

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
ТА УПРАВЛІННЯ

ЗАПОРОЖЕЦЬ ЮЛІЯ АНАТОЛІЇВНА

УДК 504.064

**МЕТОД ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ
ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2021

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису. Робота виконана на кафедрі кібернетики хіміко-технологічних процесів Національного технічного університету України, «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Бойко Тетяна Владиславівна
Національний технічний університет України,
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»,
виконувач обов'язків завідувача кафедри кібернетики
хіміко-технологічних процесів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
Чумаченко Сергій Миколайович,
Завідувач кафедри інформаційних систем Національного
університету харчових технологій МОН України

доктор технічних наук,
Яковлев Євген Олександрович, головний науковий
співробітник Інституту телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України

Захист відбудеться 24 березня 2021 р. об 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 ДЗ «Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління» за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці «Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління» за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2.

Автореферат розісланий « 23 » лютого 2021р.

Вчений секретар
спеціалізованої
вченої ради Д 26.880.01



Т.Г. Іващенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. На сьогоднішній день проблематика питань забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища є найбільш вразливою з точки зору кризових явищ розвитку цивілізації. Антропогенна діяльність нерозривно пов'язана зі збільшенням техногенного навантаження від викидів у атмосферу та скидів у гідросферу забруднюючих речовин, що в подальшому призводить до забруднення ґрунтів природно-техногенних геосистем «промислове підприємство – навколишнє середовище» (ПТГС). Високий ступінь забруднення приземного шару атмосферного повітря і поверхневих та ґрунтових вод призводить до накопичення забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі. Причому це спостерігається і при нормальному режимі роботи підприємств особливо хімічної промисловості. Тільки екологічний моніторинг не може вирішити проблему екологічної безпеки територій ПТГС, потрібні ефективні методи прогнозування для обґрунтованого прийняття управлінських рішень. Для об'єктивного оцінювання можливості зниження техногенного навантаження необхідно заздалегідь оцінювати характеристики розподілу забруднювачів в ґрунтах ПТГС кількісно.

Оцінювання негативного впливу промислових підприємств на екологічний стан ґрунтів вимагає детального вивчення процесу міграції забруднюючих речовин із водяним потоком в ґрунтовому шарі. Аналіз попередніх досліджень свідчить, що в методичному плані комплексний підхід до вивчення геоміграційних процесів, ґрунтується на поєднанні досліджень механізмів розповсюдження рідини в середині ґрунтового шару з різними властивостями ґрунтів. Вирішення проблеми поєднання властивостей ґрунтів з механізмами фільтрації, які відбуваються в них, дозволить отримати оцінку рівня впливу промислового підприємства на екологічний стан ґрунтового шару.

Знаходження ефективних рішень ряду еколого-геологічних задач пов'язано з ускладненням розрахункових алгоритмів, введенням до них обчислювальних процедур для усього спектру можливих міграційних механізмів та гідрогеологічних взаємодій в ґрунтовому шарі.

Розробка ефективного методу оцінювання геохімічного впливу промислового підприємства на екологічний стан ґрунтового шару є актуальним науковим завданням, тому що надасть можливість підвищити рівень точності та адекватності оцінки рівня екологічної безпеки на промислових об'єктах з використанням методів імітаційного моделювання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського за темами: «Розроблення еко-ефективних технологічних процесів та оцінювання екологічної сталості та безпеки продукційних систем, промислових об'єктів і територіальних утворень» (номер держреєстрації 0114U002578), «Розроблення, вдосконалення і оцінювання екологічної сталості та безпеки промислових і територіальних утворень як систем із замкненими циклами» (номер держреєстрації 0114U002578), «Оптимізація технологічних об'єктів та систем управління з урахуванням надійності, невизначеності і ризиків» (номер держреєстрації

0117U007339) згідно з науково–технічною програмою Міністерства освіти і науки України, у яких автор брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення рівня екологічної безпеки ґрунтового шару від забруднення промисловим підприємством за рахунок розроблення методу імітаційного моделювання геофільтраційних процесів міграції забруднюючих речовин у зоні аерації із визначенням ризику їх проникнення крізь ґрунти.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

1. Провести аналіз міграційних властивостей ґрунтового шару на території України та розділити ґрунти з різними геофільтраційними умовами.
2. Провести аналіз математичних моделей фільтраційного процесу в ґрунтовому шарі з метою виділення їх для опису механізмів розповсюдження рідини в середині водоненасичених ґрунтів.
3. Визначити критерії застосування математичних моделей геофільтраційних процесів для різних типів ґрунтів зони аерації.
4. Розробити метод оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством з використанням імітаційного моделювання, що оцінює загрозу від розповсюдження забруднювачів, який надходять із водним потоком у ґрунтовому шарі.

Об’єкт дослідження - процеси оцінювання рівня екологічної безпеки від забруднення ґрунтів промисловим підприємством.

Предмет дослідження – метод оцінки екологічної безпеки ґрунтів від забруднення промисловим підприємством з використанням імітаційного моделювання геофільтраційних процесів.

Методи дослідження. Для оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством використано імітаційне моделювання, для прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі використано математичне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено метод оцінки екологічної безпеки ґрунтів від забруднення промисловим підприємством з використанням імітаційного моделювання геофільтраційних процесів, що дає можливість визначити ймовірність максимально можливого очищення та глибину на якій вона досягається для різних типів ґрунту.
2. Вперше визначено екологічні загрози проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунти із врахуванням значення граничної ймовірності очищення ($P_{\text{МВО}}$), отриманого на основі розробленого методу.
3. Вперше розроблено програмний комплекс STAN_GRUNTIV для аналізу та оцінювання екологічного стану ґрунтового шару під впливом промислового підприємства на базі розробленої та існуючих математичних моделей міграції забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі в процесі фільтрації.
4. Удосконалено математичну модель геофільтраційних процесів міграції забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі зони аерації, що враховує літологічні властивості ґрунту, а також особливості механізму перенесення забруднювача.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено методику оцінювання екологічного стану геологічної системи з розподілу забруднюючих речовин у верхній зоні водоненасичених ґрунтів. Використання методики дозволить оцінити рівень впливу промислового підприємства на екологічний стан ґрунтового шару, глибину розподілу забруднюючих речовин і можливий вплив на ґрунтові води.

Розроблено математичну модель фільтраційного процесу в ґрунтовому шарі, що враховує особливості пористого середовища. Модель використовується для прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин з потоком вологи в ґрунтовому шарі в процесі геофільтрації. Результат моделювання дасть можливість оцінити вплив промислового підприємстві на стан ґрунтів та ґрунтових вод.

Розроблено програмний комплекс оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару STAN_GRUNTIV, що дозволяє провести оцінювання екологічного стану однієї зі складових навколишнього середовища – ґрунтового шару зони аерації під негативним впливом промислових підприємств.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено в навчальний процес кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського у лабораторному практикумі з кредитного модуля «Комп'ютерне моделювання процесів і систем 2 Моделювання об'єктів і систем у галузі», (акт впровадження від 04 жовтня 2019 р.).

Результати дисертаційної роботи щодо оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтового шару промисловим підприємством впроваджено у дослідно–промислову експлуатацію, що виконує Державне підприємство «Український державний головний науково–дослідний і виробничий інститут інженерно–технічних і екологічних вишукувань» УкрНДІНТБ» (акт впровадження від 25 грудня 2014 р.).

Особистий внесок здобувача. Отримані результати, наведені у дисертаційній роботі, є власним здобутком автора в галузі екологічної безпеки. Всі основні положення дисертації, що винесені на захист, одержані автором самостійно. Автором було проведено теоретичні та експериментальні дослідження, аналіз та обробка одержаних результатів, впроваджено результати досліджень, що відображені у наукових працях:

- розглянуто різні математичні моделі, котрі описують рух рідини в ґрунтовому шарі в процесі фільтрації;
- розглянуто фізико–хімічні процеси, які впливають на рух рідини в ґрунті;
- удосконалено математичну модель фільтраційного процесу забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі, яка враховує в собі особливості пористого середовища;
- розроблено програмний комплекс, який призначено для аналізування та оцінювання стану ґрунтового шару, на який негативно впливає промислове підприємство;
- розроблено метод оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством, яка розраховує ризик проникнення забруднюючих речовин через ґрунтовий шар.

Апробація матеріалів дисертації. Основні наукові і практичні положення та результати дисертаційних досліджень доповідалися і обговорювалися на 11 наукових конференціях: Міжнародній науковій конференції «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ–24» (Саратов, 2011); Міжнародній науковій конференції «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ–25» (Київ, 2012);

IV Міжнародній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології. (Київ, 2012 р.); VI Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології» (Дніпропетровськ, 2013 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції (Шостка, 2014 р.); Всеукраїнській студентській науковій конференції з міжнародною участю «Наукова Україна». (Дніпропетровськ, 2015 р.); 12 Всеросійській (з міжнародною участю) науковій школі «Математические исследования в естественных науках» (Апатіти, 2015 р.); III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів» (Рубіжне, 2017 р.); VIII Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології» (Дніпро, 2017 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Майбутній науковець – 2017». (Сєвєродонецьк, 2017 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасної науки» (Київ, 2018 р.); XXII міжнародній науково-технічній конференції «Технологія–2019» (Сєвєродонецьк, 2019 р.)

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових праць: 8 статей, з яких 5 статей – у наукових фахових виданнях з переліку МОН України, з них 4 статті опубліковано в журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 198 сторінок. Дисертаційна робота містить 49 рисунків та 51 таблицю за текстом. Список використаних джерел кількістю 177 найменувань на 18 сторінках. Додатки розміщені на 36 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі роботи, сформульовані мета, задачі, об'єкт та предмет дослідження, визначені наукова новизна, практична цінність одержаних результатів, наведено інформацію про апробацію результатів роботи, публікації приведені основні результати та положення, що виносяться на захист.

У першому розділі дисертаційної роботи «Метод оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством» проведено аналітичний огляд для розкриття проблеми впливу промислового підприємства на стан ґрунтового шару.

Над питанням оцінювання екологічної безпеки працювало багато вчених таких як І. Б. Абрамов, Т. В. Бойко, А. І. Гражданкін, Л. В. Дранишников, А. О. Дичко, Г. І. Рудько, Г. О. Статюха, В. М. Шмандій, Г. Г. Шматков.

У зв'язку з тим, що всі складові НС тісно пов'язані між собою, то забруднення однієї з них веде до ланцюжку негативного впливу на всі.

На рисунку 1. представлено схему кругообігу шкідливих речовин в системі «промислове підприємство – навколишнє середовище», з якого видно, що діяльність підприємств, навіть при нормальному експлуатаційному режимі, тягне за собою забруднення шкідливими речовинами всіх складових навколишнього середовища.

Вирішення проблеми негативного впливу промислових підприємств на стан ґрунтів вимагає детального вивчення процесу міграції водяного потоку в ґрунтовому шарі. Дослідження доводить, що в методичному плані комплексний підхід, до вивчення геоміграційних процесів, ґрунтується на поєднанні досліджень механізмів розповсюдження рідини в середині ґрунтового шару з властивостями ґрунтів. Вирішення проблеми поєднання властивостей ґрунтів з механізмами, які в ньому відбуваються в процесі фільтрації в них, дозволить оцінити рівень впливу промислового підприємства на стан ґрунтового шару.

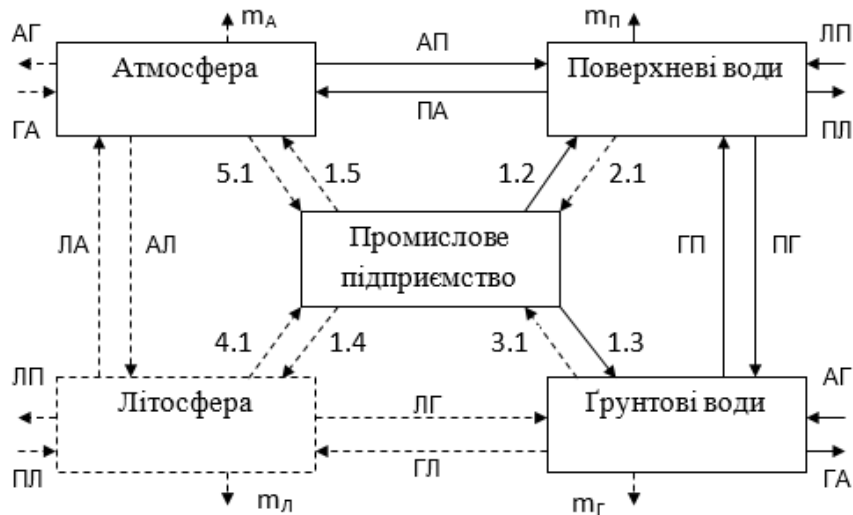


Рисунок 1. Загальний вигляд системи «промислове підприємство – навколишнього середовище».

Беручи до уваги великі території, які піддаються техногенному впливу, можна виділити зони з різними геофільтраційними умовами. Це дозволить поділити території за типами схем фільтрацій. В залежності від основних типів схем геофільтраційної будови зони активного водообміну на території України можна виділити таку класифікацію ґрунтів території України:

- еолово–делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- еолово–делювіальних ґрунтів лісового комплексу без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- алювіальні відкладення річкових терас з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- алювіальні відкладення річкових терас без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- сучасних морських відкладень без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень;

– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних алювіальних відкладень;

– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід.

Використання типів схем геофільтрації дає змогу оцінити можливі впливи техногенного об'єкта на ґрунтовий шар та підземні води під впливом техногенного фільтраційного навантаження при цьому провести оцінювання можливості розвитку небезпечних геологічних процесів і явищ.

Над питаннями міграції водяного потоку в ґрунтовому шарі, в залежності від поставлених задач, в різні часи працювали різні вчені – так свій вклад в розвиток теорії фільтрації починаючи з 19-ого століття внесли ряд вчених А. Дарсі, Ж. Дюпюї та Ж. Буссинеско, А. Аллен, Е. Бельтрам, та інші. Над питаннями нелінійної фільтрації в анізотропних ґрунтах працювали В.А. Брагінска, О.В. Голубева, Г.К. Михайлов, С.Е. Холодовский, Д.Е. Івентон, І. Литвінішин, С.Н. Нумеров, А.П. Олійник., В.І. Лаврік, В.Г. Руминін, Л. Д. Пляцук, Г.М. М'якаєва, О. А. Котовенко та інші.

У **другому розділі** наведено математичні моделі процесу міграції забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі та умови які впливають на їх формування.

Математична модель міграції, тобто масоперенесення розчинених речовин, у фільтраційних потоках описує взаємодію між ґрунтами та стічними водами, які фільтруються, за допомогою рівнянь матеріального балансу і рівняння кінетики і має вигляд системи диференціальних рівнянь у частинних похідних другого порядку зі змінними коефіцієнтами, яка у випадку тривимірної плоско-вертикальної (профільної) сталої фільтрації за умови сталості коефіцієнта конвективної дифузії в загальному випадку має такий вигляд:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad v_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z}, \quad \varphi = -\chi h, \quad h = \frac{p}{\rho g} - \gamma \quad (1)$$

$$D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - v_z \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = f(c, N) \quad (3)$$

Для знаходження розв'язку системи рівнянь використовують такі початкові і граничні умови:

$$c(x, y, z, t_0) = c_0(x, y, z) \quad (4)$$

$$c(x, y, z, t)|_{x=x_1} = c_0(y, z, t), \quad \frac{\partial c}{\partial z} |_{z=L} = 0 \quad (5)$$

де D – коефіцієнт конвективної дифузії, м²/доб; $c(x, y, z, t)$ й $N(x, y, z, t)$ – концентрація речовин, що дифундують, г/л або кг/м³ відповідно у рідкій і твердій фазах; $v_x(x, y, z, t)$, $v_y(x, y, z, t)$ і $v_z(x, y, z, t)$ – координати вектора швидкості фільтрації, м/доб; t – час, доба; σ – пористість або активна пористість ґрунтів, де відбувається рух вод і конвективна дифузія розчинної речовини; c_0 – початкова концентрація речовини в рідкій фазі, г/л або кг/м³; γ – константа швидкості масообміну; $\varphi(x, y, z, t)$ – потенціал швидкості фільтрації; χ – коефіцієнт фільтрації, м/доб; h – напір, м; p – тиск, Па; ρ –

густина, кг/м^3 ; g – прискорення сили ваги в м/с^2 .

В залежності від процесів взаємодії між потоком води, якій фільтрується, та ґрунтовим шаром рівняння кінетики (3) буде змінюватись в залежності від задачі яка буде вирішуватись.

Процеси взаємодії між потоком води та ґрунтовим шаром:

1) В процесі вирішення задачі фільтрації в потоку неконсервованих забруднюючих речовин рівняння кінетики буде описуватись таким чином:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = a(\sigma c - \beta N) \quad (6)$$

де α – константа масообміну (швидкості сорбції); β – коефіцієнт розподілу речовини між рідкою й твердою фазами в умовах рівноваги за законом лінійної ізотерми Генрі, що виражається рівністю $c_p = \beta N$, причому через c_p позначена рівноважна концентрація розчину, по величині рівна кількості речовини, що поглинає твердою фазою;

2) В процесі вирішення задачі фільтрації потоку при кристалізації у фільтрівній воді рівняння кінетики буде описуватись таким чином:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \gamma(c - c^*), \quad \gamma = a\sigma \quad (7)$$

де $c^* = C_k$ -коефіцієнтнасичення.

3) В процесі вирішення задачі фільтрації потоку при розчиненні компонентів породи у фільтрівній воді рівняння кінетики буде описуватись таким чином:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\gamma(c - c^*), \quad \gamma = a\sigma \quad (8)$$

4) В процесі вирішення задачі фільтрації з врахуванням процесу рівноважної сорбції рівняння кінетики буде описується таким чином:

$$N = \frac{\alpha}{\beta} c \quad \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma_c^* \Gamma \frac{\partial c}{\partial t} \quad (9)$$

де σ_c^* - ефективна пористість або масообмін поглинання речовини породою, що розраховується: $\sigma_c^* = \sigma(1 + \Gamma)$

5) В процесі вирішення задачі фільтрації з врахуванням процесу десорбції рівняння кінетики буде описується таким чином:

$$N = -\frac{\alpha}{\beta^*} c \quad \frac{\partial N}{\partial t} = -\sigma_g^* \Gamma^* \frac{\partial c}{\partial t} \quad (10)$$

де σ_g^* - ефективна пористість або масообмін виділення речовини породою, що розраховується: $\sigma_g^* = \sigma(1 - \Gamma)$

6) При побудові математичної моделі оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару при нерівномірній необоротній сорбції в процесі фільтрації рівняння кінетики буде описується таким чином:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \gamma, \quad \gamma = a\sigma \quad (11)$$

7) В процесі вирішення задачі фільтрації з врахуванням хімічних реакцій при фільтрації розчинів рівняння кінетики буде будуватися таким чином тому випадку:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -kC = -kC(x, t) = \frac{M_0 l e^{-kt}}{V\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\frac{(x-Ut)^2}{4Dt}} \quad (12)$$

Рівняння кінетики (6–12) можна використовувати для конкретних випадків, тобто вирішення задач фільтрації які враховують в собі певні фізико–хімічні умови процесів які проходять в ґрунтовому шарі, а саме процеси масообміну та фільтрацію яка враховує в собі хімічні реакції, але вони враховують в собі особливості властивостей ґрунтового шару опосередковано, враховують лише частково через окремі змінні рівнянь в системі (коефіцієнта масопередачі, константи рівноваги та інших), тобто через механізми перенесення рідини в середині ґрунту тому не дають повною мірою оцінити антропогенний вплив на якість та стан ґрунтів і ґрунтових вод в реальних умовах.

Тому для врахування властивостей ґрунтового шару в математичній моделі фільтраційного процесу була розроблена нове рівняння кінетики яке буде враховувати особливості пористого середовища.

8) В процесі вирішення задачі фільтрації з врахуванням особливостей пористого середовища:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = a\varepsilon c, \quad \varepsilon = 1 - \frac{p_b}{p_s} \quad (13)$$

де a – константа швидкості масообміну, c^{-1} ; ε – активна пористість середовища (доля пустот в насипній масі), що визначається рівністю: p_b – щільність насипного шару; p_s – щільність спресованої проби ґрунтів.

Використання представлених математичних моделей дають змогу описати процес розповсюдження забруднюючих речовин з врахуванням масообмінних процесів та особливостей ґрунтового шару, а також отримати профіль фільтрації розповсюдження забруднюючих речовин з глибиною.

Розроблена математична модель використана для задачі моделювання фільтрації забруднюючих речовин. Розрахунок проводився для аналізування впливів промислового підприємства на стан ґрунтового шару на його території.

Для перевірки адекватності використовувався підхід паралельного рішення трьох задач:

- 1) Розраховувалась математична модель фільтраційного процесу, яка враховує традиційні рівняння кінетики представлені в роботі Олійника А. Я.;
- 2) Розраховувалась математична модель фільтраційного процесу:
 - яка враховує особливості ґрунтового шару;
 - яка не враховує особливості ґрунтового шару.

Джерелом забруднення є речовини, які осідають на території і з часом потрапляють в ґрунтовий шар. Ґрунти, в яких відбувається фільтраційний процес, суглинистої структури. Здійснювалось комп'ютерне моделювання процесу фільтрації в глиб ґрунтового шару «нітратів» з початковою концентрацією речовини $c_0(0,0,0)=0,8 \text{ мг/м}^3$. Дана модель вирішувалась за допомогою методу сіток.

Отримані результати математичного моделювання фільтраційного процесу з врахуванням властивостей ґрунтового шару наведено на рис. 2., де початок координат

співпадає з місцем потрапляння потоку стічних вод в ґрунтовий шар, в якому розповсюджується в перерізі за висотою приймається рівномірним.

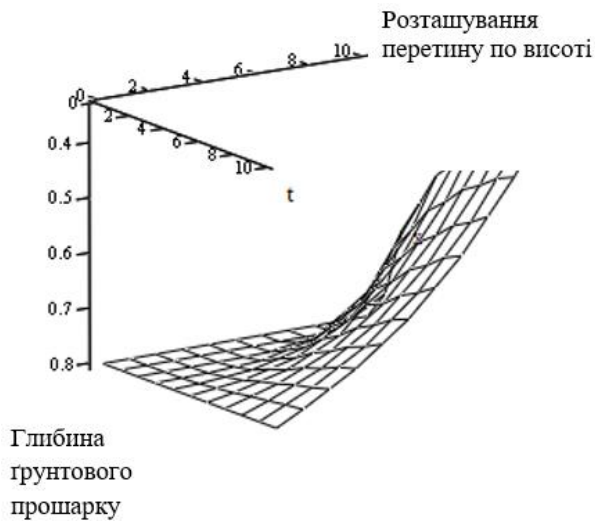


Рисунок 2. Геометрична інтерпретація зміни концентрації (нітрату) в рідкій фазі, яка фільтрується в ґрунтовому шарі

Аналізування отриманих результатів показує, що розповсюдження забруднюючих речовин скоріше проходить в глиб ґрунтового шару, що пояснюється переважанням поздовжньої дисперсії над поперечною. Це вимагає розроблення заходів щодо попередження міграційних процесів забруднюючих речовин на промислових об'єктах.

Порівняння отриманих концентрацій (рис. 3.) у випадку коли модель враховує особливості ґрунтового шару з результатами отриманими при вирішенні моделі Олійника А. Я. (криві «а» та «в1» на графіку) показує, що максимально відносна похибка не перевищує 4.1%. Порівнянні отриманих концентрацій у випадку коли модель не враховує особливості ґрунтового шару з результатами отриманими при вирішенні моделі Олійника А. Я. (криві «а» та «в2» на графіку) показує, що максимально відносна похибка не перевищує 8.9%. Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що розроблена математична модель адекватно описує процеси фільтрації. На основі отриманих даних за моделлю можна розробляти природоохоронні заходи з метою підвищення екологічної безпеки на промислових об'єктах.

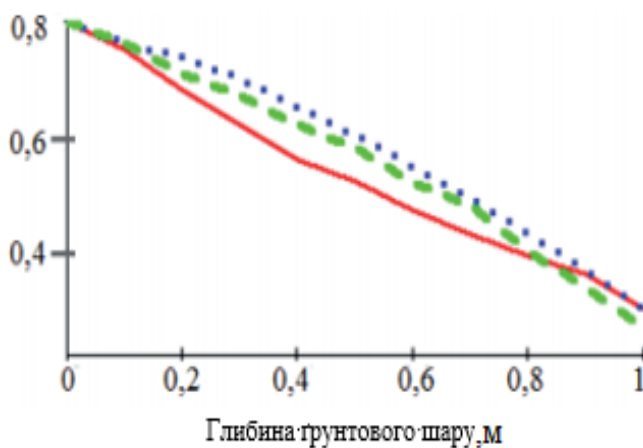


Рисунок 3. Зміна концентрації нітратів у ґрунтовому шарі в потоці в глиб ґрунтового шару: — крива «а» результат моделювання фільтраційного процесу стічних вод по Олійника А. Я; результат моделювання фільтраційного процесу стічних вод по математичній моделі: - - - крива «в1» враховує особливості ґрунтового шару, ···· кривою «в2» не враховує особливості ґрунтового шару

Розроблений програмний комплекс оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару STAN_GRUNTIV призначено для оцінювання стану однієї зі складових НС (навколишнього середовища) – ґрунтового шару, в наслідок негативної дії промислових підприємств. У програмному комплексі STAN_GRUNTIV реалізовано запропоновані математичні моделі міграції забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі, використана залежність визначення індексу оцінювання рівня екологічної небезпеки та ризику впливу на ґрунтовий шар промисловим підприємством.

У **третьому розділі** представлено методику оцінки впливу промислового підприємства на стан ґрунтового шару. Вона базується на визначення показників ефективності очищення ґрунтів, яка заснована на імітаційному експерименті.

Беручи до уваги існуючі методики оцінювання рівня екологічного стану геологічної системи було запропоновано наступний алгоритм оцінювання впливу промислового підприємства на стан ґрунтів:

1. На основі визначених концентрацій забруднюючих речовин промислового об'єкту, які потрапляють в ґрунтовий шар, розраховується розповсюдження забруднюючих речовин у ґрунтовому шарі, тобто визначається зміна концентрації речовини з глибиною, моделі розрахунку розповсюдження представлені в другому розділі.

2. Для кожного типу ґрунтів, з класифікації ґрунтів представленої в першому розділі, розробляється матриця співвідношень фільтраційних процесів і відповідних їм моделям до відповідних типів ґрунтів.

3. Виходячи з долі оцінки кожного процесу фільтрації приймаємо долю результатів розрахунку по даній моделі для кожного типу ґрунтів. В результаті будуть отримані верхні та нижні границі ступеню очищення для початкових значень концентрацій забруднювачів.

4. Розраховується ступінь (ймовірність)повного очищення стічних вод в залежності від глибини ґрунтів.

5. На основі отриманих результатів розраховується значення повної очистки стічних вод та встановлюється рівень впливу промислового підприємства на ґрунти.

Запропоноване співвідношення фізико-хімічних процесів в ґрунтовому шарі дасть можливість проводити оцінювання прийнятності відповідних моделей для відповідного типу ґрунтів та дасть можливість спрогнозувати в ньому зміни під впливом забруднення.

Для еолово–делювіальних ґрунтів лісового комплексу класифікації співвідношення моделей наведено у таблиці 1.

Для визначення ризику проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар встановлено прийнятність очищення, виходячи з величини ризику неповноти очищення. Такий ризик приймаємо як:

$$R = 1 - P_{\text{МВО}} \quad (14)$$

де R – ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар; $P_{\text{МВО}}$ – гранична ймовірність очищення.

Та встановимо його відмітки відповідно до шкали бажаності Харінгтона (таблиця 2).

Таблиця 1 – Матриця ступеня очищення еолово–делювіальних ґрунтів лісового комплексу

Тип ґрунту	Градація ефективності	Фізичні процеси в ґрунті					
		врахуванням хімічної реакції	врахуванням особливостей ґрунтового шару	врахуванням масообмінних процесів	при рівноважній сорбції	при нерівноважній необоротній сорбції	при кристалізації або розчиненні компонентів породи у фільтрівній воді
з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	min	0,15	0,35	0,15	0,07	0,05	0
	max	0,2	0,4	0,25	0,2	0,1	0,05
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	min	0,2	0,28	0,09	0,15	0,05	0
	max	0,25	0,35	0,2	0,25	0,1	0,05

Таблиця 2 – Градація прийнятності

R	Градація прийнятності
0 ÷ 0.2	Безумовно прийнятний
0.2 ÷ 0.37	Прийнятний
0.37 ÷ 0.63	Умовно прийнятний
0.63 ÷ 0.8	Неприйнятний
0.8 ÷ 1	Безумовно неприйнятний

Прийнятність ризику проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар визначається для кожного конкретного випадку при аналізі отриманих фактичних даних.

По класифікації ґрунтів територій України, яка представлена в першому розділі, а також беручи до уваги врахування фізико–хімічних процесів в ґрунтовому шарі через математичний опис цих процесів був проведений імітаційний експеримент. Метою імітаційного експерименту є знаходження ступеня (ймовірності) очищення при проходженні забруднювача через ґрунти відповідного типу. Повним очищенням вважалось досягнення концентрації забруднювача, що дорівнює ГДК, в цьому випадку процес приходить до рівноваги та зміни в концентраціях далі не відбувається. Ступінь очищення визначається як відношення ГДК до поточної концентрації. Крім того, в результаті імітаційного експерименту можна визначити ймовірність того, що забруднювач буде повністю видалений, тобто його концентрація на певній глибині зрівняється з фоною.

Для проведення імітаційного моделювання приймаємо певні припущення:

– розрахунок ведеться до моменту досягнення системи рівноваги, тобто до моменту, коли концентрація прирівняється до ГДК;

- кожен фільтраційний процес в ґрунтовому шарі проходить окремо один від одного без взаємодії з іншими процесами;
- співвідношення фільтраційних процесів у ґрунтах переноситься на співвідношення між моделями, які описують ці процеси;
- для проведення імітаційного моделювання беруться тільки вертикальні зміни концентрацій, які отримуються з розрахунку математичних моделей, це робиться з метою прогнозування зміни стану ґрунтів з глибиною. Можливе імітаційне моделювання для горизонтального розрахунку.

Реалізація методики:

З метою проведення повноцінного імітаційного експерименту модель розглядалась для трьох випадків: коли початкова концентрація перевищувала ГДК в три рази, в п'ять разів та в десять. За речовину брали «Свинець» з ГДК = 10 мг/кг.

Оскільки прийнята оцінка ступеня впливу окремих процесів та відповідним їм моделям на результат геофільтрації носять інтервальний характер, як видно з таблиці 1, визначення на основі групи моделей оцінка ступеня можливого очищення також буде інтервальною. Для її визначення скористаємося алгоритмом. На першому кроці виконаємо імітаційний розрахунок концентрацій забрудника по кожній з представлених в другому розділі моделей окремо. Розрахунок проводимо по глибині ґрунтового шару з кроком 0.1 м до тих пір, поки концентрація, розрахована по всім вибраним моделям, не досягне ГДК. Таким чином буде знайдена максимальна глибина шару (G_{\max}). Розрахунок показав, що для початкової концентрації забрудника яка перевищує ГДК в три рази ця глибина дорівнює 2.3 м., в п'ять раз – 4.9 м., в десять раз – 11.0 м.

На другому кроці розраховуємо ступінь очищення в кожній точці по глибині для моделей. Ступінь очищення розраховується як відношення поточної концентрації до ГДК.

На третьому кроці знайдена ступінь очищення підсумовується з врахуванням ступеня впливу окремих моделей (таблиця 1) таким чином визначається верхня та нижня границі ступеня очищення по всій глибині. В тих випадках коли в результаті підсумовування отримане значення перевищує одиницю, то воно замінюється на одиницю.

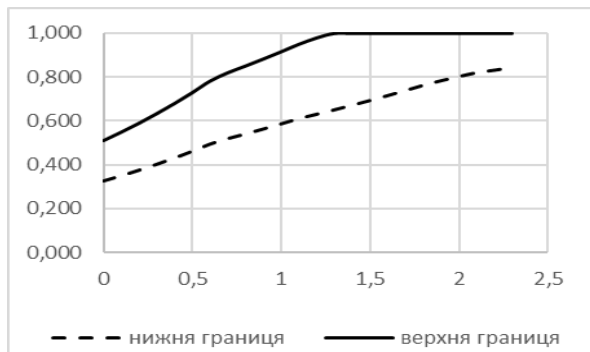
На рис. 4. представлені залежності верхньої та нижньої границі ступеня очищення від глибини фільтрації для трьох різних випадків імітаційного моделювання для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору всі інші залежності наведено в дисертаційній роботі.

В таблиці 3. наведено часткові результати моделювання в яких представлена глибина (G_1) на якій досягається верхня границя ступеня очищення, яка дорівнює одиниці для кожного типу ґрунтів для трьох випадків моделювання та максимальне граничне значення (q_{\max}), яку досягає нижня границя ступеня очищення.

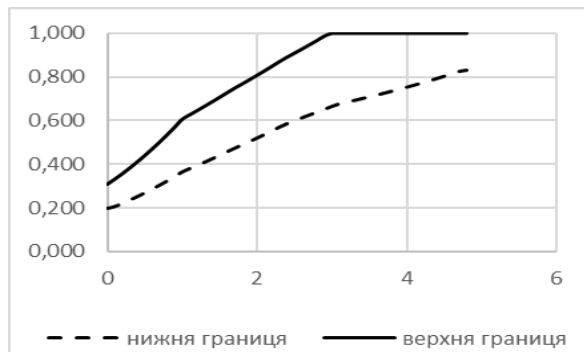
Імітаційний експеримент по визначенню ймовірності максимально можливого очищення.

Для визначення ймовірності максимально можливого очищення, яке буде трактуватися як досягнення концентрації забрудника яке буде дорівнювати ГДК, проводився експеримент. Реалізація єдиного експерименту виконується наступним чином. Приймаємо те, що ступінь впливу кожного з процесів очищення в

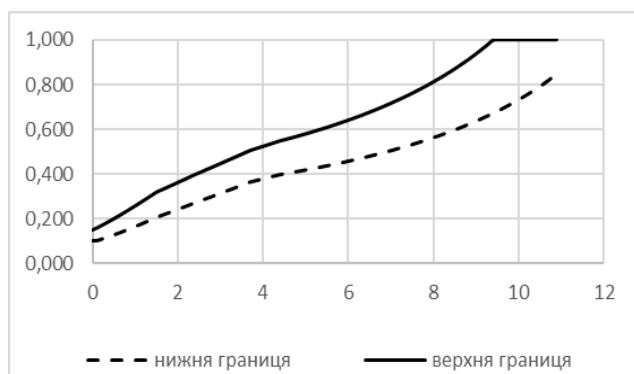
грунтах та, як виходить з раніше прийнятого припущення, ступінь участі моделей, є випадкова величина. Закон розподілу цієї величини – рівномірний в інтервалі, який дорівнює інтервалу з таблиць 1. По вказаному закону проводимо розіграш цих випадкових величин, та отримуємо їх точні значення. При розіграві приймаємо до уваги, що сума усіх розіграних величин дорівнює одиниці.



а



б



в

Рисунок 4. Залежності верхньої та нижньої границі ступеня очищення від глибини фільтрації для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу, для випадку коли початкова концентрація забрудника перевищує ГДК: а – в три рази, б – в п'ять раз, в – в десять раз.

Таблиця 3 – Глибина досягнення верхньої границі ступеня очищення яка дорівнює одиниці (Γ_1) та максимально можливий ступінь очищення по нижній границі (q_{\max}) в еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу

Тип ґрунтів	Глибина (м) шару забруднення та ступінь очищення до величини ГДК при концентрації на вході (мг/кг):					
	Сф*3		Сф*5		Сф*10	
	q_{\max}	Γ_1	q_{\max}	Γ_1	q_{\max}	Γ_1
з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	0.833	1.3	0.833	3	0.833	9
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	0.833	1.4	0.833	4.4	0.833	9.5

Наступним кроком розраховуємо концентрації забруднюючих речовин в ґрунтах по всім моделям, представленим в другому розділі, з врахуванням отриманих точкових значень ступенів їх впливу. Розрахунок проводиться для всієї глибини з поверхні ґрунту до глибини на якій концентрація забруднюючої речовини зрівняється з ГДК, з прийнятим кроком 0.1 м. у випадку, якщо отримані на

даній глибині концентрації не перевищують ГДК в ґрунті (з похибкою округлення) – проведений одиничний експеримент признаємо для даної глибини вдалим, інакше – не вдалим.

По результатам реалізації достатньо великої кількості одиниць експериментів розраховали відносну частоту вдалим експериментів для кожної глибини. Згідно закону великих чисел, зі збільшенням числа експериментів ця відносна частота буде прагнути к ймовірності повного очищення зі зростом кількості одиничних експериментів. Мною було реалізовано 10 000 таких експериментів. Результати розрахунку відносної частоти (статистичної ймовірності) максимально можливого очищення ($P_{\text{МВО}}$) представлені в таблиці в якій вказана глибина, на якій досягається максимальна ймовірність очищення для кожного виду ґрунтів на території України для початкових значень концентрацій забруднювача, які перевищують фонову в три, п'ять та десять раз відповідно. Результати експерименту свідчать, що ймовірність повного очищення не залежить від типу ґрунтів та початкової концентрації, вона залежить тільки від глибини фільтрації, тобто на певній глибині вона досягне певного граничного значення, яке не дорівнює одиниці, тому що гарантованого повного очищення при будь-яких умовах досягнути не можливо.

В таблиці 4 представлено результати розрахунку відносної частоти максимально можливого очищення для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу.

Таблиця 4 – Глибина, на якій досягаються гранична ймовірність ($P_{\text{МВО}}$) очищення для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу

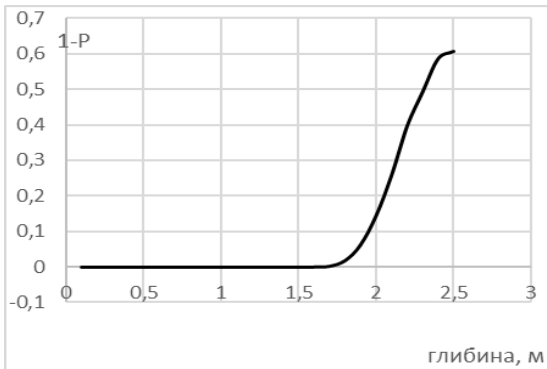
Тип ґрунтів	$P_{\text{МВО}}$	Глибина (м) шару забруднення до величини ГДК при концентрації на вході (мг/кг):		
		3*Сф	5*Сф	10*Сф
з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	0.610	1.3	3.7	9.5
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	0.600	1.8	3.6	9.8

На рис. 5. представлені графічні залежності ймовірності максимально можливого очищення забруднювача з глибиною для трьох різних початкових концентрацій забруднювачів.

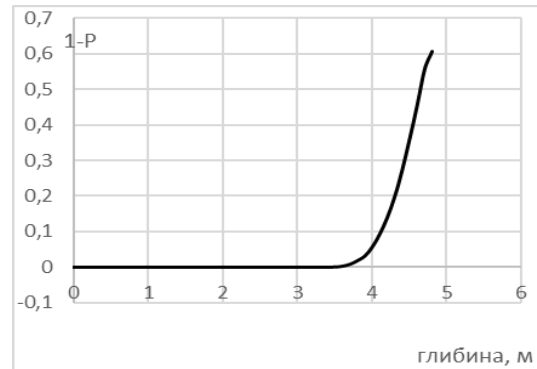
За результатами імітаційного експерименту можна зробити такий висновок: що для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору досягається умовно прийнятний рівень очищення на глибині 1.3, 3.7, та 9.5 м. для трьох різних експериментів відповідно.

В четвертому розділ представлено результати застосування методу оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтового шару промисловим підприємством із визначенням ризику проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунт.

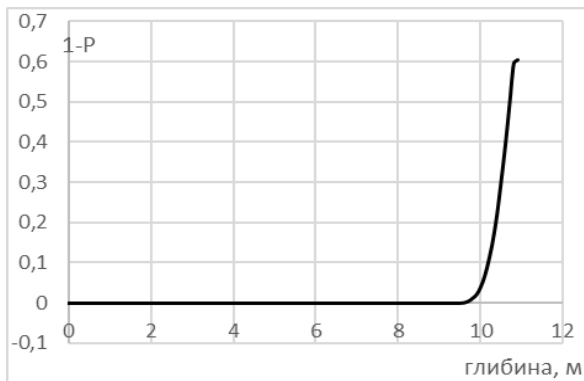
Розроблений метод використали для проведення оцінювання рівня екологічної безпеки теплоелектростанції та металургійних підприємств.



а



б



в

Рисунок 5. Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини для еолово–делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору, для випадку коли початкова концентрація забрудника перевищує ГДК
а – в три рази, б – в п'ять раз, в – в десять раз.

Для застосування запропонованої методики оцінювання впливу теплоелектростанції на екологічний стан геологічної системи території підприємства, було введено матрицю ступеня очищення ґрунту, яка відповідає геологічній будові розташування ТЕС (таблиця 5.).

Таблиця 5 – Матриця ступеня очищення ґрунту

Градація ефективності	Фізичні процеси в ґрунті					
	врахуванням хімічної реакції	врахуванням особливостей ґрунтового шару	врахуванням масообмінних процесів	при рівноважній сорбції	при нерівноважній необоротній сорбції	при кристалізації або розчиненні компонентів породи у фільтрівній воді
min	0,15	0,35	0,15	0,07	0,05	0
max	0,2	0,4	0,25	0,2	0,1	0,05

Оцінювання рівня впливу ТЕС на стан ґрунтового шару по миш'яку: за результатами імітаційного моделювання встановлено, що на глибині 6,2 м. досягається верхня границя ступеня очищення, що дорівнює 1, а також отримані граничні значення нижньої границі ступеня очищення в ґрунтах, що дорівнює 0,888, яке

досягається на глибині 7.4 м. На рис. 6 представлено графічне зображення залежності нижнього та верхнього рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації. В процесі фільтрації на глибині 7.4 м. досягається максимальна ймовірність повного очищення для миш'яку, яка дорівнює $P_{\text{МВО}}=0.662$. На рис. 7 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

За результатами імітаційного експерименту, можна зробити висновок, що миш'як, котрий потрапляє в ґрунтовий шар в процесі фільтрації пройде у глибину на 7.4 м. та максимальна ймовірність повного очищення на даній глибині дорівнюватиме $P_{\text{МВО}}= 0.662$, на даній глибині досягається умовно прийнятний рівень очищення.

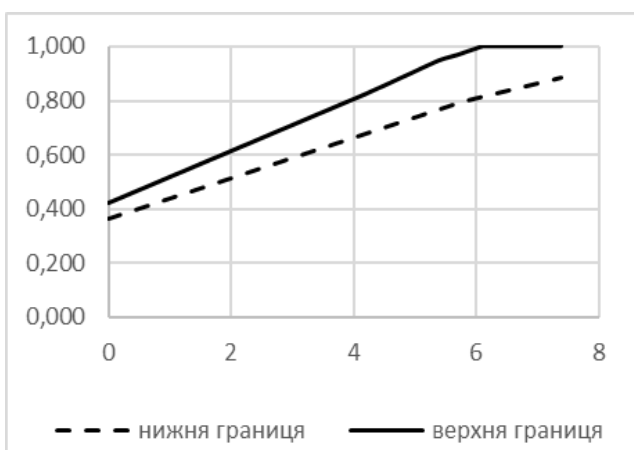


Рисунок 6 -Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення у ґрунтах від глибини фільтрації для миш'яку

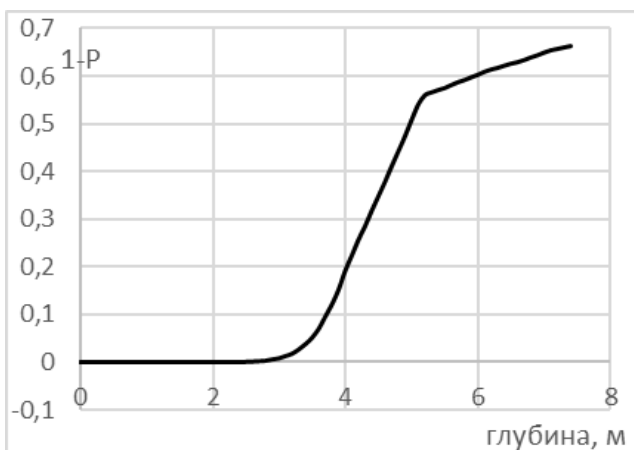


Рисунок 7 -Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

Застосування розробленої методики для оцінки впливу промислового підприємства на стан ґрунтового шару надасть можливість отримати значення показників ефективності геофільтрації в залежності від початкової концентрації забруднювача з урахуванням типу ґрунту розташування промислових об'єктів для оцінки ризику проникнення забруднювача в підземні води через шар ґрунту за школою бажаності Харрінгтона.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене актуальне науково-практичне завдання розробки ефективного методу оцінювання геохімічного впливу промислового підприємства на екологічний стан ґрунтового шару, що дозволяє підвищити рівень точності та адекватності оцінки рівня екологічної безпеки природно-техногенних геосистем з використанням методів імітаційного моделювання.

1. З метою оцінки рівня екологічної безпеки розглянуто та систематизовано чинники, що впливають на геофільтраційний процес розповсюдження забруднюючих речовин у товщі водоненасичених ґрунтів в місцях розташування промислових підприємств.

2. Удосконалено математичну модель процесу масопереносу забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі зони аерації в процесі геофільтрації шляхом врахування в моделі особливостей пористого середовища водо ненасичених ґрунтів.

3. Для підтвердження правильності рішення розробленої математичної моделі було проведено порівняння результатів вирішення задачі масопереносу забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі в процесі геофільтрації, отриманих в результаті моделювання, з результатами, отриманими при моделюванні комплексної моделі фільтрації розповсюдження забруднюючих речовин, що запропонована Олійником А. Я. Порівняння підтверджує адекватність математичної моделі. Відхилення результатів моделювання складає менше 5%.

4. Розроблено програмний комплекс STAN_GRUNTIV на базі створеної та існуючих математичних моделей міграції забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі в процесі геофільтрації. Програмний комплекс призначено для аналізу та оцінювання екологічного стану ґрунтового шару, на який негативно впливає промислове підприємство.

5. Для вирішення питання визначення рівня еколого-геохімічного впливу промислового підприємства на ґрунтовий шар була розроблена матриця співвідношень математичних моделей до типів ґрунтів, які враховують в собі специфіку складу шару ґрунту та фізико-хімічних процесів в ньому.

6. Для визначення рівня впливу промислового підприємства на параметри забруднення ґрунтового шару були аналітично і експериментально визначені інтервальні оцінки ступеня можливого очищення для різного літологічного складу ґрунтів на території України, а також розраховано ймовірність максимально можливого очищення та глибина, на якій вона досягається для різних типів ґрунтів. Це дає можливість визначити захисну здатність ґрунтів та визначити ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для різних типів ґрунтів.

7. Використання розробленої методики дає можливість отримати значення показників ефективної геофільтрації в залежності від початкової концентрації забруднювача з урахуванням типів ґрунтів зони аерації на території України. Ці показники рекомендується враховувати при аналізі екологічно-геохімічного впливу промислових підприємств на ґрунтовий шар та для прийняття рішень щодо зменшення негативного впливу підприємства.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані наукові результати дисертації:

1. Абрамов І. Б., Бойко Т. В., Запорожець Ю. А. Оцінювання хімічного ризику забруднення ґрунту на основі вирішення геофільтраційної задачі. Східно-європейський журнал передових технологій. 2012. №2/14 (56) – С. 24–26.

Здобувачем реалізовано математичну модель для ділянки закачування промислових стоків з метою отримання поля швидкостей фільтрації, необхідних для вирішення завдання розповсюдження промислових стоків в водоносному горизонті.

2. Бойко Т. В., Абрамова А. О., Запорожець Ю. А. Математичне моделювання міграції забруднюючих речовин у ґрунтах. Східно-європейський журнал передових технологій. 2013. №6/4 (66) – С. 14–16.

Здобувачем реалізовано математичну модель процесу масоперенесення розчинених речовин у фільтраційному потоці, що описує взаємодію між ґрунтами та стічними водами, а також представлені умови для спрощення математичної моделі шляхом приведення її до двовимірної «профільної» моделі, яка дає змогу оцінити розповсюдження стоків у глиб ґрунтів.

3. Бойко Т. В., Запорожець Ю. А., Броневітська С. В. Вирішення задачі фільтрації для моделі прогнозування міграції забруднюючих речовин в ґрунті. Збірник наукових статей четвертої міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії, технологіях і системах сталого розвитку - КМХТ-2014». 2014, С. 227–231.

Здобувачем представлено математичну модель масообмінних процесів в ґрунтовому шарі.

4. Бойко Т. В., Запорожець Ю. А. Моделирование массопереноса загрязняющих веществ в почвенном слое. Технологический аудит и резервы производства. 2015. №1/3 (21). С. 8–11

Здобувачем представлено математичну модель процесу фільтрації забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі, яка враховує в собі властивості ґрунту, використання моделі дозволить розробляти природоохоронні заходи з метою підвищення екологічної безпеки на промислових об'єктах.

5. Запорожець Ю. А. Вплив процесу фільтрації на якість ґрунтових вод. Збірник наукових статей п'ятої міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії, технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ-2016». 2016. С. 203–206.

Здобувачем представлено математичну модель фільтраційного процесу яка описує масообмінний процес з хімічною реакцією.

6. Бойко Т. В., Запорожець Ю. А. Застосування штучних нейронних мереж для прогнозування міграції забруднюючих речовин в природних дисперсних середовищах. Збірник наукових статей шостої міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ-2018». 2018. С. 222–226.

Здобувачем описані умови необхідні для створення штучної нейронної мережі яка надасть можливість прогнозувати міграцію забруднюючих речовин в природних дисперсних середовищах з потоком рідини.

7. Бойко Т. В., Запорожец Ю. А. Аналіз ризику забруднення ґрунту промисловими об'єктами. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. 2018. – №35 (1311) 2018. С. 49–52.

Здобувачем реалізовано математичну модель фільтраційного процесу яка описує масообмінний процес з хімічною реакцією першого порядку, в роботі також було математично доведено, що включення в процес перенесення домішок фільтраційним потоком додаткового фактору – хімічної взаємодії – призводить до ослаблення дисперсії.

8. Wojko T., Skladannyu D., Zaporozhets J., Plashykhin S. Application the simulation for the soils environmental safety assessment. Technology audit and production reserves. 2020. № 1/3(51). P.25–30.

Здобувачем представлено методику визначення рівня впливу промислового підприємства на ґрунтовий шар, використання запропонованої методики дасть можливість фактично оцінити рівень негативного впливу підприємством на ґрунт, а також прийняти рішення про їх наслідки.

Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації:

9. Статюха Г. А., Абрамов И. Б., Бойко Т. В., Запорожец Ю. А., Применение математических моделей при оценке экологического риска. XXIV – Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ–24» (м. Київ 31.05–02.06.2011). Київ, 2011. Т.4. С.17-19.

10. Статюха Г. А., Бойко Т. В., Запорожец Ю. А., К вопросу оценки химического загрязнения почвы на основе моделей фильтрации. XXV - Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-25» (м. Волгоград, 29–31 травня 2012). Саратов, 2012.Т. 2. С.156–158.

11. Запорожець Ю. А., Прогнозування впливу промислових об'єктів на забруднення ґрунтів. IV Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології (м. Київ, 4–6 квітня 2012). Київ, 2012. С. 296.

12. Запорожець Ю. А. Техногенне забруднення ґрунтів промисловим об'єктом. VI Міжнародна науково–технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології» (м. Дніпропетровськ, 24–26 квітня 2013). Дніпропетровськ, 2013. С.317.

13. Бойко Т. В., Запорожец Ю. А., Моделирование массопереноса загрязняющих веществ в грунтах. II Міжнародна науково–практична конференція (м. Шостка, 27–29 листопада 2014). Шостка, 2014. С.76.

14. Запорожець Ю. А., Бойко Т. В. Моделювання масоперенесення забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі. Всеукраїнська студентська наукова конференція з міжнародною участю (м. Дніпропетровськ, 25 травня 2015). Дніпропетровськ, 2015. С.317.

15. Запорожец Ю. А., Массоперенос загрязняющих веществ в почвенном слое. 12 Всероссийская (с международным участием) научная школа "Математические

исследования в естественных науках" (м. Апатиты, 26-27 октября 2015). Апатиты, 2015. С.168–171.

16. Запорожець Ю. А., Вплив кліматичних факторів на перенесення забруднюючих речовин в природному дисперсному середовищі. III Всеукраїнська науково–практична конференція «Актуальні проблеми науково–промислового комплексу регіонів» (м. Рубіжне, 24 квітня 2017) Рубіжне, 2017. С.79.

17. Запорожець Ю. А., Структура штучних нейронних мереж для прогнозування міграції хімічних речовин техногенного походження. VIII Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології» (м. Дніпро, 28 травня 2017). Дніпро, 2017. С.132.

18. Запорожець Ю. А., Вирішення задачі фільтрації прогнозування міграції забруднюючих речовин в ґрунті. Всеукраїнська науково-практична конференція «Майбутній науковець–2017». (м. Сєверодонецьк, 1 грудня 2017). Сєверодонецьк, 2017. С.92.

19. Запорожець Ю. А., Хімічний ризик при регламентній роботі техногенних об'єктів. III Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми сучасної науки» (м. Київ 8 червня 2018). Київ, 2018. С. 20.

20. Zaporozhets J., Risk of chemical impact on the environment. XXII міжнародна науково-технічна конференція «Технологія–2019». (м. Сєверодонецьк, 26 квітня 2019). Сєверодонецьк, 2019. С.36.

АНОТАЦІЯ

Запорожець Ю. А. Метод оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі зменшення антропогенного впливу на ґрунт промисловим підприємством шляхом моделювання та прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин з потоком вологи в ґрунтовому шарі в процесі фільтрації під впливом промислових об'єктів. Результати роботи пройшли апробацію та були впроваджені.

Загальний фільтраційний процес розглядається як комплекс окремих фізичних і фізико-хімічних процесів в ґрунтовому шарі. В ході дослідження розглянуті окремі складові процесу фільтрації та проведено обґрунтований вибір математичних моделей для їх опису. Запропоновані моделі враховують в собі особливості властивостей ґрунтового шару опосередковано, тобто через механізми перенесення рідини в середині ґрунту тому не дають повною мірою оцінити антропогенний вплив на якість та стан ґрунтів і ґрунтових вод в реальних умовах. Тому для врахування властивостей ґрунтового шару в математичній моделі фільтраційного процесу була розроблена нова модель яка буде враховувати в собі особливості пористого середовища.

Одним із проблемних місць при оцінці впливу промислового об'єкта на стан ґрунтів та ґрунтових вод є оцінювання впливу типу ґрунту та відповідному

цьому типу механізму перенесення рідини в середині ґрунтового шару на загальний результати фільтраційних процесів. З метою врахування ґрунтового шару при оцінці впливу промислового підприємства на стан ґрунтів розглянуто класифікацію ґрунтів з точки зору процесів фільтрації, які в них відбуваються. Для різних типів ґрунтів встановлені вагові коефіцієнти впливу окремих процесів, що становлять геофільтрацію в ґрунтовому шарі.

Для оцінки впливу промислового підприємства на ґрунтовий шар запропоновано методику визначення показників ефективності очищення, яка заснована на імітаційному експерименті. Розроблено алгоритм проведення імітаційного експерименту на комплексі моделей з урахуванням встановлених коефіцієнтів. За результатами імітаційного експерименту визначено величини, що дозволяють судити про стан ґрунтового шару: інтервальна оцінка ступеня очищення; висота ґрунтового шару, яка забезпечує максимально можливу ступінь очищення та ймовірності повного очищення від забруднювача під час проходження через шар ґрунту для всіх ґрунтів представлених в класифікації ґрунтів України.

При оцінці рівня впливу промислового підприємства на стан ґрунтового шару запропоновано розглядати ризик проникнення забруднювача в підземні води через шар ґрунту та встановлено шкалу оцінювання цього ризику. Для всіх розглянутих типів ґрунтів, з класифікації, оцінено ризик проникнення забруднень в ґрунтовий шар у випадках, коли початкова концентрація забруднювача перевищує фонову в три, п'ять і десять разів.

Запропоновану методику була застосовано для аналізу впливу викидів металургійних підприємств та викидів теплоелектростанції на стан ґрунтового шару. Використання методики дає можливість отримати значення показників ефективності очищення ґрунтів, в залежності від початкової концентрації забруднювача, з урахуванням типу ґрунту для оцінки ризику проникнення забруднювача в підземні води через шар ґрунту.

Ключові слова: екологічна безпека, промислове підприємство, ґрунтовий шар, гідросфера, математичне моделювання, фільтрація, масообмін, імітаційне моделювання, забруднюючі речовини.

АННОТАЦІЯ

Запорожец Ю. А. Метод оценки экологической безопасности загрязнения почв промышленным предприятием. Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.01 «Экологическая безопасность». – Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев, 2021.

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме уменьшения антропогенного воздействия на грунт промышленным предприятием путем моделирования и прогнозирования распространения загрязняющих веществ с потоком влаги в почвенном слое в процессе фильтрации под влиянием промышленных объектов.

В ходе исследования рассмотрены отдельные составляющие процесса фильтрации и проведён обоснованный выбор математических моделей для их описания. Предложенные модели учитывают в себе особенности свойств почвенного слоя опосредованно, то есть через механизмы переноса жидкости внутри почвы поэтому не дают в полной мере оценить влияние на состояние почв. Поэтому для учета свойств почвенного слоя в математической модели фильтрационного процесса была разработана новая модель, которая будет учитывать в себе особенности пористой среды.

Одним из проблемных мест при оценке влияния промышленного объекта на состояние почв и грунтовых вод является оценка влияния типа почвы и соответствующем этому типу механизма переноса жидкости внутри почвенного слоя на общий результат фильтрационного процесса. С целью учета почвенного слоя при оценке влияния промышленного предприятия на состояние почв рассмотрена классификация почв с точки зрения процессов фильтрации, которые в них происходят. Для разных типов почв установлены весовые коэффициенты влияния отдельных процессов, составляющих геофильтрацию в почвенном слое.

Для оценки влияния промышленного предприятия на почвенный слой предложена методика определения показателей эффективности очистки, основанная на имитационном эксперименте. По результатам имитационного эксперимента определены величины, которые позволяют судить о состоянии почвенного слоя: почвенного слоя, которая обеспечивает максимально возможную степень очистки и вероятность полной очистки от загрязнения при прохождении через слой почвы для разных видов почв.

При оценке степени влияния промышленного предприятия на состояние почвенного слоя предложено рассматривать риск проникновения загрязнителя в подземные воды через слой почвы. Для всех рассмотренных видов почв оценен риск проникновения загрязнений в почвенный слой в случаях, когда начальная концентрация загрязнителя превышает фоновую в три, пять и десять раз.

Предложенная методика была применена для анализа влияния выбросов металлургических предприятий и выбросов теплоэлектростанции на состояние почвенного слоя.

Ключевые слова: экологическая безопасность, промышленное предприятие, почвенный слой, гидросфера, математическое моделирование, фильтрация, массообмен, имитационное моделирование, загрязняющие вещества.

ABSTRACT

Zaporozhets Y. A. Method for assessing environmental safety of soil contamination caused by an industrial plant. Qualifying scientific work on the manuscript copyright.

Thesis for a Candidate Degree of Engineering Sciences in specialty 21.06.01 – Ecological Safety. Academy of Postgraduate Education and Management, Kiev, 2021.

This dissertation work is dedicated to a major problem on reduction of human impact on soil caused by an industrial plant by modeling and forecasting the emission of pollutants with moisture flow in the soil during infiltration process under the impact of industrial plants.

General infiltration process is considered a system of separate physical and physicochemical processes in the soil. In this research, certain components of infiltration process were studied and the mathematical models for their description were reasonably selected. The recommended models comprise peculiar properties of the soil indirectly, i.e. via mechanisms of fluid transport in the soil, therefore they do not allow full assessment of human impact on condition and quality of soil and groundwater in practice. For this reason, to consider properties of the soil in the mathematical model of the infiltration process, a new model that will take into account properties of the porous media was designed.

One of the challenges to evaluate industrial impact on soil and groundwater condition is the impact assessment of soil type and corresponding to this type mechanism of fluid transport in the soil upon general results of infiltration processes. To take into account the soil media when evaluating an impact of an industrial plant on soil condition, the soil classification has been considered in terms of infiltration processes that occur in soils. Significant coefficients of impact of separate processes, which represent geofiltration in the soil media, were defined for different types of soil.

To assess the impact of an industrial plant on soil, a technique for identifying values of purification efficiency, based on simulation experiment, was proposed. An algorithm to conduct a simulation experiment on a set of models taking into account defined coefficients was designed; it was implemented 10,000 times. According to the simulation experiment results, we defined values that provide assessment of soil condition: interval estimation of purification degree; soil depth that provides a maximum possible purification degree and probabilities of full purification from a contaminant while passing through soil for all soil types provided in the Ukrainian system of soil classification.

To assess the impact level of an industrial plant on soil condition, it was proposed to consider a risk of pollutant penetration to groundwater through soil, and a scale for assessment of such a risk was developed based on Harrington's desirability scale. The risk of contamination penetration to soils was evaluated for all reviewed soil types from the classification in cases when initial pollutant concentration exceeds background concentration by three, five and ten times.

The provided technique was implemented to analyze impact of emissions caused by iron and steel industries and thermal power stations on soil condition. Use of this technique allows us to obtain parameter values of soil purification efficiency depending on the initial pollutant concentration with regard to a soil type to evaluate risk of pollutant penetration to groundwater through soil.

Key words: environmental safety, industrial plant, soil, hydrosphere, mathematical modeling, infiltration, mass transport, simulation modeling, pollutants.