;
- визначення показника (вибрано модуль і частку винесення радіонукліда [12]) для порівняння і дифе-

ренціації утримуючих здатностей водозборів за небезпекою винесення забруднювача;

- вибір провідних статичних чинників бар'єрної стійкості та винесення – характерних ознак ландшафту, на основі аналізу експериментальних даних; класифікація та оцифрування цих ознак у межах виділених басейнів з утворенням відповідних шарів в геоінформаційній системі «MapInfo»; параметризація і кількісна оцінка цих чинників (відносна площа, щільність, кількість тощо);

- проведення парного кореляційного аналізу по окремих роках для вибору найбільш інформативних чинників винесення забруднювача; побудова хронологічних графіків змін коефіцієнтів кореляції з виділенням періодів максимального впливу чинника на винесення; вибір пріоритетних чинників впливу для кожного виділеного етапу;

- виконання множинного кореляційного аналізу та вибір пріоритетних чинників або групування чинників для кожного виділеного етапу; побудова регресійних моделей з використанням вибраних чинників в якості незалежних предикторів;

- епігнозне та прогнозне моделювання за формулами регресії;

- вибір найбільш безпечних за радіаційними показниками режимів стоку шляхом підбору сталих та динамічних чинників впливу на винесення та концентрацію радіонуклідів;

- формування системи оціночних балів для чинників впливу на водне винесення радіонукліда та визначення бар'єрної стійкості водозбірних басейнів за сумою балів.

Результати досліджень. Очевидно (рис. 1), що щільність гідрографічної, в т.ч. відкритої штучної дренажної мережі, досить часто має детермінований лінійний зв'язок із водним винесенням радіонуклідів (за значень коефіцієнтів кореляції рівних 1). Причому цей зв'язок з роками посилюється та набуває стійкого характеру. У роки зниження $K_{\text{кор}}$, особливо у 1990 і 1996 рр., зафіксовано також низькі значення водного винесення ^{90}Sr , пов'язані із порівняно невеликою кількістю атмосферних опадів у попередні роки. Відчувається затримка реакції винесення і $K_{\text{кор}}$ на водність року, яка щодалі подовжується: перші зниження (1990 і 1993 рр.) пов'язані із зменшенням кількості опадів у 1989 і 1992 рр., наступне зниження $K_{\text{кор}}$ (1996 р.) відбулось із затримкою на 2 роки, а останнє помітне зниження $K_{\text{кор}}$ (2006-2007 рр.) можна пов'язати лише із 2002-2003 маловодними роками (або ж зробити висновок про відсутність зв'язку).

Підвищене винесення ^{90}Sr відбувається в роки з високими паводками, які йдуть після багатоводних років (1993 р. - 692 мм опадів, 1998 р. - 689 мм). Така закономірність характерна для перезвожених територій із зарегульованими водотоками. У роки маловодні і середньої забезпеченості опадами зарегульовані меліоративні системи утримують й акумулюють частину поверхневого стоку, переводячи його в ґрунтовий і витрачаючи на випаровування. Під час багатоводного циклу, у зв'язку з утрудненим розвантаженням, частина води з попереднього року зали-

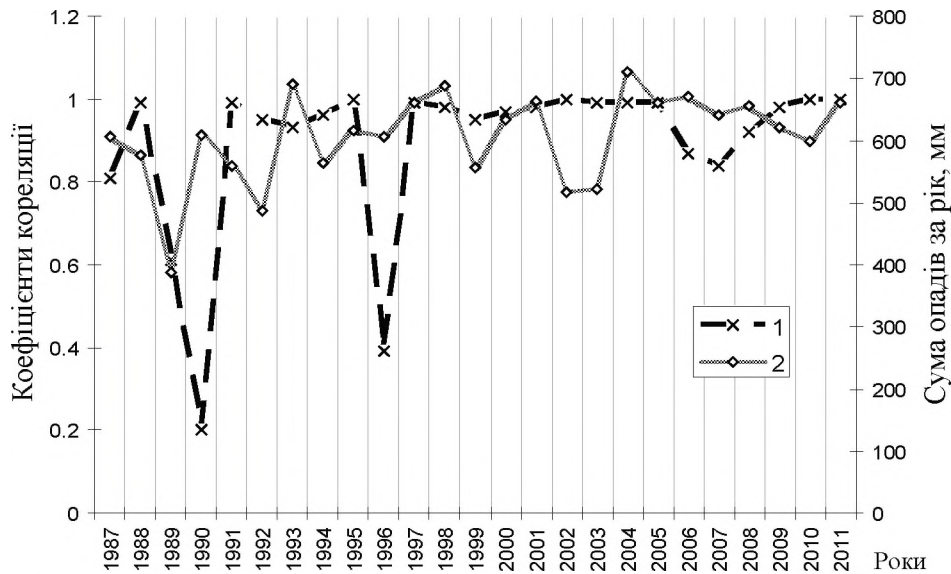


Рис. 1. Зміни $K_{кор.}$ між щільністю гідрографічної мережі та винесенням ^{90}Sr (1) ($N = 11$) у порівнянні із річною сумою атмосферних опадів (2)

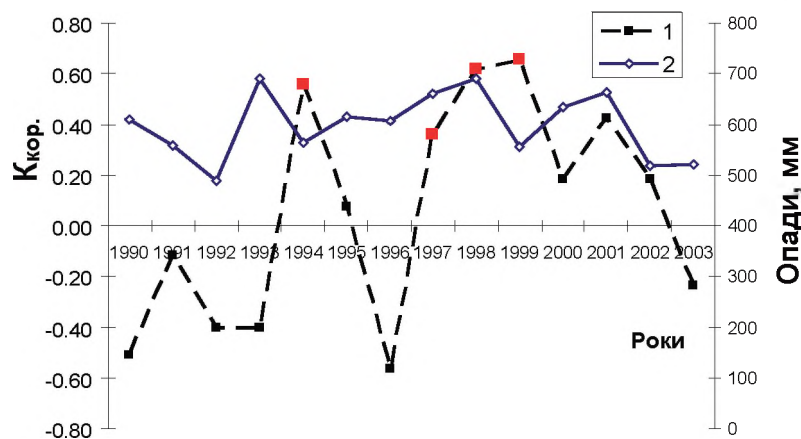


Рис. 2. Зміни коефіцієнта кореляції між винесенням ^{90}Sr та відносною площею меліоративних систем на водозборі річки (1) у співставленні із річною сумою атмосферних опадів (2) (м.с. «Чорнобиль»).

Виділено значущі значення $K_{кор.}$

шається заакумульованою на водозборі до початку наступного багатоговодного сезону. Наступна висока повінь чи паводок, накладаючись на існуючі високі рівні води, змиває радіонукліди з раніше незатоплюваних територій. Таким чином, проточні болота та зарегульовані водотоки у періоди високої водності видають значну частину накопиченої вологи, а з нею - найбільш рухливу частину радіоактивних речовин.

Так само вплив відносної площі меліоративних систем (від загальної площі водозбору природного водотоку) проявляється у збільшенні винесення ^{90}Sr у багатоговодні, а особливо, на наступний після багатоговодного рік (рис. 2), - після вичерпання акумулюючої ємності каналів. В той же час у маловодні роки, до початку активного вторинного заболочування (1993 р.), меліоративні канали в зарегульованому стані були здатні утримувати значну кількість води та радіонуклідів (рис. 2).

Під час циклів маловодних років (2-4 роки) коефіцієнти кореляції між меліорованістю та винесенням ^{90}Sr переважно від'ємні, що свідчить про здатність систем посилювати бар'єрні функції водозбору до певної межі, за якою відбувається вичерпання утримуючої ємності. Реакція водного винесення ^{90}Sr з меліорованого водозбору на кількість опадів відбувається здебільшого із запізненням на 1 рік.

На діючих меліоративних системах гідрографічного стоку відрізняються меншими піками повеней та паводків і більш високими меженими витратами, що сприятливо позначається на якісному, в т.ч. радіоекологічному, стані поверхневих вод.

Вплив меліорованості водозбору (Lr) на винесення ^{90}Sr (W) враховує лінійне рівняння регресії, виведене за даними 1998р. для правобережних і лівобережних малих водозбірних басейнів ($R^2 = 0,85$; критерій Фішера $p < 0,018$):

$$W = -890,867 + 0,002 \cdot Z_{sr} + 0,618 \cdot Nwz + 1 \cdot Lr, \quad (1)$$

де Z_{sr} - запас активності ^{90}Sr на площі водозбору, ГБк; Nwz - кількість западин з водою та перезволожений.

Знайдено найбільш вдалі регресійні рівняння, що описують винесення ^{90}Sr й через інші показники осушення, такі як дренажість (тис. м³/га/рік), частка стоку ґрунтових вод в загальному стоці (%), зарегульованість мережі (%) і дозволяють прогнозувати винесення для років із подібним розподілом опадів (P) або стоку (Q) (табл. 3). Наприклад, для магістрального каналу МК-1 та р. Сахан лінійні рівняння, відповідно, мають вигляд:

$$W = -63,456 + 0,0044 \cdot Dr + 0,0008 \cdot Z_{sr} \quad (2)$$

$$W = -40,0494 + 3,6022 \cdot Q - 0,0153 \cdot P + 0,0001 \cdot Z_{sr} \quad (3)$$

де Dr - дренажість; P - сума річних опадів, мм.

Очевидно, що по відношенню до певного забруднювача кожен природний ландшафт має індивідуальну буферну ємність, яка може бути порушена або посилена меліоративними заходами. Найбільш впливовими природними чинниками, що забезпечують бар'єрну стійкість водозборів до винесення ^{90}Sr є лісові масиви та органо-мінеральні ґрунти, такими що її послаблюють – сухі («провідні») западини та густа гідрографічна мережа. По відношенню до ^{137}Cs бар'єрну стійкість забезпечують, в першу чергу, глинисті ґрунти.

Використовуючи виведені рівняння можна підібрати такі значення чинників, за яких концентрація та/або винесення будуть найменшими (табл. 4). Це є достатнім обґрунтуванням для визначення опти-

мальних режимів стоку з осушувальних систем та запобіжних водоохоронних заходів з мінімізації винесення радіонуклідів. Збільшення дренажаності на 25% могло б призвести до збільшення винесення на 3-9%, а її зменшення на 25% – до зниження винесення на ті ж 3-9% (табл. 4). Збільшення частки стоку ґрунтових вод в загальному стоці у всіх випадках в 1999 р. призводило б до суттєвого (щонайменше на 9%) зменшення винесення ^{90}Sr .

Ефективним водоохоронним заходом, що посилює бар'єрну стійкість водозборів, є лісомеліорація: збільшення площі лісу на 50% від існуючого значення допомогло б (згідно розрахунків) зменшити винесення ^{90}Sr з різних водозборів на 19-46 % (від значення за 1999 р.). Отже, шляхом регулювання гідрологічних та ландшафтних чинників можна посилювати бар'єрні функції водозборів і досягати зменшення винесення забруднюючих речовин за межі санітарних зон або зон аварійного забруднення.

Густа осушувальна мережа та став-охолоджувач ЧАЕС суттєво знижують *природну* бар'єрну стійкість водозборів і мають більший вплив на винесення ніж природні чинники, що впливає з більших значень позитивних коефіцієнтів кореляції між винесенням та відповідними чинниками. Так, за меліорованості порядку 40% стійкість водозбору р. Сахан погіршується в 3,7 рази і переходить із доброї у задовільну (табл. 2). За меліорованості від 60 до 70% стійкість окремого водозбору змінюється від середньої із позитивним балом до слабкої із від'ємним балом; коли ж меліорованість більша 70%, бар'єрна стійкість погіршується до незадовільної і дуже незадовільної та небезпечної, що відбивається на стабільно підвищеному винесенні ^{90}Sr . Меліорованість на рівні 10-20% суттєво не впливає на бар'єрну стійкість, яка може залишитись на тому ж якісному рівні.

3. Результати прогнозування винесення ^{90}Sr (W) водотоками

Рік	Опади, мм	Регресійне рівняння і фактичне значення	Басейни							
			р.Брагінка		Магістрального каналу МК-1		Північно-західний		р.Сахан	
			Q, млн. м ³	W, ГБк	Q, млн. м ³	W, ГБк	Q, млн.м ³	W, ГБк	Q, млн. м ³	W, ГБк
2011	660,1	Лінійне	75,7	210,0	8,85	11,6	32,0	315	18,0	30,4
		Фактичне	н.в.	144,0	н.в.	11,0	н.в.	338	н.в.	30,0
2012	682,5	Лінійне	112	307,0	18,3	38,0	36,0	350	20,0	36,9
		Ступеневе		270,0		41,6		н.в.		59,5
		Фактичне	119	290,0	13,2	18,0	33,1	213,0	24,0	38,0
2013	690,0	Лінійне	121	330,0	19,2	40,5	38,8	387,0	22,0	43,6
		Ступеневе		284,0		46,7		н.в.		70,1
		Фактичне	270	870,0	20,0	40,0	42,0	415,0	40,0	80,0

Примітка: курсивом виділено задані та прогнозні значення; н.в. – не визначались.

4. Розрахункове зменшення винесення ^{90}Sr з площі басейну (% від розрахункового на 1999 р. значення) при вирішенні відповідних регресійних рівнянь

Басейн каналу	Зменшення щільності гідромережі на 20%			Збільшення частки стоку ґрунтових вод до 35%		Зменшення дренаваності на 25%	
	квадратичне рівняння	лінійне рівняння	кубічне рівняння	лінійне рівняння	кореневе рівняння	дійсне значення тис. м ³ /га/рік	лінійне рівняння
МК-5	60	40	58	9	37	0,25	9
МК-6	58	46	58	21	71	0,23	3

На водозборах з достатньою і середньою природною стійкістю інтенсивність зменшення винесення ^{90}Sr по роках більша, ніж на водозборах із слабкою та дуже слабкою природною бар'єрною стійкістю. Перехід до значень модуля винесення ^{90}Sr нижчих за $M_{ГДК}$ відбувається в першу чергу на тих водозборах, де сума балів, що визначають природну бар'єрну стійкість, більша 10, а меліорованість менша 20%, причому, практично незалежно від ступеня радіоактивного забруднення, що свідчить про більше поширення та ефективну дію утримуючих чинників на таких водозборах. Отже швидкість досягнення прийнятних $M_{нбм}$ коли концентрація ^{90}Sr у поверхневому стоці менша за ГДК, обернено пропорційна меліорованості та щільності гідромережі, що дозволяє прогнозувати терміни виходу значень винесення ^{90}Sr на безпечний рівень.

Висновки. Кореляційний аналіз та ранжирування малих водозбірних басейнів Чорнобильської зони відчуження за природною та порушеною бар'єрною стійкістю виявили суттєво більшу залежність винесення

^{90}Sr від техногенних чинників, ніж від природних. Головні природні ландшафтні характеристики, що забезпечують бар'єрні функції водозбірних басейнів до ^{90}Sr , – лісові масиви та органо-мінеральні ґрунти, що послаблюють бар'єрну стійкість, – густа гідрографічна мережа та сухі западини. За меліорованості порядку 40% стійкість водозбору погіршується в 3,7 рази, за меліорованості від 60 до 70% – змінюється від середньої до слабкої; при 70% і більше – погіршується до незадовільної і дуже незадовільної та небезпечної, що відбивається на стабільно підвищеному винесенні ^{90}Sr . Проте меліорованість на рівні 10-20% істотно не впливає на бар'єрну стійкість водозбору, зокрема по відношенню до ^{90}Sr . Зарегульовані осушувальні системи в маловодні роки здатні утримувати значну частину стоку, що позначається на зменшенні винесення радіонуклідів і сприяє посиленню бар'єрних функцій.

Бібліографія

1. Романов В.В. Водный баланс долинных болот Полесья и его возможное преобразование / В.В. Романов, К.Е. Иванов // Тр. конф. по меліорации и освоению болот и заболоченных почв. – Минск: Изд.-во АН БССР. – 1956. – С. 217-231.
2. Шпак И.С. Водный баланс осушенной поймы р. Трубеж за 1960-1963 гг. / И.С. Шпак, И.А. Запольский // Тр. УкрНИИГМИ. – 1965. – Вып. 50. – С.40-49.
3. Запольский И.А. Влияние меліоративных мероприятий в пойме р. Ильта на режим речного стока и уровня ґрунтовых вод / И.А. Запольский // Проблемы меліорации Полесья. Минск: РВЦ ЦСУ БССР. – 1970. – Ч. 1. – С. 284-290.
4. Маслов Б.С. О влиянии осушительных меліораций на ґрунтовые воды и речной сток / Б.С. Маслов, Э.А. Шерлинг, В.К. Седова // Гидротехника и меліорация. – 1973, №5 – С. 66-71.
5. Огиевский А.В. Гидрология суши / А.В. Огиевский – М.: Сельхозгиз, 1970. – 516 с.
6. Яцьк А.В. Осушительная меліорация и речной сток / А.В.Яцьк, О.З. Ревера – К: «Знание» УССР. – 1986. – 24 с.
7. Зусанский Н.Б. Исследования влияния осушительных меліораций на водность рек Украины / Н.Б. Зусанский, С.С. Кутовой, А.Н. Лазаренко // Водн. ресурсы. – 1987. – Вып. 1. – С. 136-146.
8. Пустовойт С.П. Влияние осушения болот на стік / С.П. Пустовойт С.П. // Наук. зап. Київ. унів.-ту. – 1957. – 15, вип.10. – С. 83-89.
9. Мокляк В.И. Влияние осушительных меліораций на сток рек / В.И. Мокляк, Г.П. Кубышкин, Г.Н. Каркущев // Тр. Междунар. симп. по гидр. заболоч. территорий, (17-24 июля 1972 г.). – Минск: Ураджай. – 1973. – Т.2. – С. 118-125.
10. Перехрест С.М. О влиянии прогрессивных методов осушения болот и комплексных водохозяйственных сооружений на водный баланс Днепра / С.М. Перехрест // Проблемы меліорации Полесья. – Минск: РВЦ ЦСУ БССР, 1970. – Ч.1. – С. 67-76.
11. Закономірності міграції техногенних радіонуклідів на меліоративних системах Чорнобильської зони відчуження (за результатами досліджень 1986-2004 рр.) / О.Л. Шевченко, О.М. Козицький, І.Ю. Наседкін [та ін.]; гол. ред. В.А. Стацук. – Херсон: Олді-плюс, 2011. – 415 с.
12. Шевченко О.Л. Метод інтегральної оцінки бар'єрної здатності водозборів / О.Л. Шевченко, С.І. Кіреєв // Екологія і ресурси. – 2005. – Вип. 11. – С. 77-86.

Разработанная авторами методология анализа данных многолетних наблюдений с использованием статистических программ позволяет оценить граничные значения влияния искусственной дренажной сети на барьерные функции водосборных бассейнов по отношению к загрязняющим веществам на примере радиоактивно загрязненных территорий Чернобыльской зоны отчуждения.

Thanks to the authors' approach to long-term observations of data analysis using statistical programs could evaluate the impact of the limit values of artificial drainage network containing function watershed with respect to the pollutants on the example radioactively contaminated areas of Chernobyl Exclusion Zone.