

**«Математична модель міграції
радіонуклідів на основі
ландшафтного підходу з
урахуванням радіоекологічно
критичних екосистем»**

Чоботько Г.М., д.б.н., професор

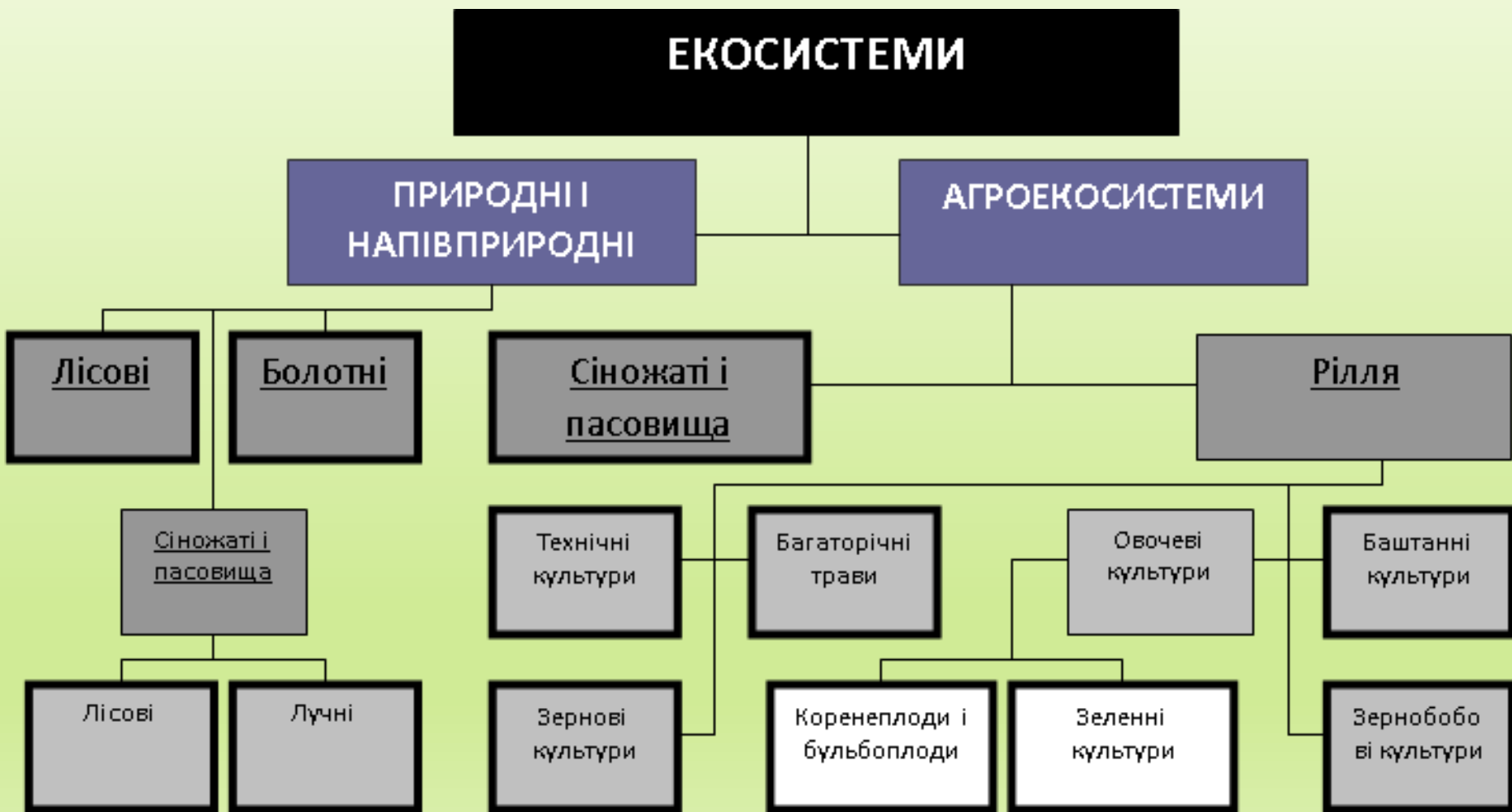
Райчук Л.А., к.с.-г.н., с.д.

Швиденко І.К., к.с.-г.н.





Спрощена класифікація екосистем Українського Полісся в контексті рівня виносу радіонуклідів з продукцією



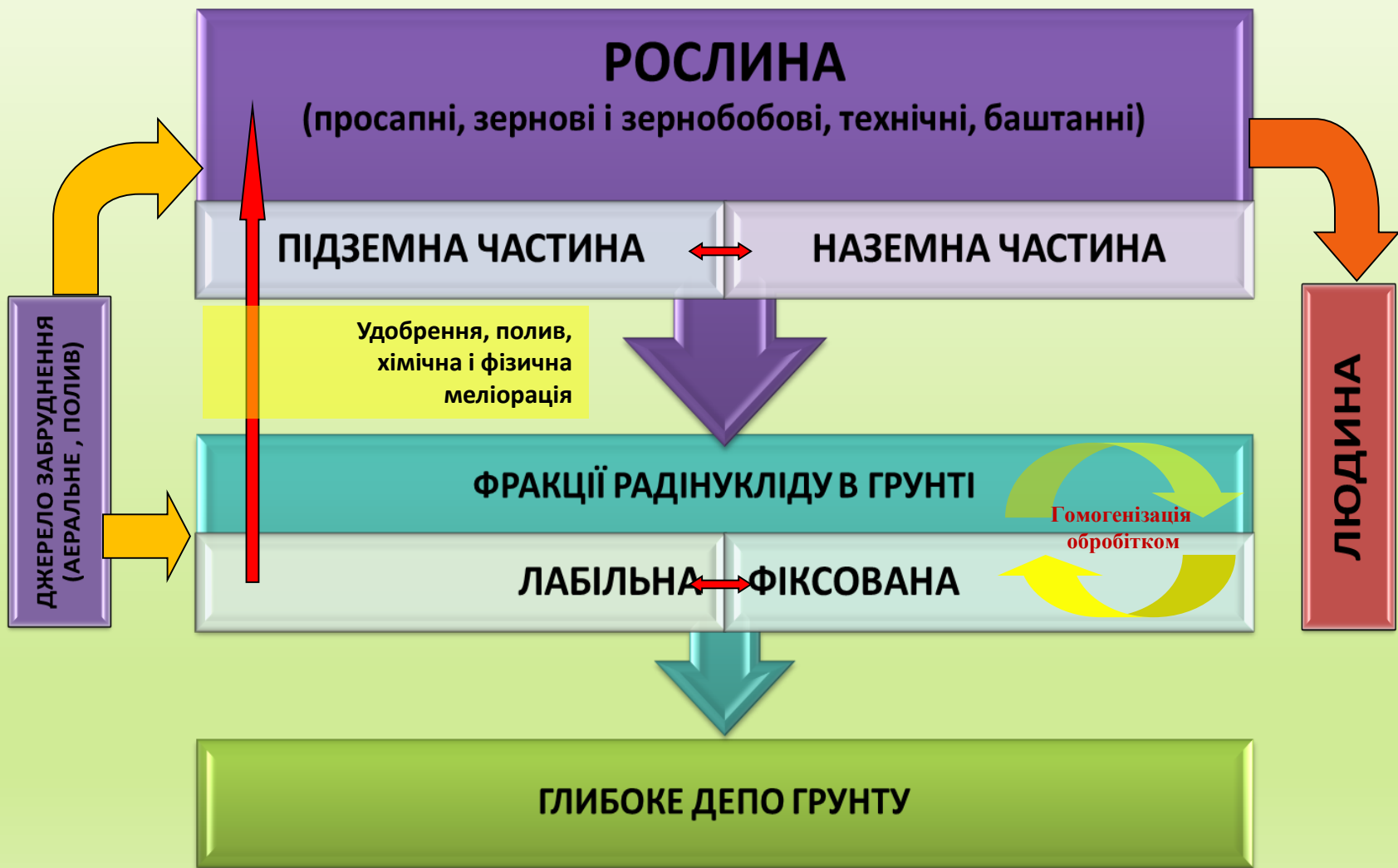


Основні чинники, що впливають на перерозподіл радіонуклідів у найпоширеніших екосистемах Українського Полісся

ЧИННИКИ	ЕКОСИСТЕМИ			
	ПОЛЬОВА	ЛУКОПА-СОВИЩНА	ЛІСОВА	САДОВА
едафічні	+	+	+	+
тип фітоценозу та його склад	+	+	+	+
товщина та будова підстилки			+	
видовий склад грибів та лишайників				
умови зволоження	+	+	+	+
удобрення, хімічна та фізична меліорація	+	+		+
обробіток ґрунту	+			+
інтенсивність використання		+	+	

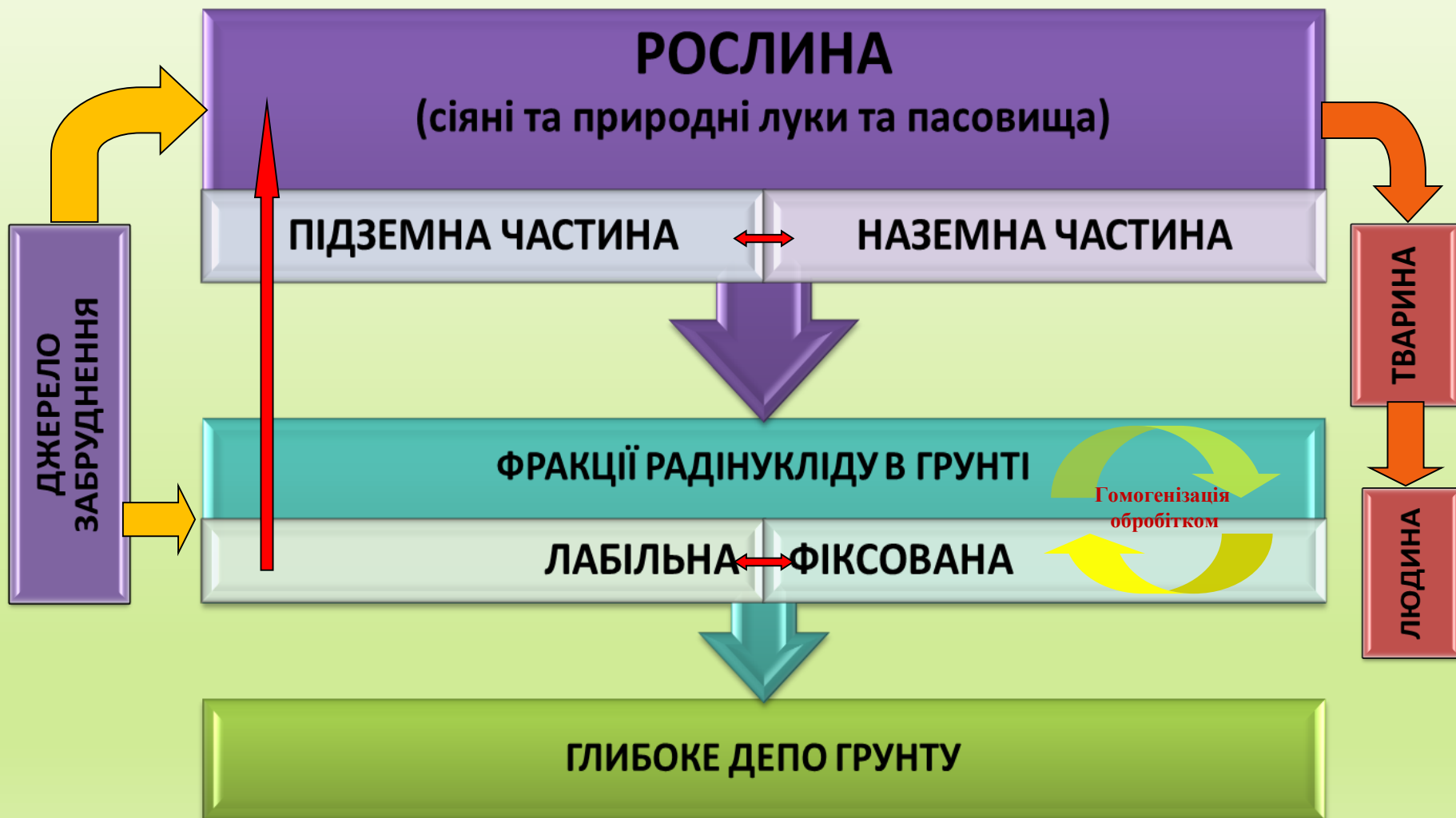


Концептуальна модель міграції радіонуклідів у польових екосистемах



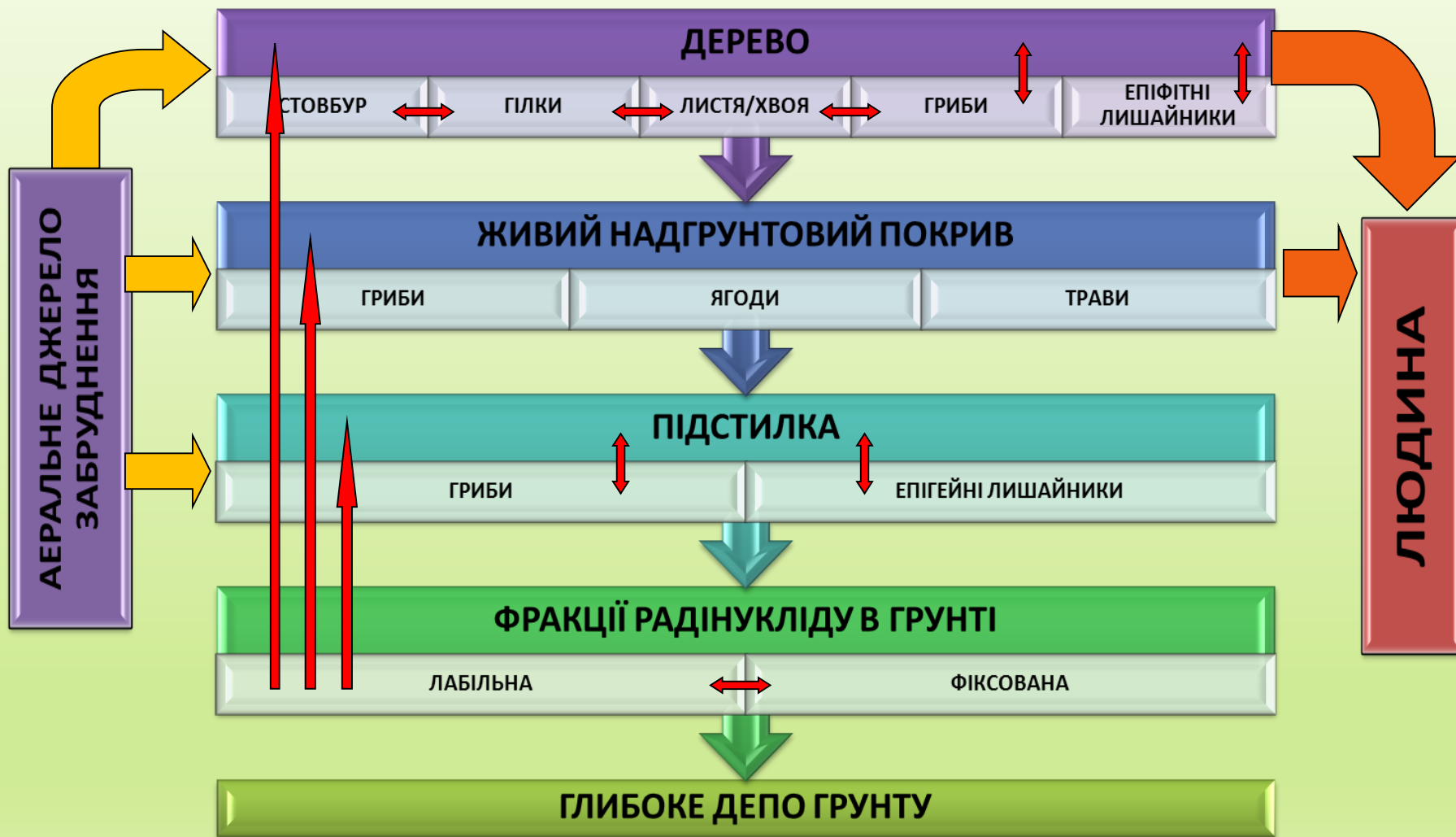


Концептуальна модель міграції радіонуклідів у лукопасовищних екосистемах





Концептуальна модель міграції радіонуклідів у лісових екосистемах



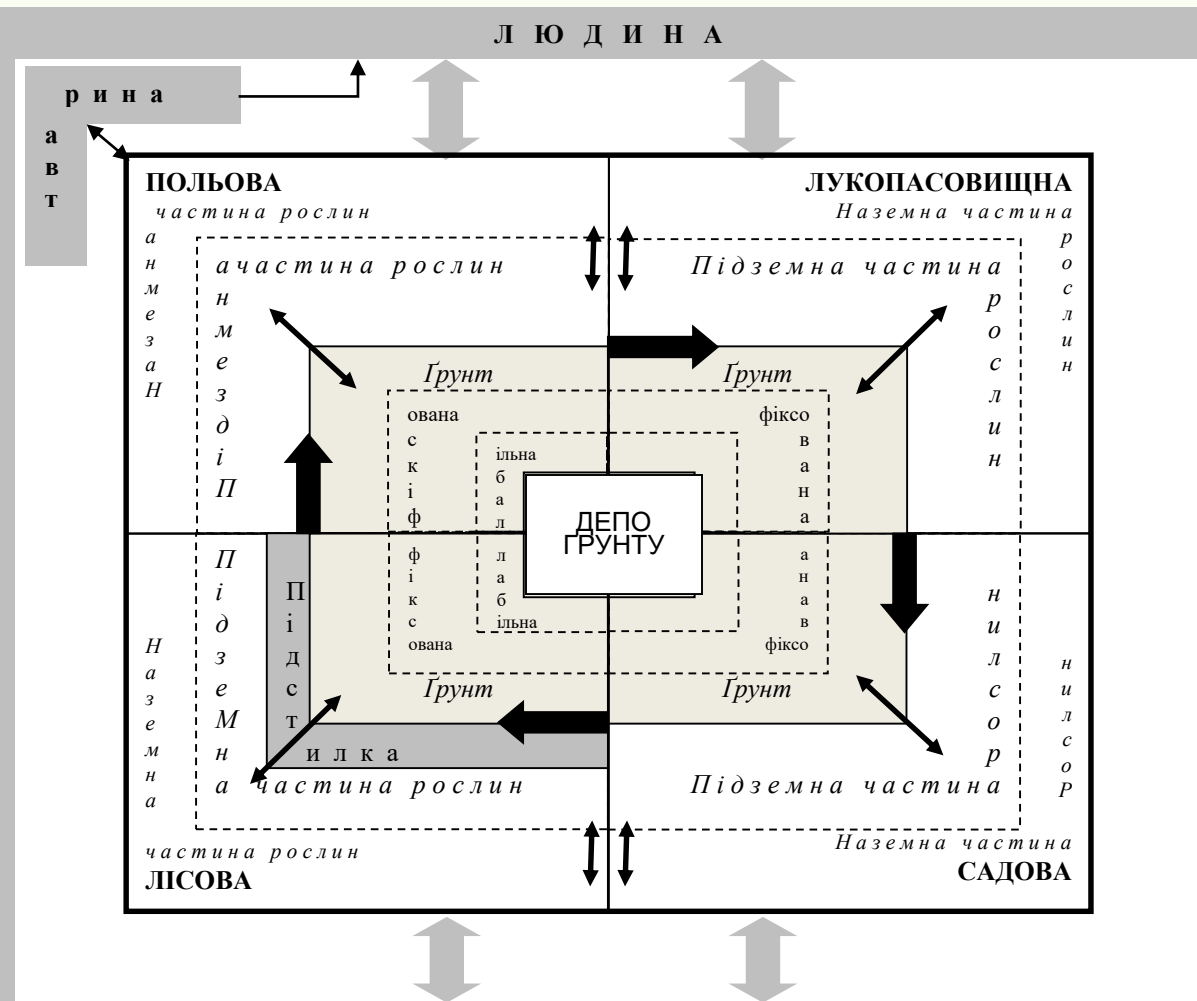


Узагальнена графічна формалізація моделі перерозподілу радіонуклідів у елементах агроландшафту Українського Полісся





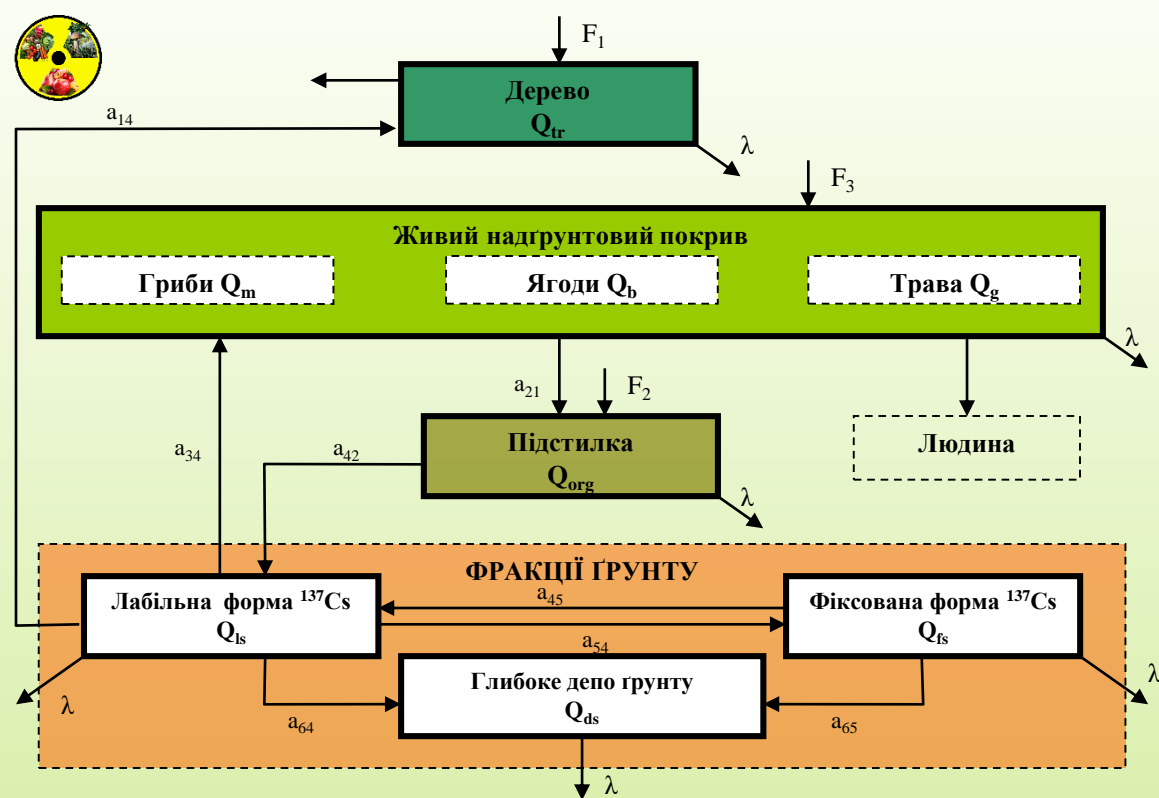
Концептуальна модель міграції радіонуклідів у агроландшафтах Українського Полісся



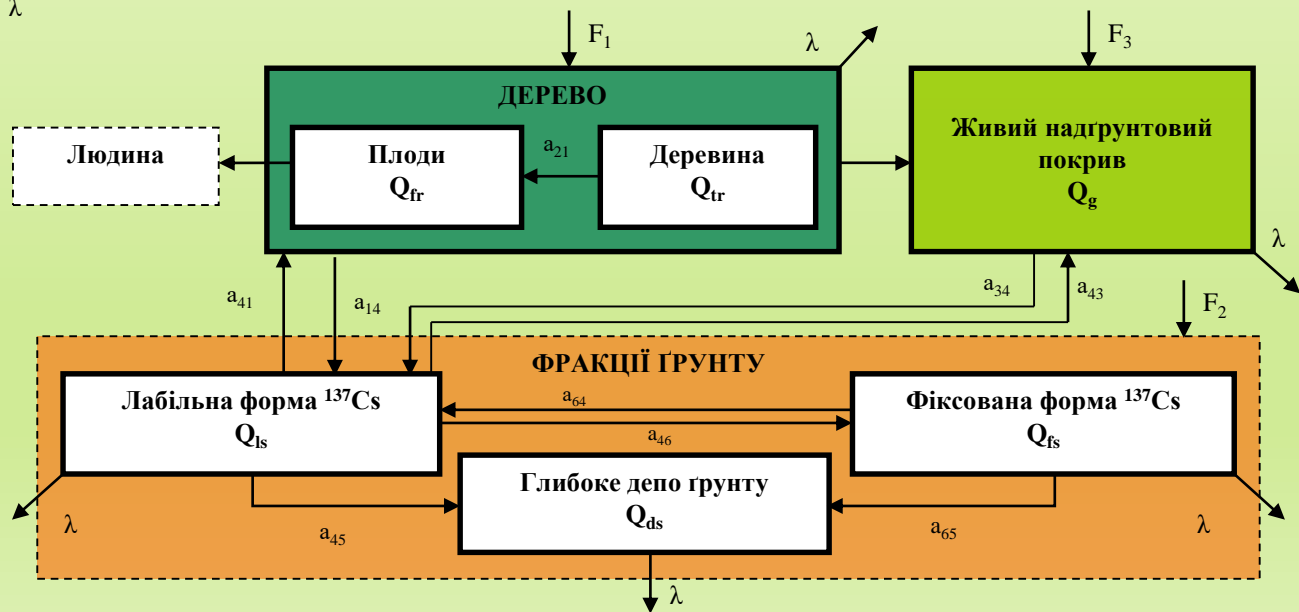
$$\frac{dQ_i}{dt} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N (a_{ji}Q_j + a_{ij}Q_i) + F_i(t) - \lambda Q_i$$

де індекс j – номер компартмента, в який направлено потік радіонукліда; індекс i – номер компартмента, з якого цей потік витікає; $F_i(t)$ – надходження забрудника в компартмент i ззовні за одиницю часу ($\text{Бкм}^{-2}\text{т}^{-1}$); $Q_i(t)$ – вміст радіонуклідів у компартменті з номером i ($\text{Бк}/\text{м}^2$); a_{ji} – ймовірність переходу радіоактивності із компартменту j в компартмент i за одиницю часу (т^{-1}); λ – швидкість напіврозпаду ^{137}Cs

Концептуальна модель міграції радіонуклідів у лісових екосистемах

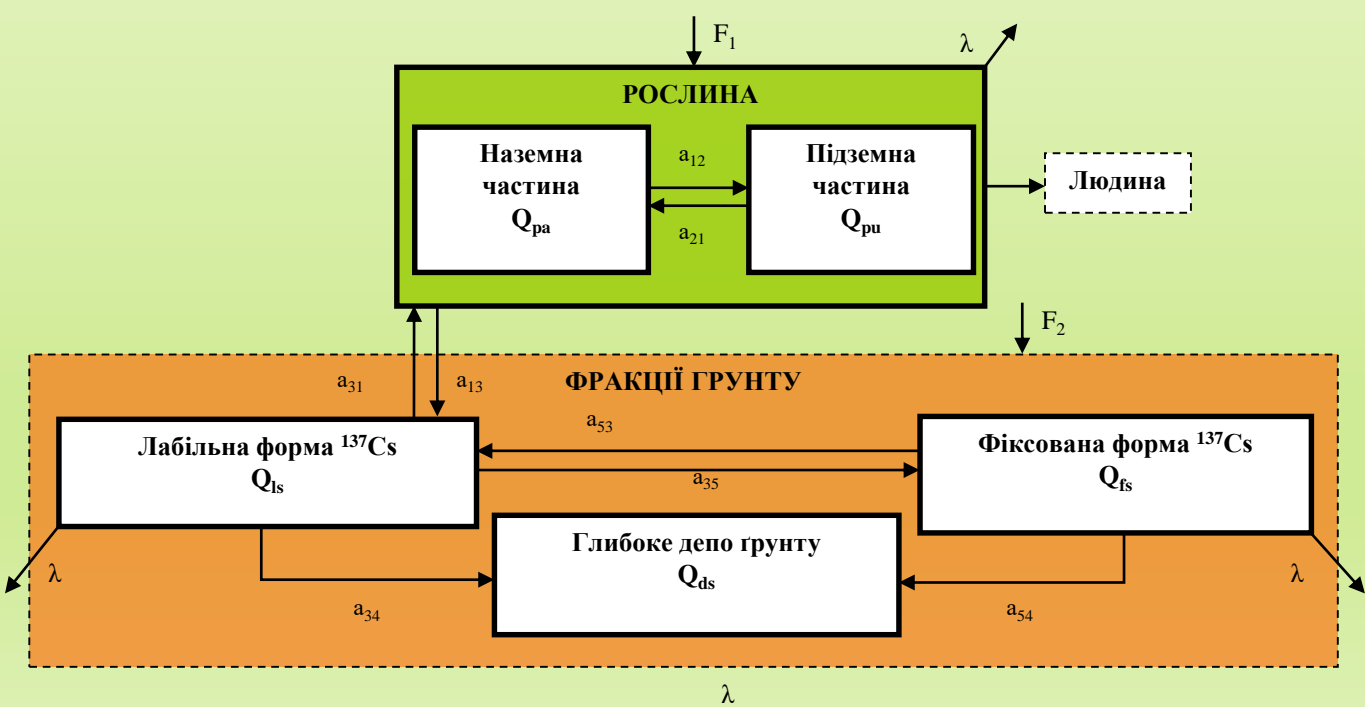
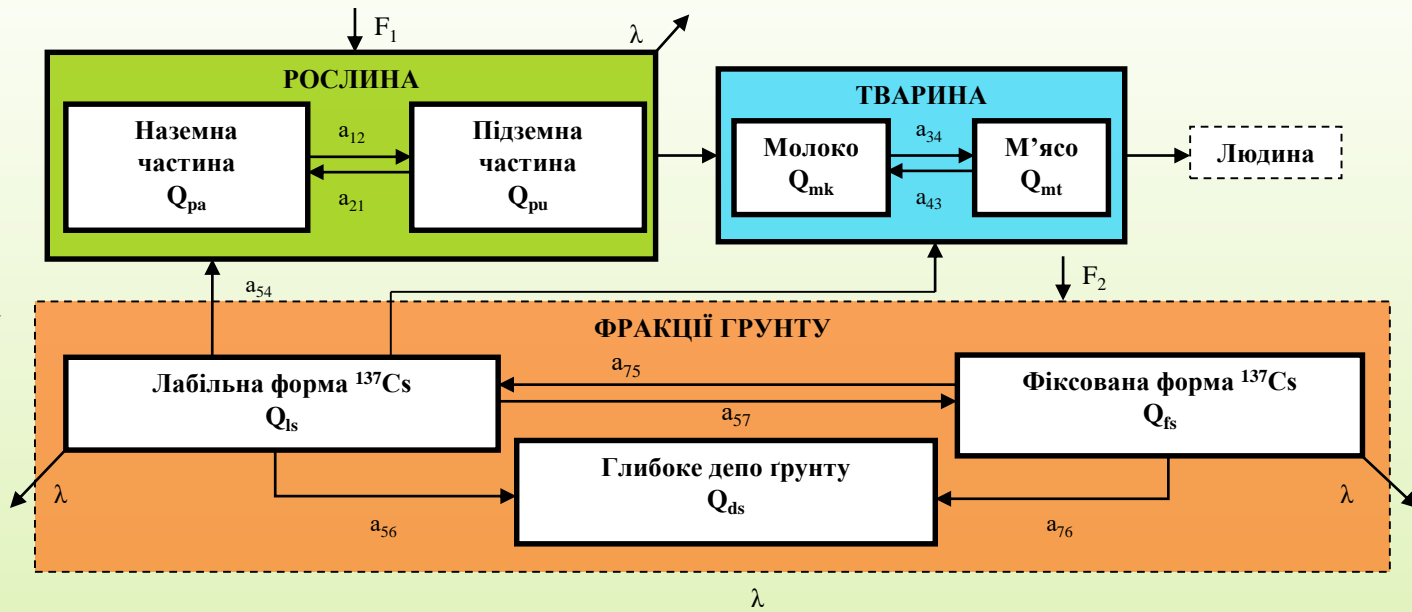


Концептуальна модель міграції радіонуклідів у садових екосистемах

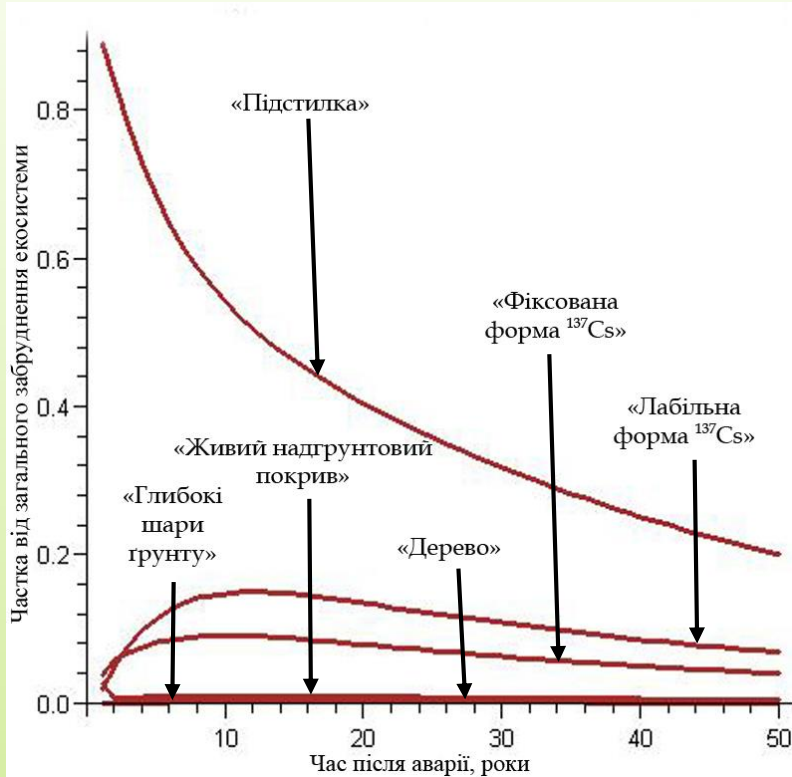




Концептуальна модель міграції радіонуклідів у лукопасовищних екосистемах

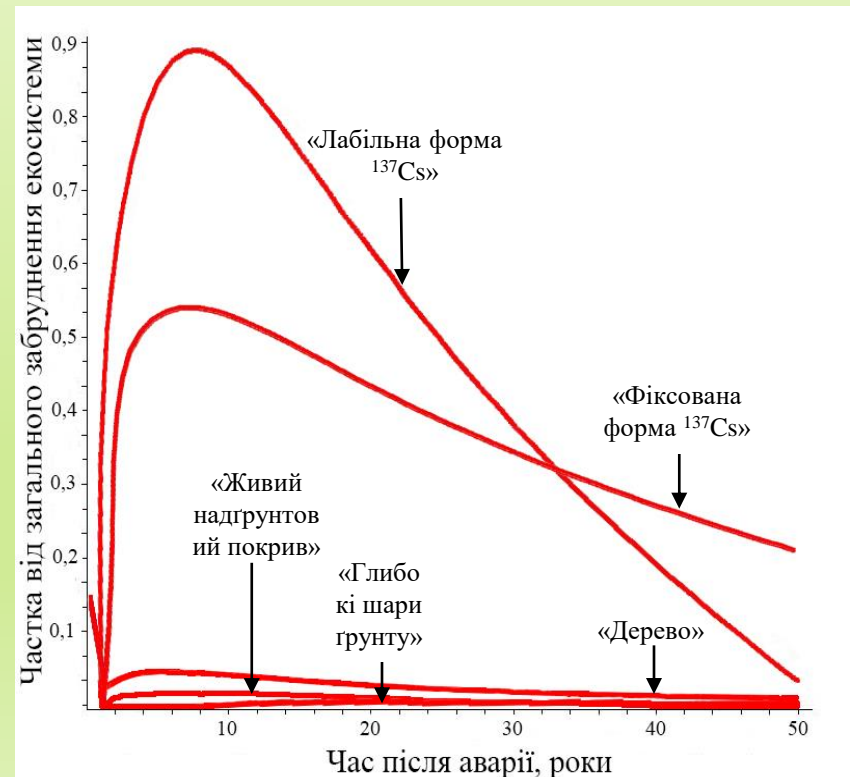


Концептуальна модель міграції радіонуклідів у польових екосистемах



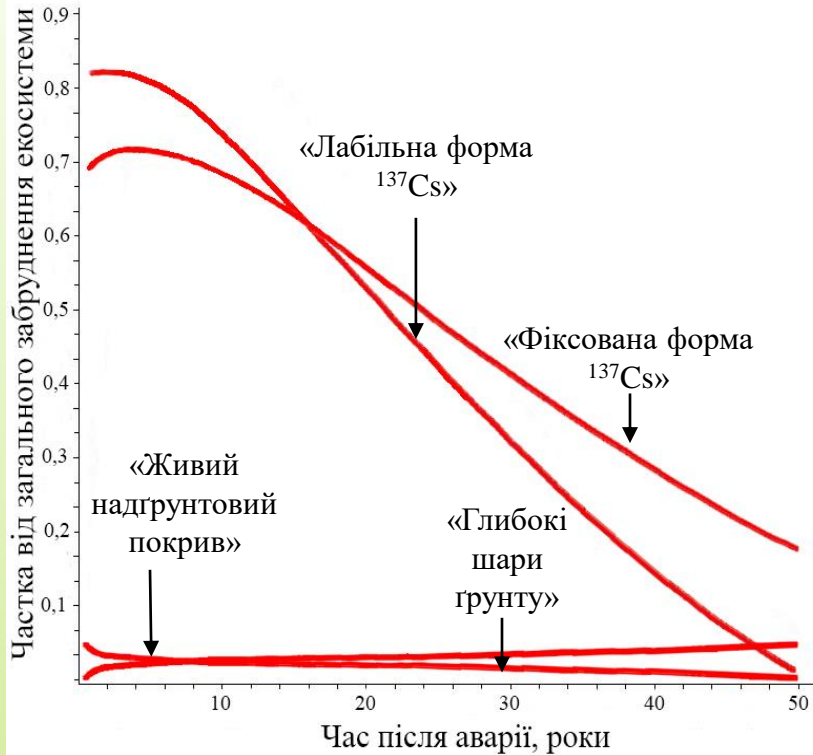
Динаміка забруднення ^{137}Cs компартментів лісової екосистеми

Динаміка забруднення ^{137}Cs компартментів садової екосистеми

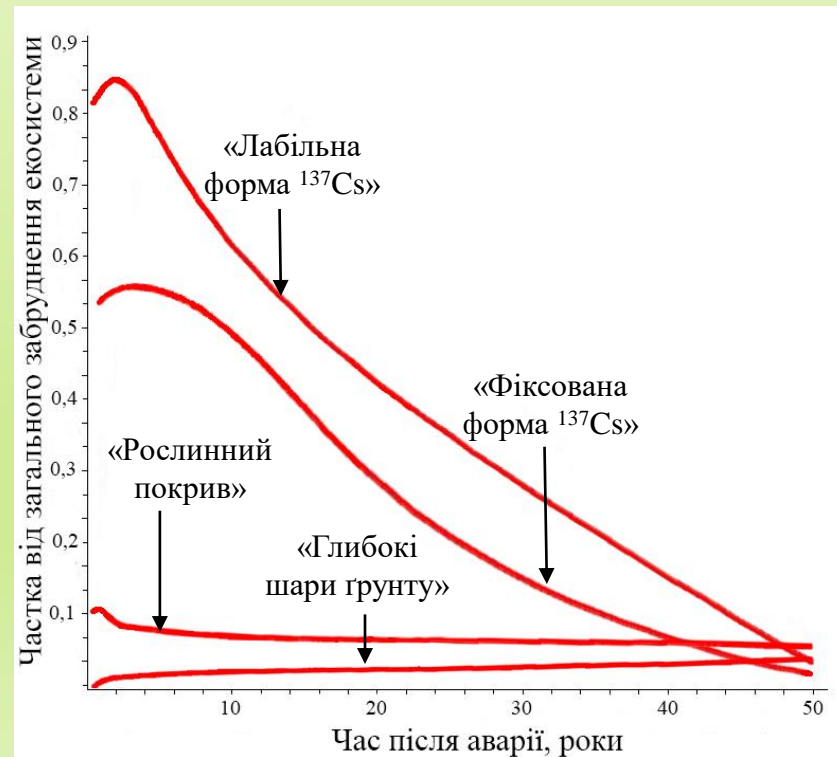




Динаміка забруднення ^{137}Cs компартментів лукопасовищної екосистеми



Динаміка забруднення ^{137}Cs компартментів польової екосистеми





Формальні статистики перевірки якості прогнозу моделей переходу ^{137}Cs з ґрунту в рослини та підстилку (лісова екосистема)

Компартменти і підкомпартменти моделі екосистеми	F - статистика Фішера	Стандартна похибка прогнозу	Статистика Дарбіна - Уотсона	MSE	ME	MPE	MAPE
Дерново - підзолистий ґрунт							
Дерево	101	0,37	2,6	0,09	0,0753	4,8	41
Живий надґрунтовий покрив	405	0,63	1,8	0,39	0,28	25	36
Підстилка	109	25	4,1	189	5,6	19	36
Лабільна форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Фіксована форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Глибокі шари ґрунту	-	-	-	-	-	-	-

MSE – середньоквадратична похибка; **ME** – середня похибка прогнозу; **MPE** – середня відсоткова похибка; **MAPE** – середня відсоткова абсолютна похибка



Формальні статистики перевірки якості прогнозу моделей переходу ^{137}Cs з ґрунту в рослини (садова екосистема)

Компартменти і підкомпартменти моделі екосистеми	F - статистика Фішера	Стандартна похибка прогнозу	Статистика Дарбіна - Уотсона	MSE	ME	MPE	MAPE
Дерново - підзолистий ґрунт							
Дерево	211	0.055	2.5	0.0030	-0.0015	-7.6	28
плоди	146	0.14	1.8	0.019	-0.018	-90	100
Живий надґрунтовий покрив	321	0.52	1.5	0.27	0.18	12	21
Лабільна форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Фіксована форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Глибокі шари ґрунту	-	-	-	-	-	-	-
Торф'яно – болотний ґрунт							
Дерево	233	0.10	1.9	0.0094	-0.0082	-20	33
плоди	65	0.25	1.9	0.064	-0.015	-54	78
Живий надґрунтовий покрив	98	16	2,1	160	3,5	14	21
Лабільна форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Фіксована форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Глибокі шари ґрунту	-	-	-	-	-	-	-

MSE – середньоквадратична похибка; **ME** – середня похибка прогнозу; **MPE** – середня відсоткова похибка; **MAPE** – середня відсоткова абсолютна похибка



Формальні статистики перевірки якості прогнозу моделей переходу ^{137}Cs з ґрунту в рослини (лукопасовишна екосистема)

Компартменти і підкомпартменти моделі екосистеми	F - статистика Фішера	Стандартна похибка прогнозу	Статистика Дарбіна - Уотсона	MSE	ME	MPE	MAPE
Торф'яно – болотний ґрунт							
Живий надґрунтовий покрив	-	-	-	-	-	-	-
природні трави	113	13	2.4	172	3.7	13	19
сіяні злакові трави	409	2.7	1.2	7.1	-0.883	-17.5	25
Лабільна форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Фіксована форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Глибокі шари ґрунту	-	-	-	-	-	-	-
Дерново - підзолистий ґрунт							
Живий надґрунтовий покрив	-	-	-	-	-	-	-
природні трави	387	1.5	1.5	2.2	0.12	-6.9	21
сіяні злакові трави	-194	0.41	1.0	-0.17	-0.087	-3.0	17
люцерна	1094	0.14	1.6	0.019	0.0137	1.8	10
конюшина	241	0.29	1.3	0.085	-0.029	-3.2	10
Лабільна форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Фіксована форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Глибокі шари ґрунту	-	-	-	-	-	-	-
Луговий ґрунт							
Живий надґрунтовий покрив	-	-	-	-	-	-	-
сіяні злакові трави	139	0.24	2.1	0.06	0.034	-0.1	37
люцерна	156	0.12	1.9	0.014	-0.0061	-11.7	32
конюшина	75	0.18	1.5	0.034	0.043	7.3	16
Лабільна форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Фіксована форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Глибокі шари ґрунту	-	-	-	-	-	-	-



Формальні статистики перевірки якості прогнозу моделей переходу ^{137}Cs з ґрунту в рослини (польова екосистема)

Компартменти і підкомпартменти моделі екосистеми	F - статистика Фішера	Стандартна похибка прогнозу	Статистика Дарбіна - Уотсона	MSE	ME	MPE	MAPE
Торф'яно – болотний ґрунт							
Рослинний покрив	-	-	-	-	-	-	-
кукурудза	333	1.18	1.1	1.40	-0.322	-11.08	29
картопля	208	0.34	2.3	0.11	0.10	-0.3	29
буряк	410	0.37	0.9	0.14	0.136	5.3	18
ячмінь	162	0.35	2.6	0.12	0.044	-4.1	15
жито	80	0.43	1.9	0.19	-0.031	-3.7	19
Лабільна форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Фіксована форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Глибокі шари ґрунту	-	-	-	-	-	-	-
Дерново - підзолистий ґрунт							
Рослинний покрив	-	-	-	-	-	-	-
кукурудза	199	0.19	1.7	0.034	0.0081	-9.8	33
капуста	170	0.28	1.8	0.078	-0.0068	-13	25
томати	111	0.26	1.8	0.069	-0.033	-82	92
огірки	291	0.15	2.9	0.023	-0.0044	-7.5	24
цибуля	197	0.13	1.3	0.018	-0.016	-4.8	11
картопля	395	0.059	1.5	0.0035	-0.0039	-4.3	14
буряк	234	0.13	0.8	0.016	0.031	3.7	16
озима пшениця	473	0.048	1.8	0.0023	-0.0018	-3.7	18
ячмінь	683	0.034	2.5	0.0011	-0.0011	-3.7	13
жито	127	0.079	0.6	0.0062	-0.025	-7.4	20
Лабільна форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Фіксована форма ^{137}Cs в ґрунті	-	-	-	-	-	-	-
Глибокі шари ґрунту	-	-	-	-	-	-	-

MSE – середньоквадратична похибка; **ME** – середня похибка прогнозу; **MPE** – середня відсоткова похибка; **MAPE** – середня відсоткова абсолютна похибка

Висновки:

- 1.** Розроблено класифікацію ландшафтів за виносом радіонуклідів з продукцією. Найбільш радіологічно небезпечними в цьому сенсі екосистемами є перезволожені луки і пасовища, лісові масиви, а також агроекосистеми на органогенних ґрунтах. Саме ці землі в силу специфіки ведення сільського господарства Українського Полісся, побуту та ряду причин соціального характеру широко експлуатуються місцевим населенням.
- 2.** Основними процесами, які впливають на перерозподіл радіонуклідів ланками екосистем, залежно від виду екосистеми, є: перехоплення, вивітрювання, поглинання, обробіток ґрунту, удобрення, полив, розкладання органічних решток, промивання радіонукліду в нижчі шари ґрунту, дифузія, фіксація мінералами ґрунту.
- 3.** На основі кількісних показників перерозподілу радіонуклідів в елементах агроландшафтів різних типів на віддаленому етапі ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС та з урахуванням характерних особливостей міграції полютантів між компонентами різних екосистем Українського Полісся науково обґрунтовано та графічно формалізовано модель перерозподілу радіонуклідів у елементах агроландшафтів різних типів досліджуваного регіону.
- 4.** Встановлено, що найскладнішими з погляду необхідної кількості врахованих показників є лісові екосистеми, а з погляду варіабельності антропогенного впливу - польові.

Висновки:

4. Модель міграції радіонуклідів у основних агроландшафтах Українського Полісся апроксимовано системою лінійних диференціальних рівнянь першого рівня зі сталими коефіцієнтами. Основними відмінностями створеної моделі порівняно з уже існуючими є: використання актуальних показників переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини, урахування антропогенного втручання в агроєкосистеми, зокрема проведення протирадіаційних заходів, урахування садових екосистем.
5. Порівняння результатів моделювання лісового блоку моделі зі схожими моделями інших авторів показало високий рівень співпадіння. Характерно високими є показники для компартментів форми знаходження радіонукліду в ґрунті – 85 та 81% для фіксованої та лабільної форми ^{137}Cs відповідно. Для глибоких шарів ґрунту відсоток співпадіння найнижчий (60%). Такі результати пояснюються низьким ступенем впливу людини на екосистему і, відповідно, вищою, порівняно з польовими чи лукопасовищними екосистемами, точністю моделювання.
6. Верифікація моделі шляхом обчислення низки статистичних показників показала високу точність прогнозів та відсутність упередженості в оцінюванні, а прогнозовані і реальні ряди є некорельованими. Побудовані моделі мають достатньо динамічних властивостей для поглинання варіації реальних рядів і можуть забезпечити менші систематичні коливання, ніж коливання реальних рядів.

Висновки:

7. Аналіз результатів моделювання показав, що у всіх без винятку екосистемах відбувається зниження вмісту ^{137}Cs . Цей процес характерний для всіх врахованих компартментів екосистем, окрім глибоких шарів ґрунту, де відбувається повільне накопичення радіонуклідів. Винесення радіонуклідів залежить від виду екосистеми, ступеня її експлуатації, ґрунтових умов та комплексу реалізованих протирадіаційних заходів. Виявлено, що за умови реалізації оптимальної системи протирадіаційних заходів та активної експлуатації для усіх змодельованих екосистем найбільше винесення радіонуклідів характерне для лісових екосистем. Друге місце за винесенням займають сіножаті та пасовища, в окремих випадках овочеві ділянки. Польові екосистеми, переважно зернові та зернобобові культури, за ступенем винесення радіонуклідів перебувають на останньому місці. Це пов'язано з рівнем забруднення окремих компонентів екосистем та їх фітомасою, а також проведеними протирадіаційними заходами



**ДЯКУЮ
ЗА УВАГУ!**