

СОЦІАЛЬНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ЕКОНОМІКА

УДК 51-77; 330.42; 504

МОДЕЛІ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ СПРИЧИНЕНИХ ЗАБРУДНЕННЯМ ҐРУНТІВ СТІЙКИМИ ОРГАНІЧНИМИ ПЕСТИЦИДАМИ

О. І. Дребот, д.е.н., Інститут агроекології і природокористування НААН України

О. М. Моклячук, к.ф.-м.н., НТУУ «КПІ»

Т. О. Моклячук, аспірант, Інститут агроекології і природокористування НААН України

В. В. Монарх, аспірант, Інститут агроекології і природокористування НААН України

З метою проведення еколого-економічної оцінки методів очищення забруднених стійкими органічними забруднювачами (СОЗ) ґрунтів розроблено математичну модель поширення забруднення СОЗ від джерел, якими є едафотопи старих складів отрутохімкатів. Визначено концентрації СОЗ в ґрунтах едафотопів складів отрутохімкатів Крижопільського району Вінницької області. Розраховано абсолютні та відносні ситуаційні екологічні ризики небезпеки територій, забруднених стійкими органічними забруднювачами.

Ключові слова: непридатні пестициди, екологічний ризик, математична модель, еколого-економічна оцінка.

Вступ

Високоякісна сільськогосподарська продукція може бути вироблена лише на незабруднених ґрунтах. В Україні основними джерелами забруднення ґрунтів стійкими органічними забруднювачами (СОЗ) досі є старі склади агрохімкатів, де впродовж багатьох років зберігали та перевантажували великі кількості пестицидів. Серед пестицидів дев'ять є речовинами, які входять до переліку СОЗ [1]. Непридатні пестициди довгий час накопичувались на складах і звалищах по всій території України починаючи з радянських часів. Забруднення навколишнього середовища СОЗ становить підвищену небезпеку для довкілля та людей через загрозу проникнення у підземні води, забруднення питної води, сировини тваринного і рослинного походження, продуктів харчування.

За даними Міністерства екології та природних ресурсів України, загальна кількість складів пестицидів на території держави перевищує 3000, за винятком так званих гарячих точок - забруднених ділянок, розташованих на місці зруйнованих складів. У 2010 році Міністерство екології та природних ресурсів розпочало велику програму по переробці небезпечних відходів в Україні. Ця програма є однією з пріоритетних програм Міністерства. Непридатні пестициди вивозяться за кордон для знешкодження на відповідних об'єктах [2].

Однак, ліквідація непридатних пестицидів не вирішує повністю проблему забруднення довкілля. Внаслідок довготривалого використання й зберігання великої кількості стійких токсикантів відбулось забруднення едафотопів складів агрохімкатів стійкими токсичними сполуками у високих концентраціях. Забруднення з джерел, які містять СОЗ, здатне поширюватись різними шляхами на великі відстані [1], у тому числі на розташовані поруч сільськогосподарські угіддя.

Як наслідок, виникає небезпека забруднення продукції, яка вирощується на даних угіддях; вживання такої продукції створює пряму загрозу для людського організму [3].

У зв'язку з цим існує необхідність очистки забруднених непридатними пестицидами ґрунтів. Постає питання вибору найбільш екологічно безпечного та економічно вигідного методу очищення забруднених едафотопів. При цьому необхідно визначити рівень ризику, що спричинений забрудненням, щоб оцінити терміновість очистки забрудненого едафотопу, та вибрати метод, який би мінімізував витрати, час та ризик.

Методи та матеріали

Для оцінки рівня ризиків забруднення ґрунтів, використовувались підходи, розроблені в Інституті екології і токсикології ім. Л.І. Медведя (Київ, Україна). В роботах [4, 5] встановлено, що потенційна небезпека антропогенного екологічного навантаження пестицидів на певній території може бути виражена інтегрально, шляхом визначення ситуаційного ризику небезпеки. Проте, даний метод розроблений для умов рівномірного внесення діючої речовини (д.р.) у ґрунт та не пристосований для оцінки ризику від забруднення на полі, де присутній склад непридатних пестицидів. Тому в даній статті цей метод модифікований та пристосований до наших умов.

Для визначення величини ситуаційного ризику територій, що знаходяться під впливом складу отрутохімкатів, перш за все необхідно знайти загальну масу діючої речовини, яка надійшла у ґрунт. Щоб обчислити загальну масу діючої речовини, за умови відомої залежності концентрації, від відстані до складу, використовуються практичні застосування методів теорії кратних інтегралів, наведені в [6], та теорії диференціальних рівнянь, наведені в [7]. Попередні наші дослідження показують, що найвища концентрація ДР буде спостерігатися на території санітар-

ної зони складу отрутохімікатів, та буде спадати із збільшенням відстані від складу [8] Щоб визначити залежність концентрації ДР від відстані від складу, використовується математичний метод нелінійної регресії[9].

Для визначення кількостей хлорорганічних пестицидів, а також 4,4'-ДДТ і його метаболітів (4,4'-ДДЕ, 4,4'-ДДД), ми використовували метод румбічної сітки. За цим методом, зразки ґрунту відбирались в чотирьох напрямках від складу (на північ, південь, захід та схід), на відстанях 1, 5, 10, та 15 метрів. Ґрунт збирали у паперові пакети, потім поміщали в підписані пластикові мішки та відвозили до лабораторії, де вони зберігалися в замороженому стані до проведення аналізів. Зразки ґрунту відбирались відповідно до діючих державних стандартів України (ISO 10381, ISO 6498). Виміри кількості пестицидів проводились методом газової хроматографії на детекторі по захопленню електронів відповідно до діючих державних стандартів України (ISO 10382, ISO 14181).

Оцінку ситуаційного ризику проведено для сільськогосподарських угідь, які межують зі старими складами отрутохімікатів у населених пунктах Крижопільського р-ну, Вінницької обл. у селах Гарячківка, Зеленянка, Куниче, Леонівка та Кісниця.

Розробка моделі ситуаційного ризику небезпеки

Ризик є мірою небезпеки та може бути виражений як сукупний фактор ймовірності виникнення небажаної події та її наслідків. Ризик – це кількісна характеристика дії сукупності всіх небезпек. Керування ризиком – це аналіз ризикової ситуації, розробка та обґрунтування рішення, яке спрямоване на мінімізацію ризику. Найважливішим принципом керування ризиком є врахування усіх існуючих небезпек в конкретному випадку та сукупний ризик від них, котрий не має перевищувати «рівень прийнятності». Модель керування ризиком складається з чотирьох частин. Перший етап – характеристика ризику, оцінка рівня шкідливості. Другий етап – визначення прийнятності ризику. Третім етапом є вибір заходів для зменшення ризику. Четвертим і останнім етапом є прийняття регулюючих рішень та розробка нормативних актів для реалізації заходів, обраних на третьому етапі [10]. Фактори, які зумовлюють ризик в проблемній ситуації, розділяють на дві головні групи: індивідуальний ризик та ситуаційний ризик. Індивідуальний ризик – це ризик, який спричинений діями суб'єкта ризику, а ситуаційний спричинений особливостями проблемної ситуації [11].

Наша задача – оцінити ризик, який спричиняється забрудненням едафотопу складу отрутохімікатів СОЗ, тобто ризик, спричинений незалежними факторами. Такий ризик є ситуаційним. Наведена у статті [4] формула дає можливість

обрахувати ситуаційний ризик у випадку, коли діюча речовина рівномірно розподілена у ґрунті. Проте, за наявності на території поля складу отрутохімікатів, концентрація діючої речовини на полі не є сталою та залежить від багатьох чинників. Саме тому виникла необхідність вдосконалити даний метод, врахувавши нерівномірність концентрації діючої речовини, та побудувати модель розподілу діючої речовини у ґрунті.

Загальна модель ситуаційного ризику небезпеки (R) має вигляд :

$$R = \sum_{i-\text{Д.Р.}} \frac{Ai + Bi + Di}{Ico}$$

та складається з трьох блоків – блоку Ai (Оцінка територіального навантаження д.р.), блоку Bi (Модельний блок санітарно-гігієнічної оцінки територіального навантаження СОЗ) та блоку Di (Модельна оцінка можливої епідконтактності населення з токсикантом на території його застосування) [4].

Для визначення блоків даної формули основною базовою величиною є рівень прямого навантаження, проте порахувати дану величину за допомогою методів, запропонованих в даній моделі, у випадку наявності едафотопу складу на ділянці, що досліджується, не є можливим.

Для розрахунку блоку Ai необхідно розрахувати величину Аpi, яка являє собою масу і-ї д.р. поділену на загальну площу впливу цієї д.р. Щоб знайти Аpi, побудуємо модифіковану формулу прямого навантаження, яка буде враховувати розташування складу поблизу.

Спираючись на практичні розділи теорії диференціальних рівнянь[7], приймемо, що забруднення поширюється навколо складу в оберненій експоненціальній залежності від відстані. Тоді, враховуючи методи нелінійної регресії [9], можна записати наступну формулу:

$$P_i(x) = P_{S_i} \cdot l_i \cdot \exp\{-m_i x + 1\}.$$

Тут x – відстань від центра зони складу; $P_i(x)$ – рівень забруднення і-ю Д.Р. на відстані x ; P_{S_i} – рівень забруднення і-ю Д.Р. в межах зони складу; $\exp(-m_i x + 1)$ – експонента в степені $m_i x + 1$; l_i , m_i – регресійні коефіцієнти.

Для визначення загальної маси і-ї ДР при відомій залежності концентрації від відстані до складу, застосуємо методи практичних аспектів кратних інтегралів [6]. Розділимо територію навколо складу концентричними колами на ділянки. Занумеруємо ці ділянки в порядку зростання. Частина з цих ділянок перетнеться з територією поля, утворюючи частини секторів кругів. Нехай утворилось N частин. Площу однієї такої частини можна обрахувати наступним чином:

$$S_k = \pi \frac{\beta_k - \alpha_k}{2} (r_k^2 - r_{k-1}^2),$$

де β_k та α_k – відповідно кінцевий та початковий кути сектора, r_k – радіус k-го круга. Площу

всіх таких частин рахуємо як їх суму.

Розділивши таким чином територію поля, можна обрахувати масу речовини, застосувавши подвійний інтеграл в полярних координатах. Вра-

$$M_i = \theta \sum_{k=1}^N \int_{\alpha_k}^{\beta_k} \int_{r_{k-1}}^{r_k} P_i(\rho) d\rho d\varphi = (e^{-m_i r_{k-1}} - e^{-m_i r_k}) \cdot (\beta_k - \alpha_k) \frac{Ps \cdot l_i \cdot e}{m_i}$$

Поділивши M_i – загальну масу діючої речовини - на S – загальну площу ділянки, отримуємо A_n – пряме навантаження, кг/га.

Якщо для групи речовин ГДК визначається за сумою їх концентрацій, для обрахування прямого навантаження ми використовуємо суму загальних мас речовин даної групи.

За матеріалами статті [4], блок A_i (Оцінка територіального навантаження д.р.) складається з відносного територіального навантаження д.р. на одиницю площі ґрунту по критерію D_{mi} людини та відносного територіального навантаження д.р. на ґрунт по критерію нормативів ГДК: $A_{B1i} = A_n / D_{mi}$,

$$A_{B2i} = A_n / ГДК_i$$

Блок A_i розраховується як середнє арифметичне цих величин: $A_i = (A_{B1i} + A_{B2i}) / 2$.

Блок B_i (Модельний блок санітарно-гігієнічної оцінки територіального навантаження д.р. препарата) розраховується за наступними величинами: Гігієнічна відносна оцінка небезпеки в залежності від площі та фізичної маси діючої речовини препарата та екогігієнічна відносна оцінка небезпеки в залежності від площі та фізичної маси діючої речовини препарата: $B1i = A_{B1i} (\log M_i + \log S)$, $B2i = A_{B2i} (\log M_i + \log S)$. Остаточо блок B_i розраховується як $B_i = \log(B1i + B2i)$.

Блок D_i (Модельна оцінка можливої епідконтактності населення з пестицидом на території його застосування) розраховується за формулою $D_i = (A_i \cdot B_i) / I_{co}$, де I_{co} – індекс самоочищення ґрунтів.

Остаточо, абсолютний ситуаційний ризик небезпеки обраховується за формулою

ховуючи густину ґрунту θ , загальна маса i -ї діючої речовини, яка розподілена по полю, розраховується за формулою:

$$R = \sum_{i \in ГДК} \frac{A_i + B_i + D_i}{I_{co}}$$

Верифікація моделі

Верифікацію моделі ситуаційного ризику проведено на сільськогосподарських угіддях, на яких розташовано санітарно-захисну зону складу отрутохімікатів у населених пунктах Крижопільського р-ну, Вінницької обл.: Гарячківка, Зеленянка, Куниче, Леонівка та Кісниця. Згідно отриманих результатів скрінінгу залишків пестицидів у ґрунті навколо складів по зберіганню непридатних та заборонених до використання у сільському господарстві хімічних засобів захисту рослин встановлено, що у складах, селах Голубече та Кісниця не виявлено перевищення ГДК по ідентифікованим пестицидам. У зразках ґрунту села Леонівка знайдено незначне перевищення ГДК метаболітів ДДТ, а саме 4,4'-ДДЕ у 4 рази та 2,4'-ДДД і 4,4'-ДДД на рівні ГДК.

Скрінінговий аналіз показав досить високе забруднення ґрунту, в основному хлорорганічними пестицидами у 5 селах, а саме: Гарячківка, Куниче, Зеленянка, Леонівка та Кісниця. Дані представлені у таблиці 1.

За румбічною сіткою визначено ступінь забруднення на віддалі 1, 5, 10, 15 м від складу. Поширення забруднення у горизонтальному напрямі на віддалі, що перевищує 15 м розраховували за вищенаведеною формулою.

Було проведено по 20 вимірів на кожній з відстаней. На основі результатів вираховано середні значення та середньоквадратичні похибки концентрацій сум ГХЦГ та ДДТ. Для подальших обрахунків концентрацій та ризиків ми оберемо середні значення вимірів.

Таблиця 1

Концентрація хлорорганічних пестицидів в залежності від відстані.

Назва населеного пункту	Компонент	1м	5м	15м	25м	50м	100м
Гарячківка	Сума ГХЦГ	12.32	9.7	8.73	6.45	3.89	1.41
	Похибка ГХЦГ	0.62	0.39	0.44	-	-	-
	Сума ДДТ	13.86	8.02	2.65	1.25	0.38	0.06
	Похибка ДДТ	0.42	0.33	0.14	-	-	-
Куниче	Сума ГХЦГ	0.52	0.47	0.39	0.32	0.19	0.07
	Похибка ГХЦГ	0.04	0.03	0.02	-	-	-
	Сума ДДТ	37.25	21.72	8.15	4.52	1.63	0.25
	Похибка ДДТ	1.12	0.44	0.58	0.19	0.1	0.02
Зеленянка	Сума ДДТ	55.01	34.51	15.38	9.26	3.47	0.53
	Похибка ДДТ	1.11	1.39	0.47	-	-	-
Леонівка	Сума ДДТ	0.69	0.32	0.07	-	-	-
	Похибка ДДТ	0.02	0.02	0.00	-	-	-
Кісниця	Сума ДДТ	0.13	0.06	0.01	-	-	-
	Похибка ДДТ	0.2	0.01	0.00	-	-	-

Застосовуючи вищенаведені формули, обраховуємо загальну масу діючої речовини та пряме навантаження для ГХЦГ та ДДТ. Дані та формули моделі були оброблені та обраховані за

допомогою системи Wolfram Mathematica 8. Вимірювання площі ділянки та поділ території проводився за допомогою Google Earth.

Таблиця 2

Розрахована площі ділянок, що досліджуються, загальна маса та пряме навантаження діючої речовини для кожної з ділянок.

Назва населеного пункту	Площа ділянки, га	Компонент	M	Ап
			Загальна маса діючої речовини, кг	Пряме навантаження, кг/га
Гарячківка	41.98	Сума ГХЦГ	11.392	0.271368
		Сума ДДТ	6.281	0.149619
Куниче	160.86	Сума ГХЦГ	0.803	0.00499
		Сума ДДТ	50.238	0.31232
Зеленянка	20.79	Сума ГХЦГ	-	-
		Сума ДДТ	84.453	4.06227
Леонівка	96.93	Сума ГХЦГ	-	-
		Сума ДДТ	23.73	0.2448
Кісниця	89.90	Сума ГХЦГ	-	-
		Сума ДДТ	0.861	0.00958

Враховуючи густину чорнозему, з якого складається поле, $\theta=1.650 \text{ т/м}^3$, та індекс самоочищення для Вінницької області $I_{CO}=0,61$ [2], обраховано коефіцієнти формули та значення абсолютного ситуаційного ризику. Приймавши

рівень абсолютного ситуаційного ризику 60 одиниць[5], розрахуємо абсолютний та відносний ситуаційний ризик від забруднення стійкими пестицидами для кожної ділянки.

Таблиця 3

Абсолютний та відносний ситуаційний ризик для ділянок, які досліджуються.

Речовина	A0	B0	D0	Dm	ГДК	R0	Відн. ризик, %
Гарячківка							
Σ ГХЦГ	28.4936	1.99315	93.1018	0.005	0.1	203.604	
Σ ДДТ	15.71	1.72344	44.3875	0.005	0.1	101.343	
Загалом	44.2036	3.71659	137.4893			304.947	508
Куниче							
Σ ГХЦГ	0.52395	0.344842	0.296196	0.005	0.1	1.909817	
Σ ДДТ	32.7936	2.408716	129.4926	0.005	0.1	269.9916	
Загалом	33.3176	2.75356	129.7888			271.90142	453
Зеленянка							
Σ ГХЦГ	-	-	-	-	-	-	
Σ ДДТ	426.538	3.522885	2463.354	0.005	0.1	4650.505	7750
Леонівка							
Σ ГХЦГ	-	-	-	-	-	-	
Σ ДДТ	25.704	2.23759	94.287	0.005	0.1	200.375	334
Кісниця							
Σ ГХЦГ	-	-	-	-	-	-	
Σ ДДТ	1.0059	0.9088	1.49864	0.005	0.1	5.5956	9

Висновки

Відносний ситуаційний ризик від забруднення на ділянці в с. Кісниця становить 9%, що є порівняно невисоким значенням. Тому очищення даної ділянки ділянки відбудеться за рахунок диких рослин-ремедіаторів, наявних на полі [12]. Для ділянок у селах Гарячківка, Леонівка та Ку-

ниче рівень ризику перевищує максимум у 3-5 раз, тому для даних ділянок необхідно застосувати фіторемедіацію. Для ділянки у с. Зеленянка, де рівень ризику перевищує максимум у 77.5 раз, окрім фіторемедіації необхідно застосовувати методи нагальної очистки ґрунту, включаючи, можливо, виїмку ґрунту.

Список використаної літератури:

1. STOCKHOLM CONVENTION ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS 2001: <http://www.ipen.org/ipenweb/firstlevel/pops.html>
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році. – К. : Міністерство екології та природних ресурсів України, LAT & K. – 2012. – 258 с.
3. Moklyachuk L. Sustainable strategies of phytoremediation of the sites polluted with obsolete pesticides / L. Moklyachuk, V. Petryshyna, O. Slobodenyuk, Yu. Zatsarinna // Environmental and food safety and

security for South-East Europe and Ukraine, Springer-Verlag New York, LLC, 2012. – P.81-89.

4. Проданчук М.Г. Модельні методичні підходи до токсиколого-гігієнічної оцінки небезпеки та прогнозу ситуаційного ризику щодо формування асортименту і обсягів застосування пестицидів в сільському господарстві України // М.Г. Проданчук, В.І. Великий, Ю.А. Кучак – Современные проблемы токсикологии. – 2001. — №4. – С. 43 - 46.

5. Проданчук М.Г. Методологічні підходи до оперативної екогігієнічної оцінки асортименту та обсягів застосування пестицидів в сільському господарстві України // М.Г. Проданчук, В.І. Великий, Ю.А. Кучак – Довкілля та здоров'я. - 2003. - №1. - С. 75-78.

6. Диференціальне числення функцій кількох змінних. Визначені інтеграли. Диференціальні рівняння. / Уклад.: І. В. Алексєєва, В. О. Гайдей, О. О. Диховичний, Л. Б. Федорова. — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 184 с.

7. Самойленко А.М. Диференціальні рівняння / А.М. Самойленко, М.О. Перестюк, І.О. Парасюк. – К.: Либідь, 2003. – 600с.

8. Moklyachuk L. Phytoremediation of soil polluted with obsolete pesticides / L. Moklyachuk, I. Gorodiska I., O. Slobodenyuk, V. Petryshyna // Application of Phytotechnology for Cleanup of Industrial, Agricultural and Waste water Treatment. – Springer-Verlag New York, LLC, 2010. – P.113-124.

9. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування / Єріна А. М. — К.: КНЕУ, 2001. — 170 с.

10. Ветошкин А.Г. Безопасность жизнедеятельности: оценка производственной безопасности / А.Г. Ветошкин, Г.П. Разживина. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. арх.-строит. ак, 2004. – 196 с.

11. Балдин К.В. Управленческие решения / К.В. Балдин, С.Н. Воробьев, В.Б. Уткин. – 2-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2006 – 496 с.

12. Науково-методичні основи екотоксикологічного моніторингу і ремедіації забруднених органічними ксенобіотиками ґрунтів : автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня д-ра с.-г. наук : спец. 03.00.16 / Л. І. Моклячук. – К., 2008. - 40 с

С целью проведения эколого-экономической оценки методов очистки загрязненных стойкими органическими загрязнителями (СОЗ) почв разработана математическая модель распространения загрязнения СОЗ от источников, которыми являются едафотопы старых складов ядохимикатов. Определены концентрации СОЗ в почвах едафотопов складов ядохимикатов Крыжопольского района Винницкой области. Расчетная лено абсолютные и относительные ситуационные экологические риски опасности территорий, загрязненных стойкими органическими загрязнителями.

Ключевые слова: непригодные пестициды, экологический риск, математическая модель, эколого-экономическая оценка

For the purpose of ecological - economic evaluation methods for cleaning contaminated with persistent organic - night pollutants (POPs) soils developed a mathematical model of the spread of contamination from sources of POPs, which are old warehouses edafotopah pesticides. The concentrations of POPs in soils edafotopiv warehouses pesticides Kryzhopol region Vinnytsia region. Leno calculated absolute and relative risks of environmental hazards situational territories contaminated simple - such organic pollutants.

Keywords: unusable pesticides, environmental risk, mathematical model, ecological - economic assessment

Дата надходження до редакції: 16.09.2013 р.

Рецензент: д.е.н., професор Соколов М.О.