



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **101677** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
C02F 101/00 (2006.01)
G09B 25/00
G01V 9/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

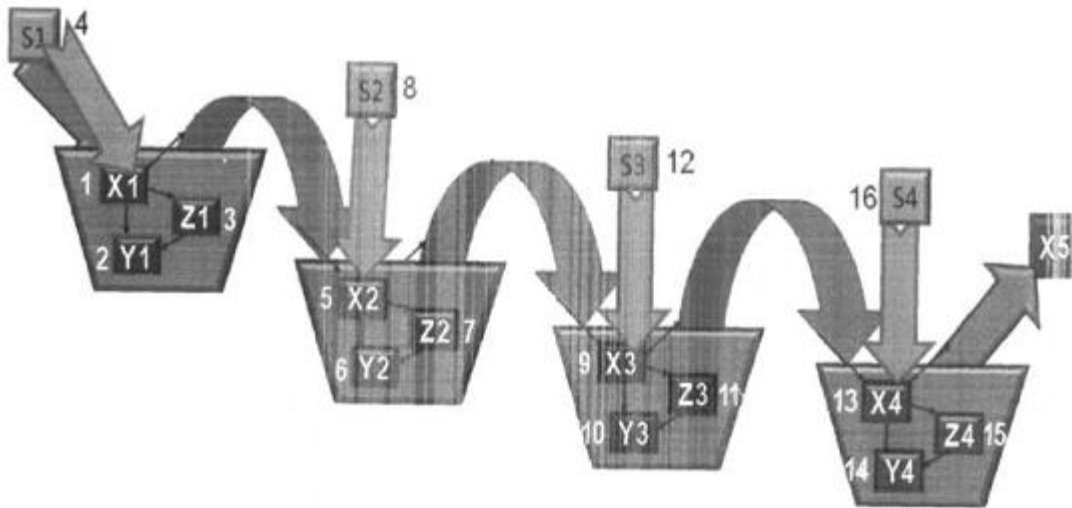
<p>(21) Номер заявки: u 2015 03047</p> <p>(22) Дата подання заявки: 02.04.2015</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.09.2015</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2015, Бюл.№ 18</p>	<p>(72) Винахідник(и): Кутлахмедов Юрій Олексійович (UA), Матвєєва Ірина Валеріївна (UA), Кравець Марія Олександрівна (UA), Явнюк Андріан Андрійович (UA), Петрусенко Валентина Павлівна (UA), Боруль Наталя Вікторівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Кутлахмедов Юрій Олексійович, вул. Урлівська, 24, кв. 19, м. Київ, 02068 (UA)</p> <p>(74) Представник: Піскова Олена Вілліївна, реєстр. №289</p>
--	--

(54) СПОСІБ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА ПРОГНОЗУ ЗАБРУДНЕННЯ ЕКОСИСТЕМИ ПОЛЮТАНТАМИ

(57) Реферат:

Спосіб реконструкції та прогнозу забруднення екосистеми полютантами включає вибір параметрів екосистеми, що підлягають дослідженню, побудову базової моделі на основі ключового параметра радіоємності, де вплив будь-якого полютанту на біоту визначається за транспортом радіонукліду ¹³⁷Cs-Трасера між камерами в рамках модельної екосистеми. Складають прогноз на основі представлення даних у вигляді графіків та векторних величин. Здійснюють реєстрацію фактичних натурних даних, порівнюють їх з даними базової моделі. Визначають коефіцієнт поправки на основі їх співвідношення, та проводять корегування базової моделі у відповідності із встановленим коефіцієнтом з одержання реальної моделі забруднення полютантами.

UA 101677 U



X - вода, Y - донні відкладення, Z - біота, S - ґрунт.

Фіг. 1

Корисна модель належить до способів наукового дослідження параметрів стану навколишнього середовища, зокрема до способів кількісного аналізу та моделювання стану екологічних систем різного рівня складності. Так, запропонований спосіб дозволяє одержувати кількісну оцінку впливу різних поллютантів на екосистему у часі, на основі чого розробляються відповідні ефективні контрзаходи та методи деконтамінації наземних та водних екосистем. Запропонована корисна модель забезпечує можливість реконструкції, оцінки та прогнозу поведінки поллютантів екологічної системи.

Природні та техногенні катаклізми, які мають місце на Україні - наслідки аварії на Чорнобильській АЕС, реальність аварій різного роду, що супроводжуються забрудненням навколишнього середовища різноманітними поллютантами, масоване хімічне та радіонуклідне забруднення значних територій тощо, виводять на перший план проблему оцінки і прогнозу міграції забруднюючих речовин в екосистемах України. У зв'язку з цим існує нагальна потреба у системі випереджувальної оцінки стану екологічної безпеки, прогнозування тенденції показників стану екосистеми. Це дозволить приймати оперативні рішення щодо безпеки екосистем і рекомендувати ефективні оперативні заходи із захисту біоти та населення, яке використовує ці екосистеми для виробництва, проживання та рекреації. Але для того, щоб вказані заходи були ефективними, існує потреба у розробці способів, які забезпечать одержання надійних даних щодо рівня початкового забруднення (реконструкція) та випереджувальної оцінки (прогнозування) показників стану екологічної безпеки.

На сьогоднішній день є відомим підхід до оцінки стану екосистеми, який передбачає моніторинг даних стосовно забруднення екосистеми поллютантами (зокрема, радіонуклідами) та нанесення їх на карту місцевості. Так, відомий спосіб [V.G. Linnik, A.A. Saveliev, A.P. Govorun et. al. "Spatial Variability and topographic factors of ¹³⁷Cs soil contamination at a field scale" International Journal of ecology and development. Fall 2007, V8, NFO7, p. 8-25], включає характеристики мікрорельєфу ландшафту і локальні оцінки розподілу поллютантів. При такому підході дослідник може лише аналізувати існуючу ситуацію, але позбавлений можливості робити довгострокові прогнози щодо міграції поллютантів через певні проміжки часу та передбачити тенденції перерозподілу поллютантів та розвитку стану екосистеми у часі. Таким чином, одержують карту забруднення екосистеми на даний момент. У цих розробках автори не йдуть далі розрахунків рівнів забруднення рослинності, спираючись на табличні дані про коефіцієнт накопичення поллютантів (K_p) для ґрунту та рослин. При такому підході дослідник може лише аналізувати існуючу ситуацію, але позбавлений можливості робити довгострокові прогнози щодо міграції поллютантів через певні проміжки часу та передбачити тенденції перерозподілу поллютантів та розвитку стану екосистеми у часі.

Є відомим спосіб визначення допустимих техногенних навантажень на екологічну систему з властивістю самовідновлення (деклараційний патент на корисну модель UA15482, опубл. 2006). Спосіб передбачає оцінку початкового екологічного стану системи, вимірювання інтенсивності окремого або величини сумарного техногенного навантаження, а також час дії забруднення, і прогноз зміни стану екосистеми під впливом техногенного навантаження за законом логістичної функції. Після цього коригують час постійного техногенного навантаження і час самовідновлення таким чином, щоб не допустити входження екосистеми у критичний стан. Вказаний спосіб дозволяє деякою мірою прогнозувати стан системи, проте він є обмеженим, оскільки не може прогнозувати тенденції стану забруднення екосистеми та показувати шлях міграції та/або розподілу/перерозподілу поллютанту як у часі, так і у просторі.

У деклараційному патенті UA 73581 (опубл. 25.09.2012), який є найближчим аналогом корисної моделі, описується спосіб визначення надійності біоти екосистеми, який включає вибір та реєстрацію характеристик екосистеми, розрахунок ключового параметра радіоємності та складання прогнозу на основі представлення даних у вигляді графіків та векторних величин, які піддають візуалізації для побудови просторових цифрових карт реальної екосистеми, при цьому вплив будь-якого поллютанту на біоту визначається за транспортом радіонукліду ¹³⁷Cs-Трасера між камерами в рамках модельної екосистеми, а представлення даних у вигляді векторних величин здійснюють за допомогою методу "камерних моделей". Недоліком вказаного способу є те, що у ряді випадків складений на основі цього способу прогноз є не досить точним та може суттєво відрізнятись від реального стану екосистеми на відміну від прогностичного, завдяки тому, що екосистеми є досить складними, багатофункціональними системами, які характеризуються рядом складових та параметрів, можуть виявляти різнонаправлений вплив на екосистему.

Задача корисної моделі полягає у підвищенні точності визначення забруднення поллютантами екосистеми на основі побудованої моделі як у минулому, так і у майбутньому.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб реконструкції та прогнозу забруднення екосистеми поллютантами включає вибір параметрів екосистеми, що підлягають дослідженню, побудову базової моделі на основі ключового параметра радіємності, де вплив будь-якого поллютанту на біоту визначається за транспортом радіонукліду ^{137}Cs -Трасера між камерами в рамках модельної екосистеми, та складання прогнозу на основі представлення даних у вигляді графіків та векторних величин, при цьому здійснюють реєстрацію фактичних натурних даних, порівнюють їх з даними базової моделі, визначаючи коефіцієнт поправки на основі їх співвідношення, та проводять корегування базової моделі у відповідності із встановленим коефіцієнтом з одержання реальної моделі забруднення поллютантами як у минулому, так і у майбутньому.

Перший етап здійснення способу реконструкції та прогнозу забруднення екосистеми поллютантами полягає у виборі характеристик, що підлягають дослідженню. До таких належать параметри, які мають визначальний вплив на депонування та міграцію поллютанту в екосистемі. Це можуть бути параметри окремих локальних екосистем (озеро, річка, болото тощо), екосистем лінійного типу (схилів та гірські екосистеми тощо). Вказані параметри, що характеризують екосистему, будуть варіювати в залежності від типу складності екосистеми. Так, для локальних екосистем та екосистем лінійного типу мають значення тип покриття (трава, чагарник, пісок тощо), сорбційні характеристики елементів екосистеми (зокрема, характеристики донних відкладів у водних екосистемах), коефіцієнт накопичення поллютанту, його швидкість накопичення, зокрема, в системі ґрунт-рослини, швидкість горизонтального стоку. Для ландшафтних екосистем має значення, зокрема, крутизна схилів екосистеми, швидкість вертикального стоку та інші. Деякі з цих даних можна отримати з літературних джерел, інші визначаються при натурному дослідженні екосистеми. В загальному випадку основними параметрами є фізико-хімічні і біохімічні характеристики речовин-забруднювачів, а також природні і антропогенні умови середовища, включаючи характер поверхні, кути нахилу рельєфу, механічний та хімічний склад ґрунтоутворюючих порід, характеристики рослинного покриву тощо.

Як і найближчий аналог, запропонований спосіб ґрунтується на транспорті радіонукліду ^{137}Cs -трасера між камерами в рамках модельної екосистеми, при цьому ключовий параметр являє собою радіємність (R) компонента екосистеми - (камера - J), що визначається за формулою (1):

$$R = \sum a_{ij} / (\sum a_{ij} + \sum a_{ji}) \quad (1),$$

де $\sum a_{ij}$ - сума швидкостей надходження радіонукліду від інших камер екосистеми,

$(\sum a_{ij} + \sum a_{ji})$ сума швидкостей надходження та відтоку трасера в інші складові екосистеми,

R - безрозмірна величина (від 0 до 1), що визначає ймовірність утримання радіонуклідутрасера в різних компонентах екосистеми.

Під радіємністю розуміють граничну кількість поллютанту (радіонукліда), що може депонуватися у біоті екосистеми, не порушуючи при цьому її основні властивості (продуктивність, кондиціонування та надійність). Мірою радіємності є фактор радіємності, який характеризується відношенням кількості поллютанту (кількості радіоактивності), що утримується біотичним компонентом екосистеми, до всієї радіоактивності, що міститься в цій екосистемі.

В основу візуалізації одержаних даних процесів переносу та міграції поллютантів в екосистемах та ландшафтах покладено метод "камерних моделей". Згідно з цим методом екосистему можна розділити на кілька взаємодіючих камер, між якими відбувається обмін поллютантами. Потрапивши у камеру, поллютант (радіонуклід, зокрема, ^{137}Cs -Трасер) миттєво переміщується у всіх її частинах, однаково в будь-який момент часу. При цьому втрати поллютанту (радіонукліду) камерою є пропорційними концентрації поллютанту у камері. Перенос поллютантів між камерами підпорядковується кінетиці першого порядку і описується системою звичайних диференціальних рівнянь (див., наприклад, патент UA73581).

Наведений вище метод лежить в основі комп'ютерних програм для візуалізації одержаних даних, таких як ARCinfo, MAPinfo та інші. Після векторизації одержаної інформації її прив'язують до географічної карти для побудови просторових цифрових карт, одержуючи при цьому базову модель реконструкції та прогнозу забруднення поллютантами. У своїх дослідженнях ми використовували програму Maple.

Основною відмінністю запропонованого способу від відомого є проведення реєстрації фактичних натурних даних на певний момент часу, які порівнюють з відповідними даними базової моделі, визначаючи коефіцієнт поправки на основі їх співвідношення, та проводять корегування базової моделі. Це забезпечує можливість уточнення базової моделі з одержанням моделей реконструкції та прогнозу, що є більш наближеними до реальних даних.

На основі описаного способу була проведена оцінка (реконструкція та прогноз) забруднення водойм Голосіївських ставків.

Фігура 1. Блок-схема каскаду Голосіївських ставків. Використовувані позначення: X - вода, Y - донні відкладення, Z - біота, S - ґрунт.

5 Фігура 2. Порівняння моделей (базова та уточнена) динаміки концентрації радіонуклідів протягом 50 років у першому ставку.

Фігура 3. Порівняння моделей (базова та уточнена) динаміки концентрації радіонуклідів протягом 50 років у другому ставку.

10 Фігура 4. Порівняння моделей (базова та уточнена) динаміки концентрації радіонуклідів протягом 50 років у третьому ставку.

Фігура 5. Порівняння моделей (базова та уточнена) динаміки концентрації радіонуклідів протягом 50 років у четвертому ставку

Корисна модель описується далі наступним прикладом, який пояснює запропонований спосіб та стосується реконструкції та прогнозу радіоактивного забруднення екосистем водойм.

15 Приклад. Дослідження проводили у каскаді Голосіївських (Дидорівських) ставків у 2014 році. При цьому для побудови моделі вибирали такі камери, як "ґрунт", "вода", "донні відклади", "біота". Базову модель радіоактивного забруднення будували на основі поведінки Cs-трасера в забруднених водоймах та їх біотичних компонентах. В побудовані моделі увійшли такі камери як "ґрунт", "вода", "донні відклади", "біота". Блок схема каскаду Голосіївських ставків представлена на Фігурі 1.

Базова модель Голосіївських ставків побудована на основі блок-схеми і враховує швидкості переходу радіонуклідів між камерами та всередині кожної камери між водою, біотою і донними відкладами. Камерна модель каскаду ставків у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь першого порядку представлена нижче:

25
$$\begin{aligned} dX1/dt &= a41 \cdot S1(t) - (a13 + aJ2 + aJ5) \cdot X1(t), & dY1/dt &= a12 \cdot X1(t), & dZ1/dt &= a13 \cdot X1(t), & dS1/dt &= -a41 \cdot S1(t), \\ dX2/dt &= a85 \cdot S2(t) - (a57 + a56 + a59) \cdot X2(t), & dY2/dt &= a56 \cdot X2(t), & dZ2/dt &= a57 \cdot X2(t), & dS2/dt &= -a85 \cdot S2(t), \\ dX3/dt &= a129 \cdot S3(t) - (a911 + a910 + a913) \cdot X3(t), & dY3/dt &= a910 \cdot X3(t), & dZ3/dt &= a911 \cdot X3(t), & dS3/dt &= -a129 \cdot S3(t), \\ dX4/dt &= a1613 \cdot S4(t) - (a1315 + a1314 + a1317) \cdot X4(t), & dY4/dt &= a1314 \cdot X4(t), \\ dZ4/dt &= a1315 \cdot X3(t), & dS4/dt &= -a1613 \cdot S4(t), \end{aligned}$$
 де a - коефіцієнти переходу радіонуклідів між камерами, X1-4 - вода, Y1-4 - донні відкладення, Z - біота, S1-4 - ґрунт.

30 Середні значення швидкостей переносу взяті за типовими натурними дослідженнями та за результатами розрахунків:

$a41=0.05, a12=0.6, a13=0.35, a15=0.05, a85=0.03, a56=0.6, a57=0.35, a59=0.05, a129=0.03, a910=0.6, a911=0.35, a913=0.05, a1613=0.02, a1314=0.6, a1315=0.35, a1317=0.05.$

35 Базові моделі динаміки зміни концентрації радіонуклідів протягом 50 років у кожному із чотирьох ставків у вигляді графіків, побудованих у відповідності із найближчим аналогом для найбільш важливих камер у процесах розподілу та перерозподілу радіонуклідів, є представленими на Фігурах 2, 3, 4, 5 (показані зліва).

40 Після цього проводили реєстрацію фактичних натурних даних для ¹³⁷Cs-Трасера та порівнювали їх з даними базової моделі, визначаючи коефіцієнт поправки, та проводили корегування базової моделі у відповідності із встановленим коефіцієнтом з одержання реальної моделі реконструкції та прогнозу забруднення поллютантами. Результати фактичних натурних досліджень представлені в Таблиці 1.

Таблиця 1

Вміст ¹³⁷Cs-Трасера в компонентах каскаду Голосіївських ставків

№ ставка	№ проби	a (Бк) донні	a (Бк) ґрунт	a (Бк) біота
1	1	60,95	136,5	60,85
	2	51,75	195,5	63,85
	сер.	56,35	166	62,35
2	1	22,15	36,8	54,1
	2	64,1	65,85	21,1
	сер.	43,125	51,325	37,6
3	1	25,95	37,55	25,3
	2	51,25	109	50,45
	сер.	38,6	73,275	37,875
4	1	20,4	67,85	31,35
	2	40,45	54,6	21,6
	сер.	30,425	61,225	26,475

Екстраполяцію проводили шляхом визначення співвідношення між фактичними натурними даними та даними базової моделі наступним чином: $a_{41}=0.05$, $a_{12}=0.104$, $a_{13}=0.115$, $a_{15}=0.05$, $a_{85}=0.03$, $a_{56}=0.98$, $a_{57}=0.86$, $a_{59}=0.05$, $a_{129}=0.03$, $a_{910}=0.46$, $a_{922}=0.38$, $a_{913}=0.05$, $a_{1613}=0.02$, $a_{1314}=0.647$, $a_{1315}=0.38$, $a_{1317}=0.05$.

Уточнені дані щодо динаміки розподілу та перерозподілу радіонуклідів були представлені у вигляді графіків, що є приведеними на Фігурах 2, 3, 4, 5 (показані справа).

Найбільше накопичення ^{137}Cs спостерігалось в першому ставку і далі концентрації зменшувалися по каскаду. Тут спостерігали значну роль біоти в накопиченні радіонуклідів у ставку. У першому ставку накопичення ^{137}Cs було найбільшим у біоті. У ставках, що розташовуються нижче за каскадом визначальна роль належить донним відкладенням, але роль біоти залишається значною.

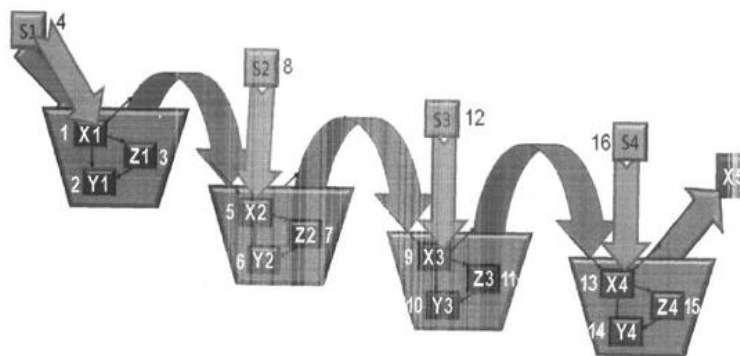
В результаті використання запропонованого способу реконструкції та прогнозу забруднення отримана адекватна модель накопичення радіонуклідів ^{137}Cs в каскаді Голосіївських ставків. Базова модель була уточнена після отримання фактичних натурних даних.

Запропонована корисна модель може успішно використовуватися для оцінки початкового забруднення (реконструкції) в екосистемі за відсутності натурних даних на той момент часу, спостереження динаміки розподілу і перерозподілу поліюантів в екосистемі, одержання інформації щодо подальшого рівня забруднення (прогноз) та обґрунтування необхідності та ефективності заходів по знезаражуванню.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

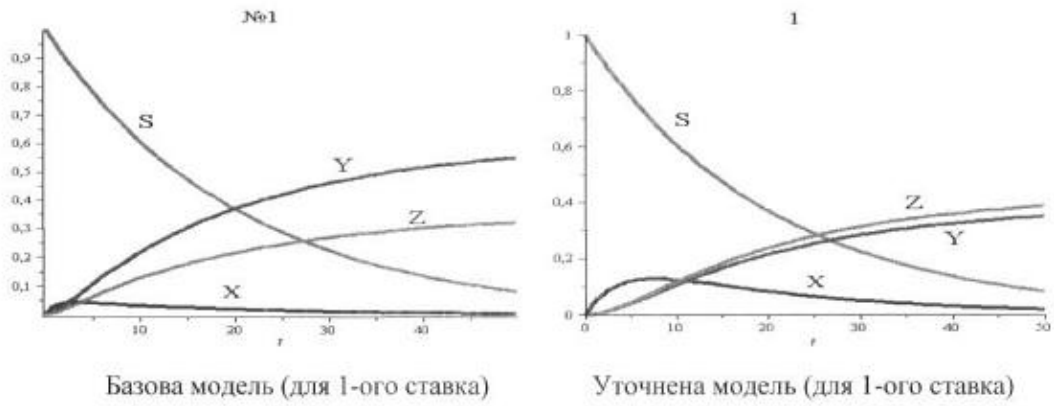
1. Спосіб реконструкції та прогнозу забруднення екосистеми поліюантами, що включає вибір параметрів екосистеми, що підлягають дослідженню, побудову базової моделі на основі ключового параметра радіоємності, де вплив будь-якого поліюанту на біоту визначається за транспортом радіонукліду ^{137}Cs -Трасера між камерами в рамках модельної екосистеми, та складання прогнозу на основі представлення даних у вигляді графіків та векторних величин, який **відрізняється** тим, що здійснюють реєстрацію фактичних натурних даних, порівнюють їх з даними базової моделі, визначають коефіцієнт поправки на основі їх співвідношення та проводять корегування базової моделі у відповідності із встановленим коефіцієнтом з одержання реальної моделі забруднення поліюантами.

2. Спосіб за пунктом 1, який **відрізняється** тим, що представлення даних у вигляді векторних величин здійснюють за допомогою методу "камерних моделей" та моделей радіоємності та/або надійності екосистем.

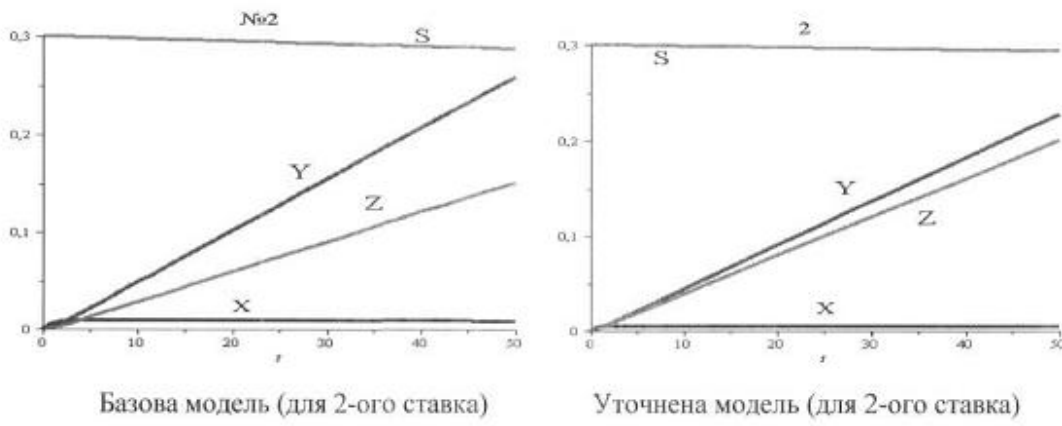


X - вода, Y - донні відкладення, Z - біота, S - ґрунт.

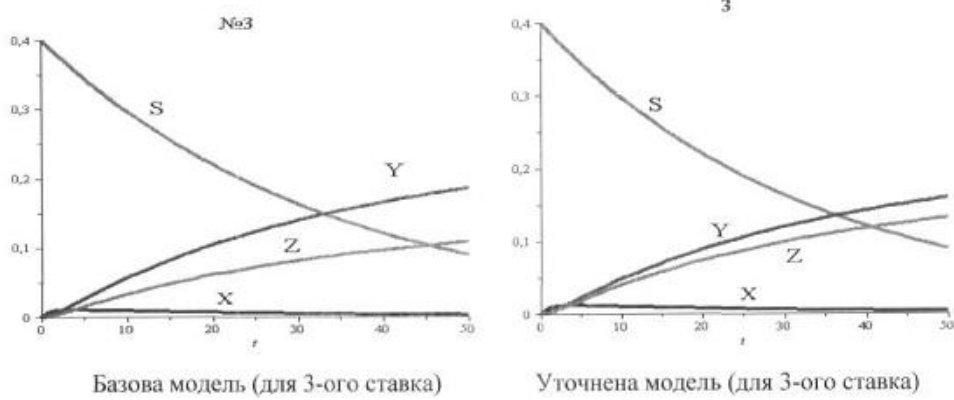
Фіг. 1



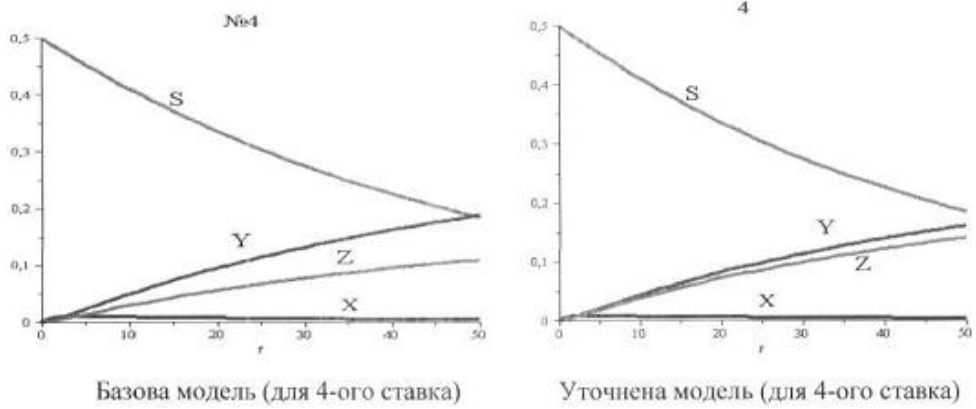
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601