

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

**Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису**

ЗАПОРОЖЕЦЬ ЮЛІЯ АНАТОЛІЇВНА

УДК 504.064

ДИСЕРТАЦІЯ

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

**Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека
Технічні науки**

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

**Науковий керівник
Бойко Тетяна Владиславівна
кандидат технічних наук, доцент**

Київ - 2021

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.

Захист дисертації відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Міністерства освіти і науки України, 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 достатню апробацію та мають впровадження, що підтверджується відповідними актами.

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.

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.

Аналіз теоретичних досліджень з проблеми оцінки впливу промислового об'єкта на ґрунтовий шар показав необхідність подальшого

вивчення, уточнення та врахування великої кількості різноманітних природних та техногенних факторів при математичному моделюванні техногенного навантаження. В дисертаційній роботі розглянуто та систематизовано фактори, які впливають на фільтраційний процес розповсюдження забруднюючих речовин в місцях розташування промислових підприємств.

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 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 розроблено нову модель, яка буде враховувати особливості пористого середовища.

Адекватність розробленої математичної моделі фільтраційного процесу перевірялась порівнянням з результатами, отриманими при вирішенні моделі фільтрації розповсюдження забруднюючих речовин, із запропонованою Олійником А.Я. Відхилення результатів математичної моделі, яка враховує особливості ґрунтового шару, та моделлю запропонованою Олійником А.Я. не перевищує 4.1%.

Одним із проблемних місць при оцінці впливу промислового об'єкта на стан ґрунтів та ґрунтових вод є оцінювання впливу типу ґрунту та відповідному йому типу механізму перенесення рідини в середині ґрунтового шару на загальний результат 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. В

якості оцінки результатів фільтраційного процесу запропоновано відношення поточної концентрації забруднювача до гранично допустимої концентрації.

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 і проведено 10000 його реалізацій. За результатами імітаційного експерименту визначено величини, що дозволяють оцінювати 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 ґрунтів та встановлено шкалу оцінювання цього ризику на основі шкали бажаності Харрінгтона. Для всіх розглянутих типів ґрунтів, з класифікації, оцінено ризик проникнення забруднень у ґрунтовий шар у випадках, коли початкова концентрація забруднювача перевищує фонову в три, п'ять і десять разів.

Запропоновану методику 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 ґрунтів для оцінки ризику проникнення забруднювача в підземні води через шар ґрунтів за шкалою бажаності Харрінгтона.

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

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.
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.
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.
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
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.
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.
7. Бойко Т.В., Запорожець 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.

8. Bojko 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.

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»* (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»* (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* (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»* (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* (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* (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"(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»* (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»* (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»*. (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»* (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»*. (Сєверодонецьк, 26 квітня 2019). Сєверодонецьк, 2019. С. 36.

ABSTRACT

Zaporozhets Y.A. Method for assessing environmental safety of soil contamination caused by an industrial. - 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.

The thesis defense will be held at the Specialized Academic Council D 26.880.01. meeting. Academy of Postgraduate Education and Management of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kiev, 2021.

This dissertation work is dedicated to a major problem on reduction of human impact on soil caused by industry by modeling and forecasting the emission of pollutants with moisture flow in the soil during infiltration process under the impact of industrial plants. The results of this research passed evaluation test and they were implemented, which is confirmed by appropriate reports.

The aim of the work is to increase the level of ecological safety of the soil layer from pollution by industrial enterprises by developing a method of simulation of geofiltration processes of migration of pollutants in the aeration zone to determine the risk of their penetration through soils.

The object of research is the process of assessing the level of environmental safety from soil contamination by an industrial enterprise.

The subject of research is a method of assessing the ecological safety of soils from pollution by an industrial enterprise using simulation modeling of geofiltration processes

The analysis of theoretical studies for evaluating the impact of an industrial object on soil showed that many other natural and technogenic factors should be further studied, specified and taken into account when modeling man-induced impact mathematically. In this dissertation work, factors that impact infiltration process of distribution of pollutants in industrial gathering areas are analyzed and classified.

General infiltration process is considered a system of separate physical and physicochemical processes in the soil. In this research, certain components of infiltration process are studied and the mathematical models for their description are 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 is designed.

Adequacy of the designed mathematical model of the infiltration process was tested by comparing it with the results obtained when solving the infiltration model of pollutants emission, proposed by A.Y. Oliynyk. Deviation of the results of the mathematical model that considers properties of the soil from the model suggested by A.Y. Oliynyk does not exceed 4.1 %.

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 was 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. The ratio of a current pollutant concentration to an acceptable boundary concentration was suggested as the assessment of results of infiltration process.

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 and implemented 10000 times. According to the simulation experiment results, we defined values that provide assessment of soil condition:

- interval assessment of purification degree;
- soil depth that provides a maximum possible purification degree and probability of complete purification from a contaminant while passing through the 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 contaminant entering groundwater through the soil layer, and a scale for assessment of such a risk was developed based on Harrington's desirability scale. For all considered soil types in the classification, the risk of

contamination penetration to soils was evaluated in cases when the initial pollutant concentration exceeds the background concentration by three, five and ten times.

The provided technique was implemented to analyze the 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 taking into account the soil type to evaluate risk of pollutant penetration to groundwater through the soil based on Harrington's desirability scale.

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

Scientific papers, in which the scientific results of the dissertation are published:

1. Abramov I., Bojko T., Zaporozhets J. Assessment of risk of the chemical pollution soil based on solving problems geofiltration. Eastern European Journal of Enterprise Technology. 2012. №2/14 (56) – P. 24-26
2. Bojko T., Abramova A., Zaporozhets J. Mathematical modeling of migration of polluting values in soils. Eastern European Journal of Enterprise Technology. 2013. №6 / 4 (66) - P. 14-16.
3. Bojko T., Zaporozhets J., Bronevitskaya S. Solving the problem of filtering prediction model for migration of pollutants in soil. Proceedings of the Fourth International Scientific Conference on Computer Modeling in Chemistry, Technology and Systems for Sustainable Development - KMHT-2014. 2014, P. 227-231.
4. Bojko T., Zaporozhets J. Modeling of mass transfer of pollutants in the soil. Technology audit and production reserves. 2015. №1 / 3 (21) .C. 8-11
5. Zaporozhets J. Influence of filtration on groundwater quality. Proceedings of the Fourth International Scientific Conference on Computer Modeling in Chemistry, Technology and Systems for Sustainable Development - KMHT-2016. 2016, P. 203-206.

6. Bojko T., Zaporozhets J. Application of artificial neural networks for the prediction of migration of pollutants in natural dispersed environments. Proceedings of the Fourth International Scientific Conference on Computer Modeling in Chemistry, Technology and Systems for Sustainable Development - KMHT-2018. 2018, P. 222-226.

7. Bojko T., Zaporozhets J. Analysis of the risk of soil contamination by industrial sites. Bulletin of the National Technical University "KPI". Series: Chemistry, Chemical Technology and Ecology. 2018. - №35 (1311) 2018. P.49-52.

8. Bojko T., Skladanny 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

Scientific papers, which testify to the approbation of the materials of the dissertation:

9. Statyukha G., Abramov I., Boyko T., Zaporozhets J. Application of mathematical models in environmental risk assessment. XXIV - International Scientific Conference "Mathematical Methods in Engineering and Technology - MMTT-24" (Kyiv31.05-02.06.2011). Kyiv, 2011. Vol.4. P.17-19.

10. Statyukha G., Boyko T., Zaporozhets J. On the issue of soil chemical pollution assessment based on filtration models. XXV - International Scientific Conference "Mathematical Methods in Engineering and Technology - MMTT-25" (Volgograd 31.05-02.06.2012). Volgograd, 2012. Vol.4. P.156-158.

11. Zaporozhets J. Predicting the impact of industrial sites but soil contamination. IV International conference of students, graduate students and young Scientists in Chemistry and Chemical Technology (Kyiv, April 4-6, 2012). Kyiv, 2012. P. 296.

12. Zaporozhets J. Man-made soil contamination by an industrial site. VI International scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists "Chemistry and modern technologies" (Dnipropetrovsk, April 24-26, 2013). Dnepropetrovsk, 2013. P.317.

13. Bojko T., Zaporozhets J. Modeling of mass transfer of pollutants in soils. II International Scientific and Practical Conference (Shostka, November 27-29, 2014). Shostka, 2014. P.76.

14. Zaporozhets J., Bojko T. Modeling of mass transfer of contaminants in the soil layer. All-Ukrainian Student Scientific Conference with International Participation (Dnepropetrovsk, May 25, 2015). Dnepropetrovsk, 2015. P.317.

15. Zaporozhets J. Mass transfer of pollutants in the soil layer. 12 All-Russian (with international participation) scientific school "Mathematical Research in the Natural Sciences" (Apatity, 26-27 October 2015). Apatity, 2015. P.168-171.

16. Zaporozhets J., Influence of climatic factors on the transfer of pollutants in the natural dispersed environment. III All-Ukrainian Scientific-Practical Conference "Actual Problems of Scientific-Industrial Complex of Regions" (Rubezhnoye, April 24, 2017) Rubezhnoye, 2017. P.79.

17. Zaporozhets J., Structure of artificial neural networks for predicting migration of chemicals of anthropogenic origin. VIII International Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists "Chemistry and Modern Technologies" (Dnipro, May 28, 2017). Dnipro, 2017. p.132.

18. Zaporozhets J., Solution of the problem of filtration of the prediction of migration of pollutants in soil. All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Future Scientist - 2017". (Severodonetsk, December 1, 2017). Severodonetsk, 2017. P.92.

19. Zaporozhets J., Chemical risk in the regular operation of man-made objects. III International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of Modern Science" (Kyiv 8 June 2018). Kyiv, 2018. P. 20.

20. Zaporozhets J., Risk of chemical impact on the environment. XIII International Scientific and Technical Conference "Technology-2019". (Severodonetsk, April 26, 2019). Severodonetsk, 2019. C.36.

ЗМІСТ

	стор.
Перелік умовних позначень, скорочень.....	16
Вступ.....	17
Розділ 1 Особливості екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловими підприємствами.....	24
1.1. Промислові підприємства як джерела забруднення ґрунтів.....	24
1.2. Особливості забруднення ґрунтів в залежності від виду.....	28
1.3. Сучасні концепції та методики оцінювання екологічної безпеки забруднення ґрунтів.....	44
1.4. Постановка задачі дослідження.....	48
Висновки до розділу 1.....	49
Розділ 2 Моделювання міграції забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі...	50
2.1 Застосування математичного моделювання для розрахунку масообмінних процесів в ґрунтовому шарі.....	51
2.2 Застосування математичного моделювання для розрахунку фільтраційного процесу з врахуванням властивостей ґрунтового шару.....	57
2.3 Доведення адекватності моделі.....	61
2.4 Розроблення програмного комплексу оцінювання рівня впливу промислового об'єкту на ґрунтовий шар.....	64
2.4.1 Передумови створення програмного комплексу	64
2.4.2 Структура програмного комплексу.....	65
2.4.3 Інтерфейс та робота із програмним комплексом.....	68
Висновки до розділу 2.....	76
Розділ 3 Розробка методики оцінки екологічної безпеки ґрунтів.....	77
3.1 Обґрунтування застосування імітаційного моделювання для оцінки екологічної безпеки.....	80

3.2 Врахування особливостей ґрунту при проведенні імітаційного експерименту.....	83
3.3 Імітаційний експеримент по визначенню ймовірності максимально можливого очищення.....	91
3.4 Визначення ризику проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар.....	107
Висновки дорозділу 3.....	116
Розділ 4 Оцінювання екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим об'єктом.....	118
4.1. Оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару викидами теплоелектростанцій.....	118
4.2. Оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару викидами металургійної промисловості.....	126
Висновки до розділу 4.....	140
Загальні висновки.....	141
Список використаних джерел.....	143
Додаток А Основні типи схем геофільтраційної будови зони активного водообміну.....	162
Додатку Б Класичний метод опису процесу масоперенесення розчинних речовин при фільтрації водяного потоку.....	164
Додаток В Результати розрахунків математичної модель процесу масоперенесення розчинних речовин в ґрунтовому шарі в процесі фільтрації стічних вод методом сіток.....	168
Додаток Д Реалізація розрахунку тестового прикладу.....	171
Додаток Е Результати імітаційного експерименту для тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень,	

зруйнованих скельних і напівскельних порід для випадку коли початкова концентрація забрудника перевищує ГДК в три рази....	172
Додаток Ж Результати імітаційного експерименту для аналізу впливу теплоелектростанції на ґрунтовий шар по миш'яку.....	176
Додаток З Акт про впровадження методики визначення впливу промислових об'єктів на стан ґрунтового шару та програмного комплексу оцінювання стану ґрунтового шару	197
Додаток І Акт про впровадження методики визначення впливу промислового об'єкта на стан ґрунтового шару та програмного комплексу оцінювання стану ґрунтового шару	198

Перелік умовних позначень, скорочень

Умовні позначення

- D – коефіцієнт конвективної дифузії, $\text{м}^2/\text{доб}$;
 c – концентрація речовин, $\text{мг}/\text{м}^3$;
 v – швидкість фільтрації, $\text{м}/\text{доб}$;
 t – час, доба;
 σ – пористість, б/р;
 γ – константа швидкості масообміну, б/р;
 $\varphi(x, y, z, t)$ – потенціал швидкості фільтрації, б/р;
 χ – коефіцієнт фільтрації, $\text{м}/\text{доб}$;
 h – напір, м;
 p – тиск, Па;
 ρ – густина, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 g – прискорення сили ваги в $\text{м}/\text{с}^2$.

Скорочення

- ПТГС – промислове підприємство – навколишнє середовище
ЗР – забруднююча речовина;
ГШ – ґрунтовий шар;
НС – навколишнє середовище;
НПС – навколишнє природне середовище;
ГДК – гранично допустима концентрація;
ТЕС – теплова електростанція;

Вступ

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.

В даний час пасивність в проблемі вирішення питань безпеки навколишнього середовища для людства може викликати незворотні процеси. Діяльність людини нерозривно пов'язана зі збільшенням навантаження по забруднюючих речовинах на ґрунти індустриальних екологічних систем. Високий ступінь забруднення атмосферного повітря і води призводить до накопичення забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі. Причому це спостерігається і при нормальному режимі роботи підприємств, особливо хімічної промисловості. Тільки моніторинг не може вирішити проблему екологічної безпеки територій, потрібні методи прогнозування для обґрунтованого прийняття рішення. Для об'єктивного вирішення проблеми

зниження техногенного навантаження необхідно заздалегідь оцінювати рівень розподілу забруднювача в ґрунтах кількісно.

Проблема прогнозування антропогенного впливу на навколишнє середовище ніде в достатній мірі не інтегрована в систему прийняття рішень. Окремі дослідження стосуються вузьких завдань і носять частковий характер.

Над питанням оцінювання екологічної безпеки працювало багато вчених таких як А. І. Гражданкін [1], Л. В. Дранишников [2], Г.І. Рудько [3], В. М. Шмандій [4], І. Б. Абрамов [5], Г. О. Статюха [6], Т. В. Бойко [7], В. І. Бендюг [8], А. О. Абрамова [9].

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 у них, дозволить оцінити рівень впливу промислового підприємства на стан ґрунтового шару.

Знаходження ефективних рішень ряду гідрогеологічних задач пов'язано з ускладненням розрахункових алгоритмів введенням усього спектру можливих міграційних механізмів та гідрогеологічних взаємодій в ґрунтовому шарі.

Над питаннями гідрогеологічних процесів в ґрунтовому шарі, в залежності від поставлених задач, в різні часи працювали різні вчені, свій вклад в розвиток теорії фільтрації в 19-му столітті внесли ряд вчених Анрі Дарсі [10-12], Ж. Дюпюї та Ж. Буссинеско [13,14], Н.А. Умов [15], А. Аллен [16], Е. Бельтрам [17], М. Хілл [18] та інші. Над питаннями нелінійної фільтрації в анізотропних ґрунтах працювали В.А. Брагінска [19], О.В. Голубєва [20-23], А.Т. Горбунов [24], Г.К. Михайлов [25-27], Ю.Л. Соломко [28], С.Е. Холодовский [29-35], Д.Е. Івентон [36], І. Литвінішин

[37], С.Н. Нумеров[38,39] та інші. Також треба виділити науковців Олійник А.П.[40-44], Лаврік В.І.[45-52], Руминін В.Г.[53], Сімунок Д.[54], Боженко В.А, [55], Пляцук Л. Д. та М'якаєва Г. М., в роботі [56-58], О. А. Котовенко [59], А. В. Яцишин [60], [61] Ковальчук О.П. та інші.

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 0110U00386), «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.

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 методіку оцінювання екологічного стану геологічної системи з розподілу забруднюючих речовин у верхній зоні водоненасичених

ґрунтів. Використання методики дозволить оцінити рівень впливу промислового підприємства на стан ґрунтового шару, глибину розподілу забруднюючих речовин і можливий вплив на ґрунтові води.

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

Розроблено програмний комплекс оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару STAN_GRUNTIV, який призначено для оцінювання стану однієї зі складових навколишнього середовища – ґрунтового шару, в наслідок негативної дії 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 2Моделювання 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 впровадженоу дослідно-промислому експлуатацію, що виконує Державне підприємство «Український державний головний науково-дослідний і виробничий інститут інженерно-технічних і екологічних вишукувань» УкрНДПНТВ»(акт впровадження від 25 грудня 2014 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні положення, результати досліджень, узагальнення і висновки дисертаційної роботи належать авторові та його науковому керівникові.

Особистий внесок в працях, опублікованих в співавторстві: у роботі [62] 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; у роботі [63] здобувачем представлено математичну модель масообмінних процесів в ґрунтовому шарі; у роботі [64] здобувачем реалізовано математичну модель процесу масоперенесення розчинених речовин, у фільтраційному потоці неконсервативних забруднюючих речовин, 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; у роботі [65] 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; у роботі [66] представлено математичну модель фільтраційного процесу яка описує масообмінний процес з хімічною реакцією; у роботі [67] 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; у роботі [68] здобувачем описані умови необхідні для створення штучної нейронної мережі, яка надасть можливість прогнозувати міграцію забруднюючих речовин в природних дисперсних середовищах з потоком рідини; у роботі [69] здобувачем представлено методика 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.

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». (Сєверодонецьк, 2017 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасної науки» (Київ, 2018 р.); XXII міжнародній науково-технічній конференції «Технологія-2019» (Сєверодонецьк, 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 статей 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.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ПРОМИСЛОВИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

Посилення антропогенного впливу, що зумовлюється технічним прогресом, призводить до дедалі помітніших змін стану довкілля, причому більшість з них мають негативний вплив для всього живого на планеті.

Техногенні впливи на навколишнє середовище (НС) в сучасних умовах настільки великі, що можливі катастрофічні зміни кліматичних, геологічних, тектонічних і сейсмічних умов, а також виникнення глобальних забруднень і т.д. і, як наслідок, зміна розвитку екосистем, біологічного різноманіття умов проживання людей та їх здоров'я, зміна стійкості об'єктів техногенної діяльності.

Основи загальної концепції впливу на складові навколишнього природного середовища (НПС), зокрема на ґрунти та ґрунтові води, були представлені в роботах Абрамова І. Б. [70] наприкінці минулого століття. У зв'язку з інтенсивним освоєнням території промисловою та міською забудовою, розширюються масштаби прояву негативного впливу процесів і явищ, а також об'єм нанесеної шкоди ґрунтам. В наслідок чого виникає проблема у вивченні процесів впливу та змін, які виникають на територіях для розроблення захисних мір з максимальним врахуванням різновиду природних та техногенних факторів.

1.1. Промислові підприємства джерела забруднення ґрунтів

Основними джерелами техногенного забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами являються перш за все промислові та інші підприємств, де використовують технології з хімічними процесами.

На рисунку 1.1 представлено схему кругообігу шкідливих речовин в системі «промислове підприємство – навколишнє середовище» [71], з якого

видно, що діяльність підприємств, навіть при нормальному експлуатаційному режимі, тягне за собою забруднення шкідливими речовинами всіх складових навколишнього середовища.

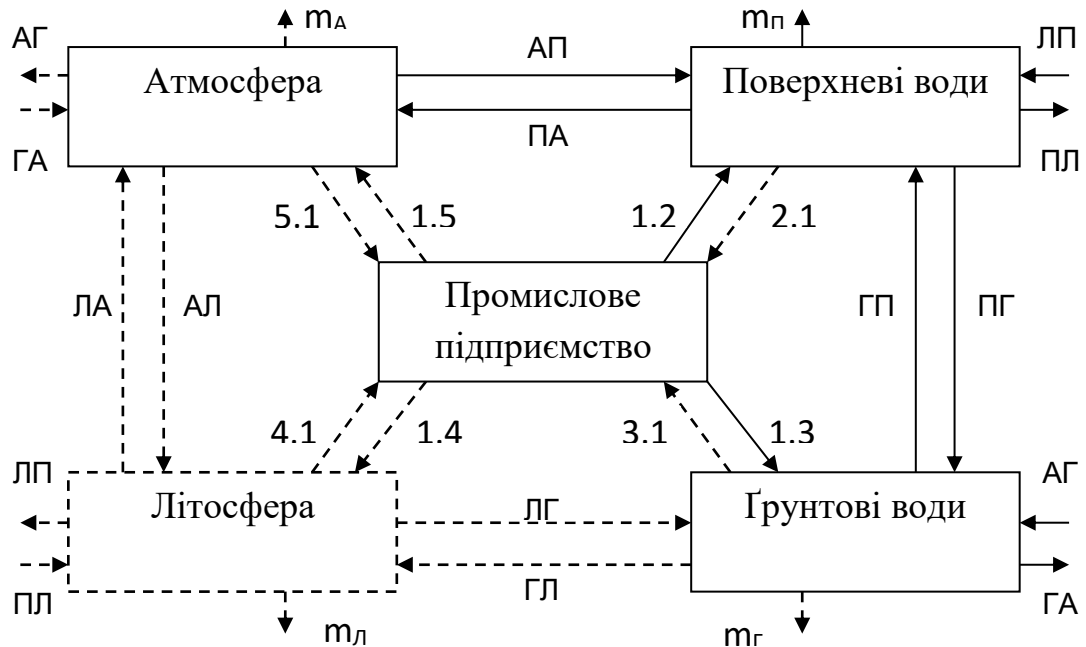


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд системи «промислове підприємство – навколишнього середовище».

ПГ, ПЛ, ПА - процес потрапляння забруднених речовин з поверхневих вод та водоймищ в ґрунтові води, літосферу та атмосферу;

ГП, ГЛ, ГА - процес потрапляння забруднених речовин з ґрунтових вод в поверхневі води та водоймища, літосферу та атмосферу;

ЛП, ЛГ, ЛА - процес потрапляння забруднених речовин з літосфери в поверхневі води та водоймища, ґрунтові води та атмосферу;

АП, АГ, АЛ - процес потрапляння забруднених речовин з атмосфери в поверхневі води та водоймища, ґрунтові води та літосферу;

m_П, m_Г, m_Л, m_А - маса шкідливих речовин в підсистемах поверхневих та ґрунтових вод, літосфери та атмосфери.

Позначення процесів обміну матеріальними середовищами об'єкту атмосферою, літосферою, поверхневими та ґрунтовими водами наступне:

1.2 - процес зливу стічних вод з об'єкту в поверхневі води;

2.1 - процес забору води з поверхневих вод на нужди об'єкту;

1.3 - процес потрапляння стічних вод з об'єкту в підземні горизонти;

3.1- процес забору води з підземних джерел на нужди об'єкту;

1.4 - процес скидів твердих відходів з об'єкту;

4.1 - процес потрапляння мінеральної сировини на об'єкт;

1.5 - газопильні та газоерозольні технологічні, вентиляційні, аспіраційні та інші викиди в повітряне середовище;

5.1- процес потрапляння повітря на технологічні потреби вентиляцію та аспірацію.

З даної схеми можливо скласти систему диференціальних рівнянь, яка відображає матеріальний баланс шкідливих речовин та швидкість їх накопичення в різних середовищах:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dm_{\Pi}}{dt} = (V_{1,2} - V_{2,1}) + (V_{\text{ЛП}} - V_{\text{ПЛ}}) + (V_{\text{АП}} - V_{\text{ПА}}) + (V_{\text{ГП}} - V_{\text{ПГ}}) - Q_{\Pi} \\ \frac{dm_{\Gamma}}{dt} = (V_{1,3} - V_{3,1}) + (V_{\text{АГ}} - V_{\text{ГА}}) + (V_{\text{ЛГ}} - V_{\text{ГЛ}}) + (V_{\text{ПГ}} - V_{\text{ГП}}) - Q_{\Gamma} \\ \frac{dm_{\text{Л}}}{dt} = (V_{1,4} - V_{4,1}) + (V_{\text{АЛ}} - V_{\text{ЛА}}) + (V_{\text{ПЛ}} - V_{\text{ЛП}}) + (V_{\text{ГЛ}} - V_{\text{ЛГ}}) - Q_{\text{Л}} \\ \frac{dm_{\text{А}}}{dt} = (V_{1,5} - V_{5,1}) + (V_{\text{ПА}} - V_{\text{АП}}) + (V_{\text{ГА}} - V_{\text{АГ}}) + (V_{\text{ЛА}} - V_{\text{АЛ}}) - Q_{\text{А}} \end{array} \right. \quad (1.1)$$

де V – швидкість переходу хімічних речовин з однієї підсистеми до іншої при протіканні процесів, позначених індексами;

Q – швидкість асиміляції (розкладання та розпаду) речовин.

За допомогою даної системи рівнянь надається можливість оцінити масу шкідливих речовин, що забруднюють атмосферу, літосферу, поверхневі та ґрунтові води, та створене ними дозове навантаження у відповідному середовищі для людини, флори та фауни та з урахування стохастичних характеристик реальних процесів визначити диференціальні функції розподілення викидів та скидів шкідливих речовин в НС, а також їх дозових навантажень.

Можливість і інтенсивність проходження тих чи інших процесів в певних умовах залежить від фізико-хімічних властивостей речовини, зміни що відбуваються в їх хімічних форм та інше. Забруднюючі речовини (ЗР) техногенного походження при потраплянні в навколишнє середовище в тому чи іншому стані можуть розповсюджуються на значні відстані, що обумовлює утворення певних зон зараження. Величина цих зон на сам перед залежить від характеру середовища, де проходить розповсюдження шкідливих речовин та їх хімічної стійкості.

Найбільші зони зараження утворюються при викидах в повітряне середовище, що веде до зараження літосфери і гідросфери.

На рис. 1.2 представлена схема шляхів потрапляння забруднюючих речовин в ґрунтовий шар [72]. Відповідно до схеми виділяю наступні види забруднення НС: механічне; хімічне; фізичне; радіаційне та біологічне забруднення.



Рисунок 1.2 – Центральне положення ґрунтів в екосистемі і можливі шляхи надходження забруднюючих речовин

Хімічне забруднення є найбільш небезпечним, а ЗР викликають глобальний ефект. Це пов'язано з тим, що розчинені хімічні речовини в водяному потоку можуть розповсюджуватись з водою по фільтраційному механізмі.

З усіх видів шкідливих речовин, які потрапляють у НС середовище, найбільша небезпека завдається ґрунтам, що призводить до зміни складу природних вод (під впливом фільтраційних процесів). Якість води і стан різних водних об'єктів визначається різними гідрохімічними, гідробіологічними та гідрофізичними показниками. На динаміку цих показників впливають чисельні абіотичні і біотичні процеси, що відбуваються внаслідок взаємодії різних компонентів екосистеми із зовнішніми природними факторами і факторами антропогенного походження.

1.2. Особливості забруднення ґрунтів в залежності від виду

При дослідженні техногенного впливу на ґрунтовий шар промисловими підприємствами враховують велику кількість факторів, які сприяють розвитку зміни стану ґрунтів. До таких факторів відносять: склад і властивості ґрунтового шару, кліматичні умови, рельєф місцевості, забруднюючі речовини, пора року та інші.

Перенесення забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі залежить від великої кількості факторів НС та процесів, які в них протікають. Ступінь впливу тих чи інших процесів може відрізнитися для різних дисперсних середовищ, забруднюючих речовин, розглянутих моментів часу і простору.

Для кожного типу ґрунтів характерні свої фізико-хімічні властивості ґрунтів.

Властивості ґрунтів є представленням геологічної структури (будови) середовища. Розрізняють фізичні, хімічні та водні властивості ґрунтів.

До фізичних властивостей ґрунтів відносять їх механічний склад, пористість і властивості вологості [73].

Механічний склад є істотною морфологічною ознакою, яка дає можливість судити про ступінь проникності ґрунтів для повітря, що важливо в санітарному відношенні. У крупнозернистих ґрунтах процеси самоочищення протікають більш енергійно внаслідок більшого припливу кисню, необхідного для окислення органічних речовин, що містяться в ґрунтах.

Визначення обсягу пор у ґрунтах має велике санітарне значення. Пористість або шпаруватість ґрунтів визначається загальним обсягом пор всередині ґрунтових частинок і між ними. Сумарна пористість в структурних ґрунтах приблизно в 1,5 рази більше, ніж в безструктурних. У дрібноструктурних (глинистих, торфових) ґрунтах, що мають велику пористість, водо- і повітропроникність менше, ніж в крупнозернистих (гравелістичних, піщаних) ґрунтах з меншою пористістю. В крупнозернистих ґрунтах, завдяки великим порам легше фільтрується і проникає в ґрунти атмосферна вода і кисень атмосферного повітря. Ці обставини сприяють більш інтенсивній течії аеробних мікробіологічних процесів і розкладанню органічних відходів [74].

У будь-яких ґрунтах розрізняють два фізичних показника: щільність ґрунтів (об'ємна вага ґрунтів, об'ємна маса ґрунтів) і щільність твердих фаз ґрунтів (питома вага чи маса ґрунтів) [74].

Всі фізичні властивості прийнято ділити на функціональні і основні. До функціональних відносять: водні, повітряні та теплові характеристики. До основних: пластичність, питома вага, об'ємна вага, пористість, твердість, липкість, стиглість, зв'язність, усадка, набухання та інші [73].

Дуже багато ґрунтових процесів визначаються їх фізико-механічними властивостями, які виявляються в разі дії зовнішніх навантажень. Фізичні властивості ґрунтів визначаються співвідношенням, взаємодією і динамікою твердої, рідкої, газоподібної і живої фаз ґрунтів. Від них залежить розвиток ґрунтоутворних процесів, родючість ґрунтів і розвиток рослин.

Хімічні характеристики ґрунтів в більшій мірі залежать від процесів, які відбуваються між твердою і рідкою фазами. За рахунок того, що впливає

закон діючих мас, формуються з'єднання, які поступово переходять у розчин. Саме тому досягається гармонійна рівновага у ґрунтах між твердою фракцією і ґрунтовим розчином [75].

Ґрунтовим розчином прийнято позначати ґрунтові води, що містять солі і кислоти. Процес формування ґрунтового розчину досить тривалий. Обумовлений він насиченням вологою ґрунтів та рухом в ній води. В результаті протікання окисно-відновних процесів солі починають розчинятися кислотами, а далі руйнуються в наслідок гідролізу [73].

Фізико-хімічні властивості ґрунтів показують можливі процеси і способи проходження розчинів крізь ґрунтовий шар, дають змогу описати масообмінні процеси, які відбуваються, та спрогнозувати об'єми забруднення ґрунтів.

Властивості вологості ґрунтів це її водопроникність (фільтраційна здатність), водопідйомна здатність (капілярність), вологоємність і гігроскопічність. Від вологості ґрунтів залежать її теплові властивості. Чим більше вологість ґрунтів, тим більше її теплопровідність і теплоємність.

Водні властивості ґрунтів показують здатність ґрунтів утримувати, пропускати і вбирати вологу, яка приходить через неї в процесі фільтрації. А також здатність переносити воду в поверхневі шари з глибини в процесі інфільтрації. Вода має значний вплив на фізичні, хімічні, теплові і повітряні характеристики ґрунтів.

Водопроникність – це здатність ґрунтів сприймати воду, що подається з її поверхні, проводити цю воду від шару до шару [76]. Процес водопроникності включає в себе дві стадії: всмоктування води в ненасичені вологою ґрунти і, при заповненні всього порового простору водою, фільтрацію. Отже, інфільтрація (вбирання) – переміщення вільної води в ненасичені вологою ґрунти – перша стадія водопроникності. Друга стадія водопроникності – рух води в насичені вологою ґрунти – фільтрація [77].

Під час фільтрація, як основного процесу розповсюдження водяного потоку в ґрунтовому шарі, вважається, що по всім порам вода рухається з

однаковою швидкістю, формуючи фільтраційний фронт в насичених водою ґрунтах. Такі умови в ґрунтах бувають нечасто і в основному характерні для руху ґрунтових вод, верховодки, для умов весняного сніготанення. Саме фільтрація води в ґрунтах є основою для розуміння процесів руху води в ґрунтах. Закономірність руху води при цьому процесі була вивчена Анрі Дарсі [78]. В цьому випадку рушійною силою є гідравлічний градієнт. Залежність між потоком і гідравлічним градієнтом називають законом Дарсі [79].

Відзначимо, що на перенесення і сорбцію забруднюючих речовин в природних дисперсних середовищах істотно впливає динаміка розподілу вологи в середовищі. У свою чергу ця динаміка визначається інтенсивністю дощових опадів, коливаннями температури і відносної вологості повітря на поверхні ґрунту, тобто кліматичними факторами [74].

Інтенсивність дощових опадів є головним фактором у формуванні в середовищі потоку вологи, якими переносяться ЗР [74]. Після випадання дощових опадів спочатку вода швидко поглинається середовищем, а потім потік вологи стабілізується. Ця початкова стадія швидкого проникнення води в ненасичене вологою середовище називається всмоктуванням або інфільтрацією. Далі в міру насичення всього простору дисперсного середовища водою потік вологи стабілізується. Настає стадія руху води в насиченому дисперсному середовищі - фільтрація. Таким чином, швидкість потоку вологи, яким переносяться ЗР, безпосередньо залежить від інтенсивності дощових опадів. Чим більше кількість опадів, що випали в одиницю часу, тим більше буде швидкість потоку вологи в середовищі і, отже, швидше буде відбуватися міграція забруднюючих речовин в глиб середовища.

Іншими важливими факторами, що впливають на перенесення забруднюючих речовин в природному дисперсному середовищі, є температура і відносна вологість повітря на поверхні середовища [80]. Ці два фактори визначають інтенсивність випаровування вологи з дисперсного середовища і підтік вологи до поверхні. Випаровування вологи з поверхні впливає на насиченість середовища водою, зміна якої, в свою чергу, впливає

на сорбцію і перенесення забруднюючих речовин. Крім того, якщо насиченість середовища вологою стає менше максимальної гігроскопічності, то вода в ній буде знаходитися в зв'язаному стані, при цьому рух вологи буде відбуватися тільки у вигляді водяної пари, який не переносить водорозчинні ЗР.

Температура і відносна вологість повітря визначають не тільки випаровування вологи з поверхні ґрунтів. Якщо парціальний тиск водяної пари в порах дисперсного середовища менше парціального тиску водяної пари в повітрі, то буде відбуватися процес сорбції вологи дисперсним середовищем. При цьому якщо насиченість середовища вологою стає більшим за максимальну гігроскопічність, то буде відбуватися плівковий, капілярно-плівковий і капілярний рух вологи (в залежності від насиченості) і здійснюватися перенесення розчинних забруднюючих речовин. Таким чином, температура і відносна вологість повітря істотно впливають на потік вологи в дисперсному середовищі, в якій за рахунок процесів гідродинамічної дисперсії і конвекції відбувається перенос забруднюючих речовин. Також відзначимо, що рух води в дисперсному середовищі відбувається в рідкій і газовій фазах, а оскільки водорозчинні сполуки не переносяться останньою, то необхідно розрізняти потік вологи в рідкій фазі і потік вологи в парогазовій фазі [81].

Як відомо, рух ґрунтової вологи, що переносить розчинні ЗР, здійснюється під дією капілярно-сорбційного потенціалу [82]. У свою чергу капілярно-сорбційний потенціал залежить не тільки від насиченості дисперсного середовища вологою, а й від температури. Отже, вже тільки коливання температури на поверхні дисперсного середовища впливатиме на капілярно-сорбційний потенціал і швидкість потоку вологи і в свою чергу – на швидкість міграції забруднюючих речовин. Крім того, особливо помітний вплив температури на перенесення забруднюючих речовин відбувається в області від'ємних її значень. При температурах нижче нуля в природних дисперсних середовищах знаходиться незамерзла волога, рух якої направлено з області з більш високою в область з більш низькою температурою.

Такий кліматичний фактор, як швидкість вітру, за рахунок можливості перенесення твердих частинок дисперсного середовища безпосередньо впливає на зміну концентрації забруднюючих речовин на поверхні природного дисперсного середовища. Також швидкість вітру на поверхні середовища істотно впливає на процеси випаровування вологи і конвективного теплообміну з повітрям.

Таким чином, для моделювання перенесення забруднюючих речовин в природних дисперсних середовищах необхідно враховувати інтенсивність дощових опадів, коливання температури і відносної вологості повітря на поверхні ґрунтів, тобто кліматичні фактори.

Беручи до уваги розглянуту інформацію можна прийти до висновку, що властивості ґрунтів являються основою для рішення геофільтраційної задачі.

Геологічне середовище, як геофільтраційна складова підземних вод являється головним фактором з точки зору оцінки можливих змін гідрогеологічних умов під техногенним впливом. Для оцінювання ступеня техногенного впливу на порушення існуючих та формування нового гідродинамічного і гідрогеохімічного режимів підземних вод необхідно вивчення основних характеристик геологічної будови території, яка піддається впливу техногенного об'єкту.

Склад ґрунтів визначає їх проникність і анізотропію, водоутримуючу здатність і водовіддачу, а також на фільтрацію рідини впливає і ступінь однорідності ґрунтів, так як наявність погано проникних прошарків та інших неоднорідностей грають велику роль в проникності породи.

Беручи до уваги великі території, які піддаються техногенному впливу, можна виділити зони з різними геофільтраційними умовами. Це дозволить поділити території за типами схем фільтрацій. Тип схеми фільтрації відіграє вирішальну роль у формуванні тих або інших закономірностей режиму водонасичення ґрунтів, ґрунтових вод та нижче розташованих водоносних горизонтів. В свою чергу основні елементи зони активного водообміну є визначальними факторами при типізації схеми фільтрації.

Вивчення геоморфологічних, геологічних та гідролгеологічних умов дає можливість на території України виділити чотири області та в середині них (тобто сумарно) десять районів по типам основних схем геофільтрації. Це дає можливість провести, з урахуванням існуючих методик [83-85] поділ територій впливу промислових об'єктів відповідно виділеним типам схем геофільтрації та оцінити можливі масштаби впливу техногенного об'єкта на ґрунтовий шар та підземні води в майбутньому під впливом техногенної інфільтраційного навантаження, а також оцінити можливий розвиток небезпечних геологічних процесів і явищ. В додатку А представлено схему геофільтраційної будови зони активного водообміну [70].

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.

За основу класифікації ґрунтів на території України доречно обрати області розвитку ґрунтів які запропонував І.Б. Абрамов [70].

Класифікація ґрунтів території України:

- 1) еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 2) еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 3) алювіальні відкладення річкових терас з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 4) алювіальні відкладення річкових терас без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 5) сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 6) сучасних морських відкладень без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;

- 7) тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень;
- 8) тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних алювіальних відкладень;
- 9) тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід.

Таким чином при вирішенні гефільтраційної задачі впливу промислового підприємства на територіях України треба враховувати дану класифікацію ґрунтів.

Більшість робіт по гефільтрації базувались в основному на досягненнях класичної теорії руху рідини та газу (гідродинаміки) як одного з розділів теоретичної фізики. Але очевидним, що існує певна специфіка у застосуванні методів традиційної гідромеханіки при формулюванні, вирішенні та аналізуванні результатів цілого ряду значимих гідрогеологічних задач. Зокрема, досить швидко було доведено, що відносна значимість механізмів та взаємодій в загальному міграційному процесі залежить від просторово-часових масштабів області його розгляду, літолого-генетичного типу геологічних розрізів та просторової кореляційної структури, її фізичних параметрів, структури фільтраційних потоків, а також умов на їх внутрішніх та зовнішніх границях.

Початок утворення та подальшого розвитку теорії міграції підземних вод пов'язано з появою робіт, присвячених опису руху рідини в ґрунтовому шарі через фільтраційні процеси, в яких описується перенесення речовин в потоках однорідних за фізичними властивостями, молекулярній дифузії та гідродисперсії, що супроводжуються складними процесами фізико-хімічної взаємодії, результатом чого є поглинання компонентів розчину твердою фазою (сорбція, іонний обмін, засолення, коагуляція), чи навпаки його збагаченням (десорбція, розчинення, суфозія) за рахунок твердої фази, а також реакціями розпаду речовин.

Найбільш поширеним способом вивчення фільтраційних процесів є методи моделювання, які базуються на використанні напівемпіричної системи рівнянь Дарсі [10-12], який був одним з перших хто почав вивчати теорію фільтрації, він описав зв'язок між швидкістю фільтрації в пористому середовищі та градієнтом тиску. Свій вклад в розвиток теорії фільтрації в 19-му столітті внесли ряд вчених Ж. Дюпюї та Ж. Буссинеско [13,14], працях Н.А. Умова [15], А. Аллена [16], Е. Бельтрами [17], М. Хілла [18] та інші.

В 30-х роках минулого столітті продовжили вивчати плоско паралельну фільтрацію рідини, а саме вчений В.І. Аравін [86-90]. В своїх роботах автор показує, що шляхом афінного перетворення площини течії рідини у прямолінійному шаруватому середовищі, яке зводиться до збільшення або зменшення масштабу однієї з вісей декартової системи координат в $n=const$ раз, вивчення фільтрації в анізотропних ґрунтах можна звести до вивчення плоско паралельного руху рідини в деяких фіктивних однорідних ізотропних ґрунтах. В роботі [90] автором досліджена плоско паралельна фільтрація рідини в однорідних ґрунтах, в цій роботі він показав, що розрахунок фільтрації в анізотропних ґрунтах за допомогою відповідного перетворення області течії зводиться до розрахунку течії в ізотропних однорідних ґрунтах. Зауважимо, що вперше зазначений в роботах В. І. Аравіна метод зведення розрахунку плоскопаралельної фільтрації в анізотропних однорідних ґрунтах до розрахунку течії рідини в ізотропних однорідних ґрунтах був потім використаний для вирішення різних фільтраційних завдань і іншими авторами. Так, В.С. Козлов [92] досліджував цим методом рух рідини під гідротехнічними спорудами в однорідних ґрунтах з прямолінійною анізотропією. П.Я. Полубарінова-Кочина [93] вивчала в цих же ґрунтах приплив рідини до дрен на водоупорі.

Певні задачі лінійної плоскопаралельної фільтрації, головним чином, в середовищах з прямокутною та радіальною анізотропією розглядалися в роботах В.А. Брагінської [19], О.В. Голубєвої [20-23], А.Т. Горбунова [24], Г.К. Михайлова [25-27], Ю.Л. Соломко [28], С.Е. Холодовського [29-35], Х. Маркуса

[36], І. Литвінішина [37] та інших. Першим узагальнив процеси нелінійної фільтрації в анізотропних ґрунтах в своїх роботах [38,39] С.Н. Нумеров.

Відкриття в кінці 50-60-х роках великих родовищ нафти і газу в тріщинуватих колекторах поставило перед дослідниками нові завдання по теорії фільтрації рідини в анізотропних середовищах. Зокрема, стали робитися спроби дати пояснення анізотропії ґрунтів щодо їх фільтраційних властивостей. В роботах [33-34] питання про проникність тріщиновато-пористих гірських порід, що характеризуються наявністю просторово орієнтованих систем тріщин, вирішується на основі представлення кінцевої (результуючої) швидкості фільтрації у вигляді суми швидкостей фільтрації тріщинних потоків і швидкості фільтрації в пористому середовищі.

При вивченні фільтрації в тріщинуватих середовищах часто виявляється, що тріщини мають просторову орієнтацію. У цій ситуації в роботах [95-98] результуючу швидкість фільтрації знаходили методом сумування швидкостей фільтрації в окремих тріщинах, вважаючи справедливим для них закон Буссінеска, і по ній будували тензори ефективної проникності для анізотропних моделей тріщинуватих середовищ. В [90,98,99] методом усереднення потоків у взаємно перпендикулярних напрямках знайдені компоненти тензорів ефективної проникності багат шарових середовищ.

Теорією двовимірної течії рідини займалась О.В. Голубєва [100,21,22], отримав подальший розвиток підхід до вирішення задач підземної гідромеханіки в області викривлених нескінченно тонких шарів постійної та змінної товщі, що було реалізовано учнями О.В. Голубєвої: К.Н. Бистровим [101], Ю.А. Гладишевою [102-104], М.І. Хмельником [105,106], В.Ф. Півнем [107,108] та іншими.

Також треба окремо виділити роботи, які велись у напрямку вивчення фільтраційних процесів в ґрунтовому шарі. Так в роботі [109] автор запропонував модель для опису процесу фільтрації двохфазної слабостислої рідини, дана модель заснована на кінетичному підході, в ній враховуються

капілярні і гравітаційні сили. Отримані гіперболічні рівняння нерозривності для фазових рідин апроксимуються явними тришаровими схемами з досить м'якою умовою стійкості.

В роботі [110] представлена чисельна модель, на основі якої автором створено метод розрахунку процесу нейтралізації області забруднення, що утворилася в зоні аерації шляхом вертикальної інфільтрації спеціального розчину. Представлена модель може бути використана для обґрунтування прийнятих інженерних рішень щодо захисту зони аерації та підземних вод. Подальше вдосконалення методу слід здійснювати у напрямку його адаптації до процесів фільтрації в неоднорідних ґрунтах.

В роботі [111] автором запропоновано принципово нові математичні моделі динаміки водного та сольового режимів в ґрунтах, що містять фрактальні колоїдні структури, і алгоритми їх дослідження. В роботі наголошено на важливість математичного моделювання процесів надходження вологи і розчинних солей в ґрунти, їх перерозподіл, витрата та спільний рух. На дану проблему також звернули увагу багато дослідників: Аверьянов С.Ф. [112], Нахушев А.М. [113], Сербіна Л.І. [114], Нерпіна С.В. [115], Полубарінова-Кочина П.Я. [116, 117]. Основи водного режиму ґрунтів були закладені Г.Н. Висоцьким. В роботі виділено, що водно-сольовий режим ґрунтів виступає найважливішою підсистемою системи автоматизованого проектування меліоративних і водогосподарських систем [112, 116, 118]. Відомо, що ґрунтовий розчин являє собою структуровані фрактальні колоїдні утворення, наявність яких істотно впливає на багато властивостей ґрунтів, в тому числі на їх інфільтраційні і фільтраційні характеристики. Відомо, що важливим є вплив вологості на фрактальні властивості ґрунтових колоїдів [119, 120].

В роботі [121] автор представив математичну модель процесу фільтрації у виробництві цинку. Дана модель заснована на рівняннях матеріального балансу за витратами технологічних середовищ і концентрацій окремих компонентів. Модель дозволяє визначати витрати і кількість

одержуваних продуктів процесу, оцінити його поточний стан і прогнозувати майбутні стани.

Над питанням фільтрації розчинів в ґрунтовому шарі працювали також наші співвітчизники. Так ще в 80-х роках минулого сторіччя В.І Лаврік почав працювати над задачами масоперенесення водорозчинних речовин в ґрунтовому шарі. Так в роботі [45] автор описав дві краєві задачі невстановленої конвективної дифузії у випадку фільтрації ґрунтових вод з вільної поверхні. В роботах [46,47] представлено рішення двовимірних крайових задач конвективної дифузії розчинних речовин при фільтрації підземних вод. В роботі [48] автор вивчав процеси забруднення та засолення підземних вод. В роботі [49] було представлено математичну модель самоочищення підземних та поверхневих вод. В роботах [50,51] автором розглядались процеси конвективної дифузії та залежність швидкості фільтрації від них. В роботах [52] автором проведено узагальнення всіх своїх праць.

Чималий вклад у розвиток математичного моделювання гідроекологічних досліджень вніс Олійник А.П., так в роботах [40-42] автор описав фізико-механічні властивості ґрунтів, їх забруднення в процесі дифузії при поширенні шкідливих речовин в ґрунтовому шарі. В роботах [43,44] автор оцінив рівень та якість ґрунтових вод та запропонував гідродинамічну модель фільтрації при очищенні підземних вод від солей. В роботі [122] автор представив модель фільтраційного процесу з метою вивчення поведінки ґрунтових вод в екологічних (підтоплення територій, паводки) та технологічних (видобування сланцевого газу) аспектах. Автор для опису вказаних процесів використовує моделі Дарсі та Форхгеймера з сталими коефіцієнтами. В роботі автор застосував математичну модель для прогнозування поширення ЗР при видобутку нафти та газу.

В напрямку вивчення фільтрації радіонуклідів в ґрунтах слід виділити роботи таких авторів як Істоміна А.Д. та Корабльова М.Д. [123],

Петрушки І.М. та Ятчишина Ю.Й. [124], Кундас С. П., Гишкелюк И. А. [125] та інших [126-128].

Із заостренням проблеми негативного впливу теплових електростанцій на НПС в останні роки проводиться все більше досліджень присвячених проблемам оцінювання та моделювання впливів об'єктів теплоенергетики на гідросферу. Над даною задачею працюють Пляцук Л. Д., М'якаєв О. В., М'якаєва Г. М., в роботі [56] проведено моніторинг підземних вод на гідросферу, в [57] проаналізовано вплив золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ на гідросферу, в [58] представлено варіант зниження його впливу. Над питанням впливу золошлаконакопичувача також працювали Барієва Е.Р., Корольов Е.А., Галимуллина Н.Х [129], О. А. Котовенко, О. Ю. Мірошніченко, Ю. О. Березницька, Ю.В. [59], А. В. Яцишин, О. О. Попов, В. О. Артемчук, В. О. Ковач, І. П. Каменева [60] та інші. В [61] Ковальчук О.П., Снітинський В.В., Шкумбатюк Р.С. та [130] Єрмаков А.А., Карпова Є.А., Малишева А.Г., Михайлова Р.І., Рижова І.Н. представили результати аналізування вмісту в ґрунтовому шарі важких металів. Чобан А.Ф., Чобан С.Я в [131] представили залежність природних водних об'єктів від впливу стічних вод ТЕС.

В роботі [132] запропоновано розглянути фільтрацію у ґрунтах, ґрунтуючись на масообмінних процесах, що відбуваються на межі поділу фаз при русі ньютонівської рідини по циліндричним трубках. Автор пропонує вважати таку формальну конструкцію ідеальними ґрунтами. Для опису процесу фільтрації автор рекомендує використовувати залежність швидкості фільтрації, засновану на функції Лаверетта, яка приблизно відповідає малим та великим швидкостям фільтрації. Однак, на мою думку, припущення про рух забруднювача у ґрунтах в капілярному режимі не є досить точним, а зроблений автором висновок про необхідність уточнення закону Дарсі носить загальний характер.

В роботі [133] розглядається математичне моделювання процесу очищення засоленої води з початковою концентрацією солей 15 г/л при

проходженні через ґрунтовий шар. При цьому враховується часткове накопичення солей і встановлення у ґрунтах концентрації солей, що має суть фонові. Запропонована авторами математична модель фільтраційного процесу має вигляд системи алгебраїчних і диференціальних рівнянь другого порядку в частинних похідних. Однак, при цьому авторами не враховується відмінності в складі ґрунтів різних типів. Крім того, автори не стали ускладнювати модель, вводячи в неї весь комплекс процесів, що протікають в ґрунтах при фільтрації. У той же час, в роботі доцільно застосовувати імітаційно-обчислювальний експеримент для дослідження процесів фільтрації у ґрунтах, оскільки знаходження узагальненого рішення системи математичних моделей надзвичайно ускладнене.

Авторами роботи [134] для моделювання поширення забруднень у ґрунтах запропонована математична модель процесу масопереносу в насичених і ненасичених пористих середовищах в ізотермічних умовах. Безсумнівним плюсом запропонованої моделі є врахування руху забруднювача не тільки у вертикальному, а й в горизонтальному напрямках. Результатом рішення моделі є поле концентрацій забруднювача у ґрунтах. Однак автори зосередили свою увагу в роботі лише на процесах масопереносу і масообміну, хоча геофільтрація не обмежується тільки зазначеними процесами. Таким чином, залишилися невирішеними задачі врахування впливу процесів механічної, хімічної і т.д. складових геофільтрації. Слід зазначити, що авторам також не вдалося отримати узагальнене рішення запропонованої ними моделі з огляду на її досить високу складність.

В роботі [135] авторами представлені результати моделювання поширення забруднень в піщаних ґрунтах. У якості забруднювачів розглянуто комбінований склад звалища міських комунальних відходів. Безперечною перевагою роботи є прийнятий автором види моделей - лінійні, статичні і квадратичні регресійні рівняння. Зазначені рівняння описують взаємозв'язок між масами внесеного і відфільтрованого забруднювача на одиниці площі ґрунтів. Незважаючи на використання нескладних математичних залежностей,

отримані результати моделювання корелюють з реальними результатами з коефіцієнтом 0,98, 0,99. Авторами зазначено можливість адаптації запропонованих рівнянь регресії для іншого складу ґрунтів, крім розглянутих в роботі піщаних, і різних видів забруднення, однак, сама адаптація не проведена.

Слід також виділити роботу [136], в якій авторами запропонована математична модель оберненої задачі – вилучення забруднень з ґрунтів шляхом промивання забруднених, в даному випадку засолених ґрунтів. В основі запропонованих авторами моделей лежать досить нескладні за структурою рівняння хімічної кінетики. Авторами запропоновано розглядати процес видалення забруднень як хімічну реакцію першого порядку. Однак питання інших видів взаємодії між забруднювачами та шаром ґрунтів залишилися нерозглянутими. Допущення авторів про перший порядок взаємодії при промиванні водою частинок твердої речовини вважаю необґрунтованим.

Більш ґрунтовною спробою розробити математичну модель процесів, що відбуваються при промиванні, опрісненні і очищенні ґрунтів від забруднюючих речовин представлена у праці [137]. Авторами запропонована модель динаміки локально нерівноважного в часі процесу конвективної дифузії розчинних речовин в умовах плоско-вертикальної стаціонарної фільтрації підземних вод з урахуванням наявності міжфазного масопереносу. Авторами отримані інтегро-диференціальні моделі нерівноважного конвективно-дифузійного процесу в пористому середовищі в умовах масообміну. На основі розроблених моделей авторами вироблено обчислювальні експерименти і комп'ютерне моделювання, результати яких показують фронти поширення забруднень у ґрунтах з урахуванням масообміну. Однак авторами не враховано відмінності між типами ґрунтів, які підлягають промиванню, що, безсумнівно, внесло б корективи в процеси, що протікають у ґрунтах.

В роботі [138] авторами розроблена установка для дослідження проникнення забруднювачів – важких металів, що утворюються в результаті згоряння палива в двигуні автомобіля, у ґрунти. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень ними запропонована фізична і математична моделі проникнення зазначених забруднювачів у ґрунти і визначена гранична глибина їх проникнення. Однак, запропонована авторами математична модель фактично представляє собою рівняння матеріального балансу процесу. Також авторами не враховано у дослідженні фонові концентрації досліджених забруднювачів, вимірювання яких внесло б істотні корективи в отримані авторами результати, оскільки зазначена в роботі похибка змін концентрацій (що досягає 10%, в одному випадку 15%) значно перевищує фонову концентрацію забруднювачів.

Проаналізувавши результати досліджень процесу геофільтрації можна прийти до висновку, що переважним видом опису руху рідини в ґрунтовому шарі являється фільтраційний процес. Також можна зробити висновок, що існуючі математичні моделі впливу стічних забруднених вод на стан ґрунтового шару і, як наслідок, на склад підземних вод повинні враховувати: характеристику ґрунтів (породу, структуру, форми пор і тріщин ґрунтів, присутність вологи в їх складі); тип стічних вод, властивість полютантів, які знаходяться в воді і можуть взаємодіяти з частинками ґрунтів; процеси взаємодії між ними (сорбція, іонний обмін, засолення, коагуляція, десорбція, розчинення, суфозія). Розглянуті моделі можна використовувати для конкретних випадків, тобто, вирішення задач фільтрації певних речовин, масообмін в певних видах ґрунтів, і вони не дозволяють повною мірою оцінити техногенний вплив на якість та стан ґрунтів і ґрунтових вод в реальних умовах.

В додатку Б представлено класичний метод опису процесу масоперенесення розчинних речовин при фільтрації водяного потоку [139] з крайовими умовами, в якості початкових умов використовують однорідне розповсюдження концентрації на всій площині[53], також наведено математичну модель для розрахунку швидкості фільтруючого потоку[140].

1.3. Сучасні концепції та методики оцінювання екологічної безпеки забруднення ґрунтів

Моніторинг і оперативне управління геологічним середовищем повинно передбачати, зокрема, можливість оцінювання екологічного стану гідродинамічних систем підземних вод. В першу чергу, це відноситься до гідродинамічних систем ґрунтових вод, оскільки саме ґрунтові води є найбільш динамічним і незахищеним компонентом геологічного середовища. В цьому аспекті стан потоку ґрунтових вод можна розглядати як індикатор стану геологічного середовища на певній території.

М.Д. Гродзинський і П.Г. Шищенко [141] пропонують оцінювати екологічний стан будь-якої природної системи з позицій реакції цієї системи на зовнішні впливи. Передбачається, що система має запас стійкості до зовнішніх впливів. Впливи до певного рівня істотно не позначаються на характеристиках і поведінці природної системи. В цьому випадку система знаходиться в стані екологічної рівноваги, яка сформувалася протягом тривалої історії розвитку цієї системи. Такий стан системи можна вважати екологічно безпечним. Якщо зовнішні впливи перевищують певний рівень (рівень інтенсивності та/або тривалості впливу), система виходить зі стійкого стану, і починається перехідний період її розвитку. Перехідний період закінчується тим, що система або адаптується до впливу, тобто досягає стану екологічної рівноваги в нових умовах (якщо зовнішні впливи зберігаються), або повертається в початковий стійкий стан (якщо зовнішні впливи припиняються). У першому випадку відбувається руйнування існуючого стану системи, що слід розглядати як порушення екологічної безпеки.

Для оцінювання негативних екологічних впливів різних факторів (аварійні ситуації на промислових об'єктах, вплив при нормальному режимі роботи промислових об'єктів, забруднення різними речовинами і в першу чергу хімічними і радіонуклідами, нераціональна господарська діяльність, природні катастрофи та інші) в останні роки стали активно застосовувати

підхід, що заснований на оцінюванні ризику несприятливих наслідків. Специфікою екологічного ризику є, як правило, нерівномірний його розподіл по території, що зазнала впливу шкідливого фактора. Розподіл ризику залежить від розподілу несприятливого фактору (концентрації забруднюючої речовини, інтенсивності радіоактивного випромінювання, шуму та інших), яке може бути статичним або змінним. Так, забруднення ґрунтів будь-якого регіону шкідливими речовинами може бути стабільним в часі і не залежати від щоденних змін погодних умов.

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. В цьому випадку слід взяти до уваги дві крайні ситуації: короточасний вплив сильнодіючого фактору (аварійна ситуація) і тривалий багаторічний вплив порівняно малоінтенсивного фактору (характеру), але яке з часом може призвести до вкрай небажаних наслідків, в першу чергу такого роду вплив негативно позначається на ґрунтах, що надалі може привести до зміни в його стані і складі, а також негативно позначитися на складі ґрунтових вод, особливо при довготривалому впливі хімічної промисловості.

Також потрібно брати до уваги вплив на НС, який відбувається локалізовано або глобально. У разі аварійної ситуації вплив матиме глобальний і негативний впливи, на які піддаються одразу всі складові НС, в разі тривалих впливів, вони можуть проходити локалізовано на певній території та впливати на одну складову НС, але з часом негативний вплив перестане носити локальний характер в залежності від різного роду факторів. У разі порівняно малоінтенсивного негативного впливу промислового об'єкту на ґрунти, що діє протягом тривалого часу (наприклад, промислове або транспортний забруднення), ЗР під дією фізичних законів можуть потрапити в ґрунтові води і зміну їх складу можуть виявити на великих відстанях від промислового об'єкта.

Таким чином, захист НПС має бути пов'язаний не тільки з питаннями забезпечення нормальних умов існування всього живого на Землі, а також і

питанням покращення ситуації, що вже склалася під негативним впливом промислових підприємств та людської діяльності. Тобто мінімізувати потрапляння шкідливих речовин в НС, чого можливо досягти на підґрунті концепції сталого розвитку суспільства [142], яка передбачає помірне і обмежене використання природних ресурсів, використання альтернативних джерел енергії з метою оптимізації життя майбутніх і сучасних поколінь, а також поступово зменшувати вже присутній негативний вплив.

Однією з цілей стратегії сталого розвитку суспільства є оцінювання безпеки промислових підприємств, що виконується з метою запобігання можливих аварій і мінімізації шкоди для НС й людини у випадку їхнього виникнення [143- 147].

На сьогоднішній день ситуація в області забезпечення екологічної безпеки на територіях України така, що на більшості промислових об'єктів особливу тривогу викликає високий рівень небезпечності, це в першу чергу пов'язано з застарілим обладнанням на них і з відсутністю можливостей для вирішення їх проблем. Відомі підходи до проблеми оцінювання екологічної безпеки розрізнені, часом відсутні науково обґрунтовані методики оцінювання й кількісні критерії рівня небезпеки, слабо використовуються можливості в області комп'ютерних технологій, сучасних методів дослідження й математичного моделювання [148].

Застосування методології оцінювання ризику для оцінювання ступеню впливу промислових об'єктів на НС [149-152] є найприйнятнішим, особливо в управлінських рішеннях, оскільки дає змогу: зіставити ризики різної природи і визначити рівень впливу на складові НС, а також характеризувати кількісно потенційну і реальну шкоду здоров'ю населення; визначити пріоритетність наявних загроз; сформулювати ефективну стратегію і тактику регулювання ризиків.

Над питанням оцінювання екологічної безпеки працювало багато вчених таких як А. І. Гражданкін [1], Л. В. Дранишников [2], Г.І. Рудько [3], В. М. Шмандій [4], І. Б. Абрамов [5], Г. О. Статюха [6], Т. В. Бойко [7],

В. І. Бендюг [8], А. О. Абрамова [9] та інші.

В останні роки все більше уваги приділяють оцінюванню ризику і з'являється усе більше робіт присвячених цій тематиці [1-2,7-8,153-158], роботи базуються на фундаментальних дослідженнях й їхньому аналізуванню (природничо-науковому або інженерному) з урахуванням джерел і факторів ризику, конкретних екологічних умов, шляхом виявлення ЗР і механізмів їхнього впливу.

Так в роботі [159] автором запропоновано процедуру приведення кількісних показників забруднення складових НС до індексних оцінок. Сформовано методику визначення ризику впливу на НПС планованої діяльності. Описано застосування запропонованої методики на прикладі проекту реконструкції ТЕС та металургійного комбінату.

Методики, що представлені у працях [6,8], базуються на розрахунку двох взаємопов'язаних показників безпечності: індексі відносної небезпечності та індексі регіональної небезпечності. Дані методики розповсюджуються на промислові підприємства, що містять джерела хімічної небезпеки та вибухонебезпечні джерела.

В роботі [55] представлено метод «індекс-ризик», в якому ризик встановлюється шляхом співставлення значення функції бажаності як кількісної оцінки якості складової НС і значення прийнятого рівня небезпеки.

В роботі [9] автором проведено аналізування існуючих методів оцінювання рівня екологічної безпеки проєктованих промислових об'єктів, та представлено методику визначення ризику впливу проєктованих промислових об'єктів на навколишнє середовище, а також програмний комплекс оцінювання екологічної безпеки проєктованих промислових об'єктів.

Таким чином, проведене аналізування існуючих методів оцінювання ризику як кількісної міри небезпеки, вказує, що найбільш перспективними є методи, що засновані на екологічних індексах. Використання індексів небезпеки для управління екологічною безпекою може зустрічати нерозуміння

й неприйняття, у цьому випадку необхідний перехід від значень індексів небезпек на мову ризиків або потенційних збитків.

В роботі [160] представлено методичне керівництво по розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України. В роботах [161-164] представлено методику екологічної оцінки якості поверхневих вод. В роботі [165] автором представлено аналізування існуючих алгоритмів оцінювання забруднення ґрунтів та запропоновано алгоритм кількісної оцінки забруднення ґрунтів на основі сумарного показника забруднення ґрунтів. В роботі [166] розглянуто етапи оцінювання ступеня небезпеки забруднення ґрунтів хімічними речовинами, в роботі [167] представлена методика оцінювання стану забруднення ґрунтів внаслідок нафтогазовидобутку.

1.4. Постановка задачі дослідження

Для встановлення оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством потрібно визначити ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунт.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі вирішуються такі задачі:

- провести аналізування міграційних властивостей ґрунтового шару на території України та розділити ґрунти з різними геофільтраційними умовами;
- провести аналіз математичних моделей фільтраційного процесу в ґрунтовому шарі з метою виділення моделей опису механізмів розповсюдження рідини в середині ґрунтів;
- визначити застосованість математичних моделей фільтраційних процесів до типів ґрунтів;

- запропонувати метод оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством, який оцінює ризик розповсюдження забруднювачів, які надходять із водним потоком, у ґрунтовому шарі.

Висновки

Аналіз теоретичних досліджень з проблеми оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством показав необхідність створення методу оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством, який буде враховувати специфіку складу шару ґрунтів та фізико-хімічних процесів в ньому. На основі проведеного літературного аналізу, можна зробити висновок, що існуючі методики та методи оцінювання впливу промислових об'єктів на НС використовуються для аналізування стану повітря чи водного середовища, однак для оцінювання стану ґрунтів методики пропонують тільки проведення загального аналізу, а зміна стану ґрунтового шару з глибиною не враховується. Також потрібно відзначити той факт, що більшість методик пропонує оцінювання рівня екологічної безпеки для проєктованих промислових об'єктів, а їх застосування для працюючих об'єктів не є доцільним.

Основні результати опубліковані в таких роботах: [62, 63, 68].

РОЗДІЛ 2

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ҐРУНТІВ

Використання складних феноменологічних моделей несе за собою певні ускладнення, тому є велика потреба у побудові прийнятних для практичного використання моделей, які могли б бути застосовані для вирішення задач прогнозування міграції забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі.

Вивчення процесів, що відбуваються під час фільтрації в ґрунтовому шарі неможливе без створення сучасних інженерних методів їх розрахунку. Методики розрахунку фільтраційного процесу, які використовуються на практиці, потребують обґрунтування фізичних явищ, що протікають в ґрунтовому шарі, а також методологію, математичний опис для їх реалізації. З числа існуючих методів, який найбільш точно відображає сучасне знання про фільтраційні процеси в ґрунтовому шарі є метод математичного моделювання, заснований на спільному розгляді та врахуванні масообмінних процесів, а також специфічних фізико-хімічних властивостей ґрунтового шару і забруднюючих речовин, особливостей процесів у ґрунтовому шарі (процеси: сорбції, хімічна взаємодія, проникність та інші) та врахування особливостей процесу взаємодії між стічними водами та ґрунтами. При розробленні математичної моделі фільтрації треба враховувати всі фактори, які можуть вплинути на процес фільтрації. Одним з факторів забруднення ґрунтового шару є просочування поверхні ґрунтів сумішами. Процес фільтрації компонентів речовин у ґрунтах залежить від багатьох факторів: кліматичних умов, температури, в'язкості, пористості, складу ґрунтів та інших. Фільтраційна і/або сорбційна спроможність ґрунтів, є одним з головних факторів для оцінювання змін гідрогеологічних умов, на які впливає людська діяльність. Для оцінювання впливу людської діяльності на порушення існуючого і формування нового гідро-геохімічного та гідродинамічного

режимів підземних вод, необхідно досліджувати основні характеристики будови ґрунтів.

Розроблення математичної моделі доцільно проводити на основі системного підходу, за допомогою якого, можна провести теоретичне вивчення вельми складних фізико-хімічних процесів. Однак при побудові математичної моделі слід мати на увазі, що занадто складні моделі, що враховують вплив багатьох факторів і явищ, мало прийнятні. Тому при розробленні інженерних методів розрахунку важливе розумне поєднання складності математичної моделі з фізично обґрунтованими спрощеннями, що забезпечує максимально наближений опис фільтраційного процесу в ґрунтовому шарі.

2.1 Застосування математичного моделювання для розрахунку масообмінних процесів в ґрунтовому шарі

За основу вирішення задачі фільтраційних процесів в ґрунтовому шарі була взята комплексна модель розроблена Лавріком В.І [50], що представлена в першому розділі. В даній моделі рівняння кінетики буде змінюватись в залежності від вирішення окремих випадків фізичних процесів, які відбуваються в ґрунтовому шарі під час фільтрації.

Для розробки моделі було прийнято наступні умови (надходження забруднювачів відбувається за схемою представленою в першому розділі):

- врахування типу домішок, які можуть взаємодіяти з частинками ґрунтів;
- врахування класифікації ґрунтів та їх властивостей (розділ перший);
- процеси взаємодії між потоком води та ґрунтовим шаром можливі за механізмами масообміну та хімічної взаємодії.

Врахування даних умов дає можливість побудувати окремі математичні моделі вирішення фільтраційних задач з врахуванням процесу масообміну та хімічної взаємодії.

Використання математичних моделей дозволяє дослідити процес розповсюдження промислових стоків, що уможливило аналіз впливів промислового підприємства на ґрунтовий шар з метою прогнозування змін у ґрунтах та ґрунтових водах.

Математичне моделювання масоперенесення забруднюючих речовин у ґрунтовому шарі при врахуванні специфіки різних процесів

Математична модель міграції, тобто масопереносу 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[50]:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, v_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z}, \varphi = -\chi h, h = \frac{p}{\rho g} - \gamma \quad (2.1)$$

$$D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - v_z \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = f(c, N) \quad (2.3)$$

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

$$c(x, y, z, t_0) = c_0(x, y, z) \quad (2.4)$$

$$c(x, y, z, t)|_{x=x_1} = c_0(y, z, t), \frac{\partial c}{\partial z}|_{z=L} = 0 \quad (2.5)$$

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;

$v_x(x, y, z, t)$, $v_z(x, y, z, t)$ і $v_y(x, y, z, t)$ – 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/м³;

g – прискорення сили ваги в м/с².

В залежності від процесів взаємодії між потоком води, якій фільтрується, та ґрунтовим шаром рівняння кінетики (2.3) буде змінюватись в залежності від задачі яка буде вирішуватись.

Процеси взаємодії між потоком води та ґрунтовим шаром[50]:

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

$$\frac{\partial N}{\partial t} = a(\sigma c - \beta N) \quad (2.6)$$

де a – 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:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \gamma(c - c^*), \quad \gamma = a\sigma \quad (2.7)$$

де $c^* = C_k$ – коефіцієнт насичення.

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

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\gamma(c - c^*), \quad \gamma = a\sigma \quad (2.8)$$

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

$$N = \frac{\alpha}{\beta} c \quad \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma_c^* \Gamma \frac{\partial c}{\partial t} \quad (2.9)$$

де σ_c^* – ефективна пористість або масообмін поглинання речовини породою:

$$\sigma_c^* = \sigma(1 + \Gamma) \quad (2.10)$$

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

$$N = -\frac{\alpha}{\beta^*} c \quad \frac{\partial N}{\partial t} = -\sigma_g^* \Gamma^* \frac{\partial c}{\partial t} \quad (2.11)$$

де σ_g^* – ефективна пористість або масообмін виділення речовини породою:

$$\sigma_g^* = \sigma(1 - \Gamma) \quad (2.12)$$

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

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \gamma, \gamma = a\sigma \quad (2.13)$$

7) При побудові математичної моделі оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару при десорбції в процесі фільтрації рівняння кінетики буде описується таким чином:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\gamma, \gamma = a\sigma \quad (2.14)$$

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

Задачі пов'язані з хімічним складом підземних вод часто зустрічаються при моделюванні процесів нафтовіддачі родовища нафти за допомогою закачування хімічних реагентів, а також при оцінюванні наслідків розповсюдження рідких забруднювачів в підземних водах. Відмінною особливістю задач, пов'язаних з моделюванням міграції підземних флюїдів та супроводжуваних процесів, являється недолік геологічної та геохімічної інформації, а також важкі процеси, які відбуваються в ґрунтовому шарі [64].

Для математичного моделювання процесу підземного масоперенесення, в тому числі процесу формування хімічного складу підземних вод, має бути відома наступна інформація: механізм перебігу хімічних реакцій в системі; кінетичні коефіцієнти кожної реакції; фізичні та фізико-хімічні властивості порід та фільтруючих розчинів.

Явище дисперсії домішок фільтраційним потоком аналогічно турбулентній дифузії. Хімічні реакції взаємодії потоку та пористого середовища мають свій вплив на дисперсію

Умови побудови математичної моделі: в якості моделі пористого середовища приймаємо ланцюжок комірок ідеального перемішування. Основним є рівняння для ймовірності перебування частинки домішку в комірці. Припускається, що процеси в різних комірках незалежні одна від одної. Ефект дисперсії визначається результатом проходження частинкою досить великого числа комірок.

В межах описаних умов розглядалась математична модель фільтраційного процесу з незворотною хімічною реакцією першого порядку $A \rightarrow B$ [168]. Швидкість реакції ξ описується рівнянням:

$$\xi = -kC \quad (2.15)$$

де k – константа швидкості реакції;
 C – концентрація реагенту (речовини А).

$$C(x, t) = \frac{M_0 l e^{-kt}}{V \sqrt{4\pi dt}} e^{-\frac{(x-Ut)^2}{4Dt}} \quad (2.16)$$

де D – коефіцієнт гідродисперсії;
 U – середня швидкість течії в комірці, $U = ql/V$
 l – довжина комірки,
 V – об'єм комірки;
 q – об'ємний потік, що проходить через комірку;
 M_0 – початкова кількість частинок, введених в першу комірку.

Таким чином рівняння кінетики для задачі фільтрації з врахуванням хімічних реакцій при фільтрації розчинів буде описуватись таким чином:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -kC = -kC(x, t) = \frac{M_0 l e^{-kt}}{V\sqrt{4\pi dt}} e^{-\frac{(x-Ut)^2}{4Dt}} \quad (2.17)$$

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

2.2. Застосування математичного моделювання для розрахунку фільтраційного процесу з врахуванням властивостей ґрунтового шару

На основі літературного аналізу першого розділу, а також вище представлених математичних моделей, можна зробити висновок, що існуючі математичні моделі впливу стічних вод на стан ґрунтового шару і в подальшому на склад підземних вод, 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 зміни 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 нова модель яка буде враховувати особливості пористого середовища.

Для розробки моделі було прийнято наступні умови (надходження забруднювачів відбувається за схемою представленою в першому розділі):

- врахування типу домішок, які можуть взаємодіяти з частинками ґрунтів;
- врахування класифікації ґрунтів та їх властивостей (розділ перший);

- встановлення факторів, що будуть впливати на фільтраційний процес в ґрунтовому шарі;
- врахування особливостей процесів в ґрунтовому шарі.

Проведені дослідження поставили за мету визначити особливості процесу міграції забруднюючих речовин з поверхні в глибину ґрунтів з врахуванням цих умов.

Для опису процесу міграції потоку води в ґрунтовому шарі за основу побудови використовується математична модель (2.1-2.5). Рівняння кінетики даної моделі буде враховувати властивості ґрунтів як насипного шару.

Як правило, математичні моделі масопереносу розчинених речовин – це системи диференціальних рівнянь, що включають в якості незалежних змінних три просторові координати і час.

При побудові математичної моделі враховувалися такі припущення:

- забруднюючі домішки розчинені у воді і концентрація відповідає сумарному солемісту;
- поширення домішок здійснюється з потоком маси рідини, що фільтрується;
- процес накопичення в ґрунтовому шарі лімітується процесом масопереносу в ізотермічних умовах;
- коефіцієнт конвективної дифузії та фізико-хімічні характеристики рідкої і твердої фаз є постійними.

Математична модель масоперенесення забруднюючих речовин з врахуванням особливостей ґрунтового шару представлена рівнянням матеріального балансу, рівняннями руху рідкої фази та рівнянням кінетики:

$$D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - v_z \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t} \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (2.19)$$

$$v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, v_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = a\varepsilon c, \quad (2.21)$$

Початкові та граничні умови:

$$c(x, y, z, t) = c_0(x, y, z, 0), \quad v(x, y, z, 0) = 0, \quad N_0(x, y, z, 0) = 0 \quad (2.22)$$

$$c(x, y, z, t)|_{x=x_1} = c_0(x_1, y, z, t), \quad N(x, y, z, t)|_{x=x_1} = 0, \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial c}{\partial y}|_{y=L} = 0,$$

де $c(x, y, z, t)$ – концентрація речовин в рідкій фазі, мг/м³;

$N(x, y, z, 0)$ – концентрація речовин в твердій фазі, мг/м³;

$v(v_x, v_y, v_z)$ – вектор швидкості фільтрації, м/добу;

D – коефіцієнт конвективної дифузії, м²/добу;

$\varphi(x, y, z, 0)$ – потенціал швидкості фільтрації, м/добу, що визначається рівністю:

$$\varphi = -\chi h \quad (2.24)$$

де χ – коефіцієнт фільтрації, м/добу;

h – напір м, що визначається рівністю:

$$h = \frac{p}{\rho g} - a \quad (2.25)$$

де p – тиск, Па;

g – прискорення сили тяжіння, м²/с.;

ρ – щільність, кг/м³;

a – константа швидкості масообміну, с⁻¹;

ε – активна пористість середовища (доля пустот в насипній масі), що визначається рівністю:

$$\varepsilon = 1 - \frac{p_b}{p_s} \quad (2.26)$$

ρ_b – щільність насипного шару;

ρ_s – щільність спресованої проби ґрунтів.

Слід зазначити, що при вирішенні геофільтраційних завдань використання рівняння кінетики в вигляді (2.21), а особливо з урахуванням динамічно змінних напору і концентрації, дасть можливість у повній мірі оцінити антропогенний вплив на якість та стан ґрунтів і в подальшому на стан ґрунтових вод в реальних умовах.

Для здійснення математичного моделювання руху підземних вод в конкретних умовах необхідно знайти рішення рівняння в заданій області фільтрації з заданими граничними умовами. Але у зв'язку з тим, що рішення тривимірних крайових задач навіть для сталих процесів пов'язане з подоланням значних математичних труднощів, тому є потреба у використанні потужної обчислювальної техніки. Слід також зауважити, що для імітаційного математичного моделювання застосування досить складних математичних моделей, як правило, є малоефективним. Тому при математичному та імітаційному моделюванні динаміки підземних вод намагаються розглядати такі фізичні схеми (моделі), які могли б з гідною для практичних розрахунків точністю описувати більш простими математичними співвідношеннями (рівняннями, формулами).

Одним із прийомів спрощення математичних моделей в теорії фільтрації є зменшення розмірності загального диференціального рівняння гідродинамічної теорії руху підземних вод, що досягається у результаті розгляду таких частинних схем взаємодії поверхневих і підземних вод, які можна описати двовимірними або одновимірними дифузійними рівняннями.

Таким чином вертикальне усереднення по координаті z перетворює розрахункові рівняння на двовимірну профільну модель, рішення даної моделі

дає можливість оцінити поширення розчинених забруднювачів в глиб ґрунтового шару [70,53], причому вісь y спрямована вертикально вниз.

$$\left\{ \begin{array}{l} D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t} \quad (2.27) \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0, \quad (2.28) \\ v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad (2.29) \\ \frac{\partial N}{\partial t} = a \epsilon c, \quad (2.30) \end{array} \right.$$

Початкові та граничні:

$$c(x, y, t) = c_0(x, y, 0), \quad v(x, y, 0) = 0, \quad N_0(x, y, 0) = 0 \quad (2.31)$$

$$c(x, y, t)|_{x=x_1} = c_0(x_1, y, t), \quad N(x, y, t)|_{x=x_1} = 0, \quad (2.32)$$

$$\frac{\partial c}{\partial y} |_{y=L} = 0,$$

Наведена система рівнянь описує міграцію й фізичну трансформацію (десорбцію, сорбцію) консервативних водорозчинних речовин.

Використання математичної моделі (2.18)–(2.23) або (2.27)–(2.32) дозволить отримати профіль концентрації забруднюючих речовин як в рідкій, так і твердій фазах, що особливо важливо для прогнозування стану ґрунтового шару.

2.3. Доведення адекватності моделі

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

В якості 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. [43];
- 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 $c_0(0,0,0)=0,8$ мг/м³. Дана модель вирішувалась за допомогою методу сіток [169].

Отримані результати математичного моделювання фільтраційного процесу з врахуванням властивостей ґрунтового шару наведено на рис. 2.1., де початок координат співпадає з місцем потрапляння потоку стічних вод в ґрунтовий шар, в якому розповсюджується, в перерізі за висотою приймається рівномірним.

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.

На рис. 2.2. представлено результати розрахунку моделювання фільтраційного процесу за трьома моделями для порівняння. Кривою «а» представлені результати розрахунку отримані в результаті рішення математичної моделі фільтраційного процесу, яка враховує традиційні рівняння кінетики представлені в роботі Олійника А.Я. [43], кривою «в1» представлені результати розрахунку отримані в результаті рішення моделі, яка

враховує особливості ґрунтового шару, кривою «в2» представлені результати розрахунку отримані в результаті рішення моделі, яка не враховує особливості ґрунтового шару.

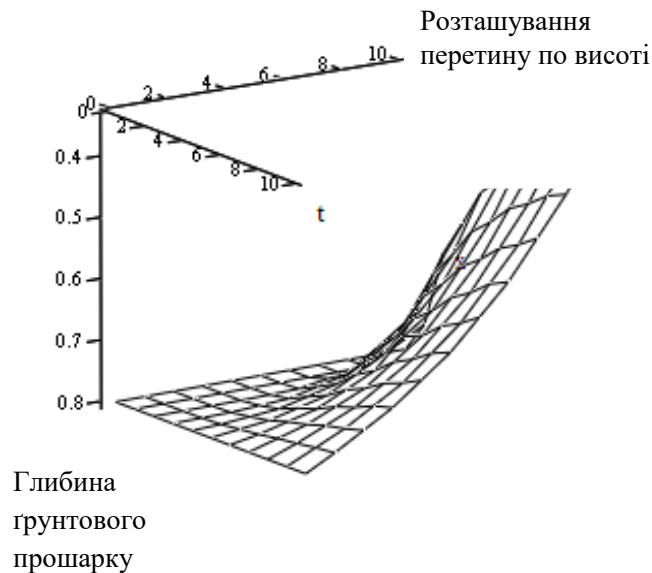


Рисунок 2.1– Геометрична інтерпретація зміни концентрації (нітрату) в рідкій фазі, яка фільтрується в ґрунтовому шарі

Числові значення результату розрахунку за трьома моделями наведено в додатку В.

Розроблена модель прийнятна для рішення фільтраційних задач. Вона дає несуперечливі результати порівняно з іншими розрахунками.

Порівняння отриманих концентрацій 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%.

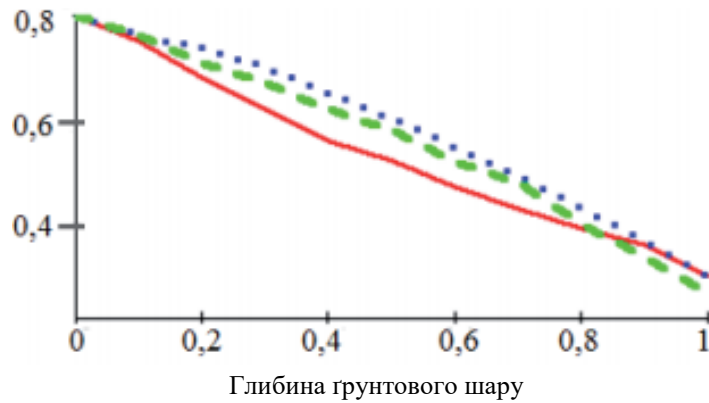


Рисунок 2.2 - Зміна концентрації нітратів у ґрунтовому шарі в потоці в глиб ґрунтового шару

— крива «а» результати моделювання фільтраційного процесу стічних вод по Олійника А.Я[43]; результат моделювання фільтраційного процесу стічних вод по математичній моделі: — крива «в1» враховує особливості ґрунтового шару, ■ ■ ■ кривою «в2» не враховує особливості ґрунтового шару

Таким чином перевірка адекватності довела, що розроблена математична модель фільтраційного процесу, яка враховує особливості ґрунтового шару, досить точно описує процеси які протікають у реальних умовах. На основі отриманих даних за моделлю можна розробляти природоохоронні заходи з метою підвищення екологічної безпеки на промислових об'єктах.

2.4. Розроблення програмного комплексу оцінювання рівня впливу промислового об'єкту на ґрунтовий шар

2.4.1 Передумови створення програмного комплексу

В сучасних умовах екологічної кризи в нашій державі все частіше спостерігається низька якість вихідної екологічної інформації. Однією з причин є відсутність відповідної системи контролю якості вихідних даних.

Тому існує необхідність розроблення та впровадження сучасних ефективних автоматизованих систем, що повинні включати важливі з екологічної точки зору показники для більш об'єктивної оцінки екологічного стану ґрунтового шару.

Для прогнозування стану ґрунтового шару дуже важливим є здійснення контролю впливів промислового підприємства, що представляє собою збирання й оброблення інформації, яку можна використати для оцінювання стану та складу ґрунтів.

На сьогоднішній день в Україні для оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару промисловим об'єктом використовуються різноманітні методології, але вони не враховують послідовного розрахунку забруднення навколишнього середовища. Внаслідок чого, проведення аналізу результатів розрахунків займає велику кількість часу. Тому і говорити про існуюче програмне забезпечення оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару промислового підприємства не можливо.

Реалізація методів кількісної оцінки потенційної небезпеки промислових підприємств у вигляді програмного комплексу дозволить спростити встановлення рівня впливу промислового об'єкта на стан ґрунтового шару.

2.4.2. Структура програмного комплексу

Програмний комплекс оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару STAN_GRUNTIV призначено для оцінювання стану однієї зі складових НС–ґрунтового шару, в наслідок негативної дії промислових підприємств. Даний програмний комплекс реалізовано на мові програмування «java» [170,171] та призначено для використання в операційній системі Microsoft Windows 10. 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 (об'єктом).

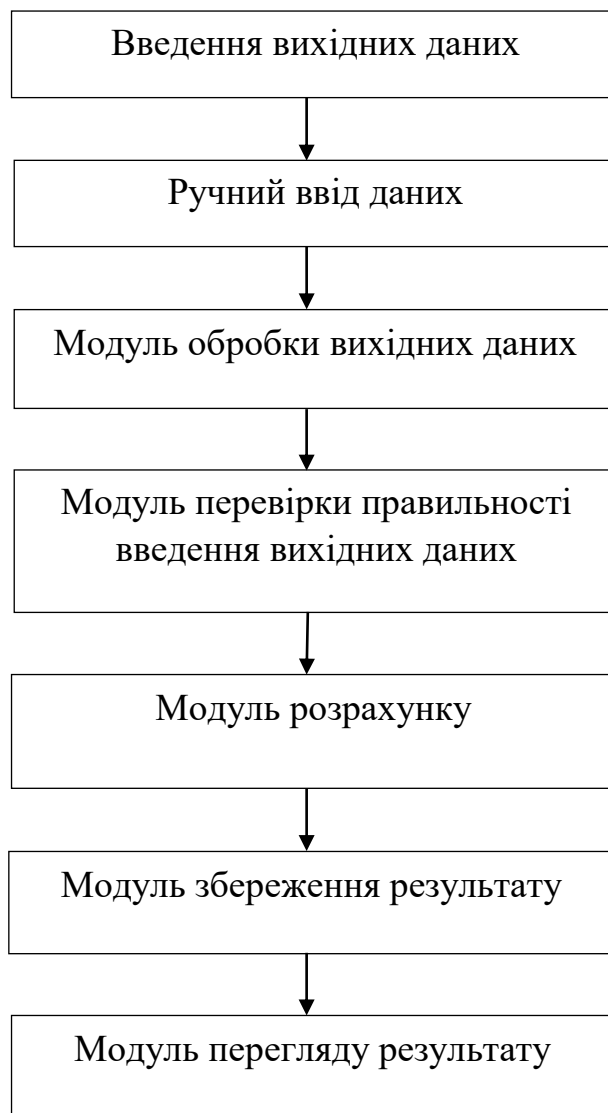


Рисунок 2.3– Узагальнена структурна схема програмного комплексу STAN_GRUNTIV

На рис 2.3 представлена узагальнена структурна схема програмного комплексу STAN_GRUNTIV.

На рис. 2.4 представлено алгоритм програмного комплексу STAN_GRUNTIV.

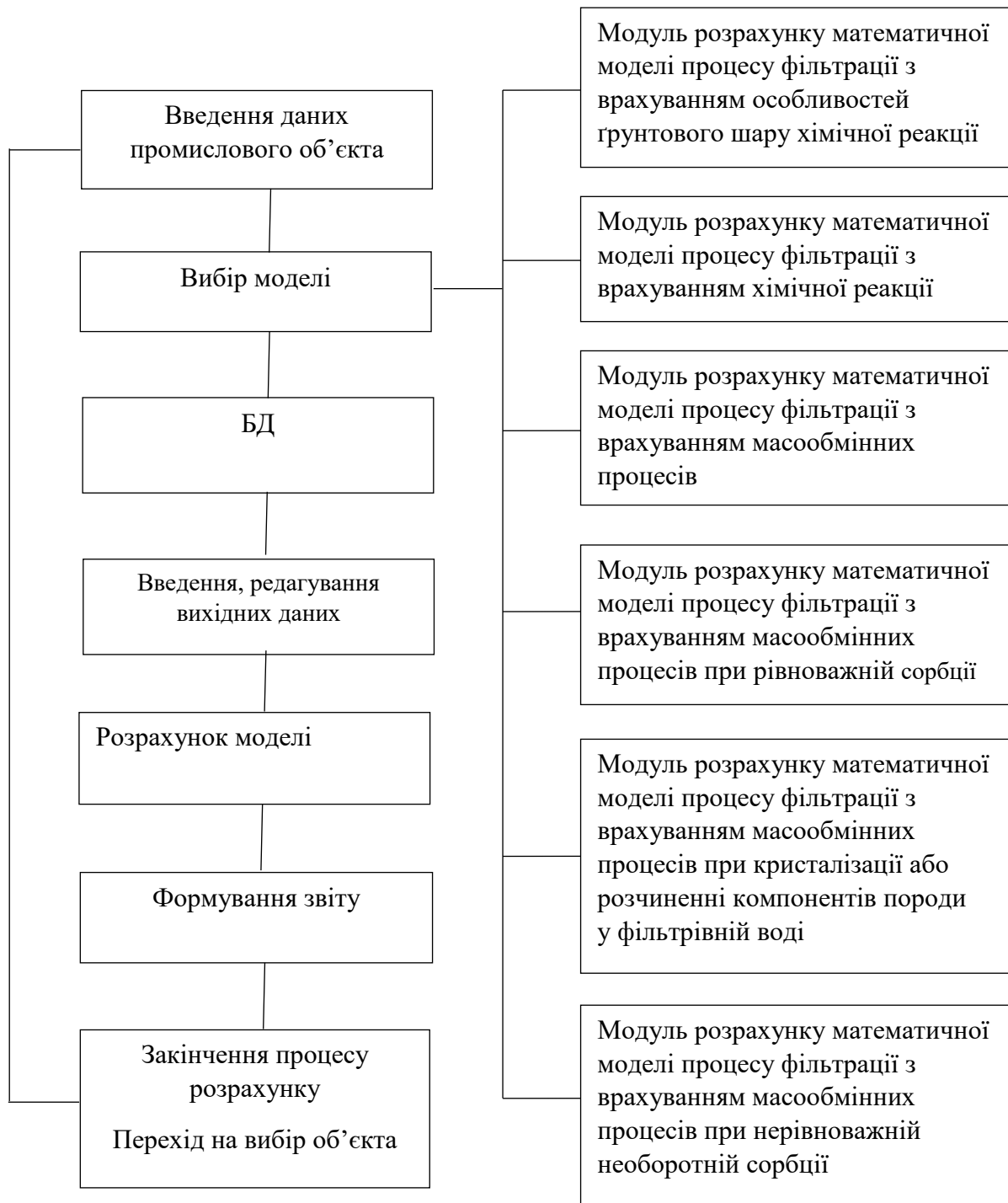


Рис.2.4. Алгоритм програмного комплексу STAN_GRUNTIV

До основних модулів програмного комплексу відносяться:

- StartPage – модуль завантаження програми;
- Stan_Gruntiv – головний модуль програми;
- About_pr – модуль перегляду інформації про програму;

- Help_at – модуль перегляду довідки щодо опису математичних моделей розрахунку програми;
- BD_gruntiv - модуль підвантаження бази даних ґрунтів;
- BD_paramtr - модуль підвантаження бази даних параметрів моделей;
- ChemicalFiltrationInterlayer - модуль оцінки впливу з врахуванням хімічної реакції в процесі фільтрації;
- MassChangeSoilInterlayer - модуль моделі опису масообміну в ґрунтовому шарі;
- MassEqvSorbInterlayer - модуль моделі при рівноважній сорбції;
- DissolutionCrystalizationComponentsInterlayer - модуль моделі при кристалізації або розчиненні компонентів породи у фільтрівній воді;
- NonReturnSorbInterlayer - модуль моделі при нерівномірній необоротній сорбції;
- SoilFeaturesInterlayer - модуль моделі з врахуванням особливостей ґрунтового шару;
- packagefileHandler-модуль збереження результатів;
- QuitPage – модуль виходу із програми.

Підготовка та введення вихідних даних щодо забруднення ґрунтового шару здійснюється особисто користувачем.

2.4.3. Інтерфейс та робота із програмним комплексом

Програмний комплекс STAN_GRUNTIV має зручний та зрозумілий інтерфейс, який полегшує процес оцінювання стану ґрунтового шару, а також дає можливість визначити рівень впливу на ґрунти промисловим підприємством. Результати розрахунку отримуються у вигляді звіту, який зберігається в цифровому вигляді в обраному користувачем місці розташування у файлі *.xls.

Завантаження програми здійснюється після запуску файлу STAN_GRUNTIV.exe. Після завантаження даної програми з'являється вікно

(рис.2.5), в якому вводиться назва та місце розташування промислового об'єкту, який здійснює вплив на стан ґрунтового шару .

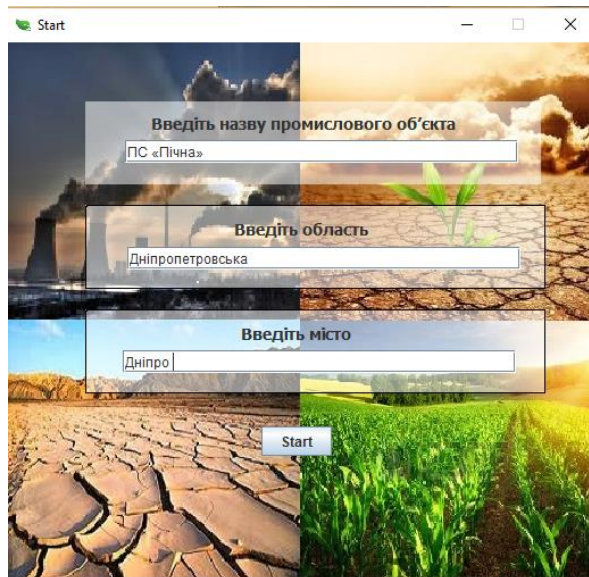


Рисунок 2.5– Вікно введення параметрів промислового підприємства

Робоче меню автоматизованої системи STAN_GRUNTIV складається із чотирьох вкладок:

1. Характеристика промислового об'єкта – вікно введення даних промислового підприємства;

2. Оцінка з врахуванням хімічної реакції в процесі фільтрації – вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням хімічної реакції.

3. Оцінка з врахуванням масообмінних процесів – вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням масообмінних процесів:

3.1. Процес масообміну в ґрунтовому шарі – вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням масообмінних процесів;

3.2. При рівноважній сорбції – вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням масообмінних процесів при рівноважній сорбції;

3.3. При кристалізації або розчиненні компонентів породи у фільтрованій воді – вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням масообмінних процесів при кристалізації або розчиненні компонентів породи у фільтривній воді;

3.4. При нерівноважній необоротній сорбції – вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням масообмінних процесів при нерівноважній необоротній сорбції;

4. Оцінка з врахуванням особливостей ґрунтового шару – вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням особливостей ґрунтового шару.

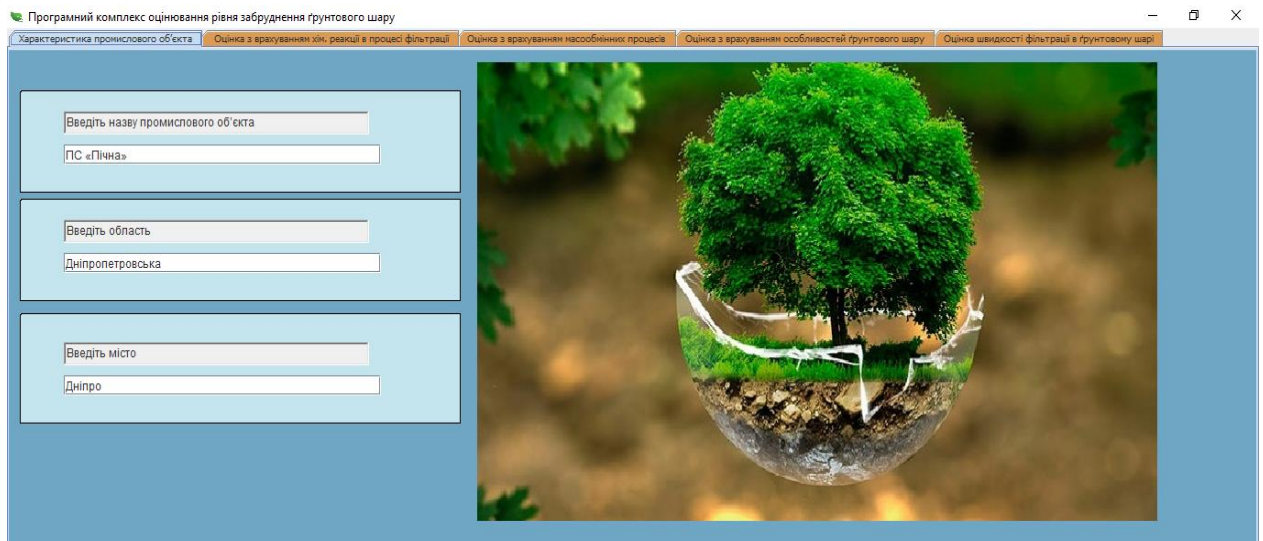


Рисунок 2.6– Вікно характеристики промислового об'єкта

На рис. 2.6. зображене вікно програмного комплексу для введення характеристик промислового об'єкта.

На рис. 2.7 зображене вікно програмного комплексу для введення вихідних даних необхідних для розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням хімічної реакції.

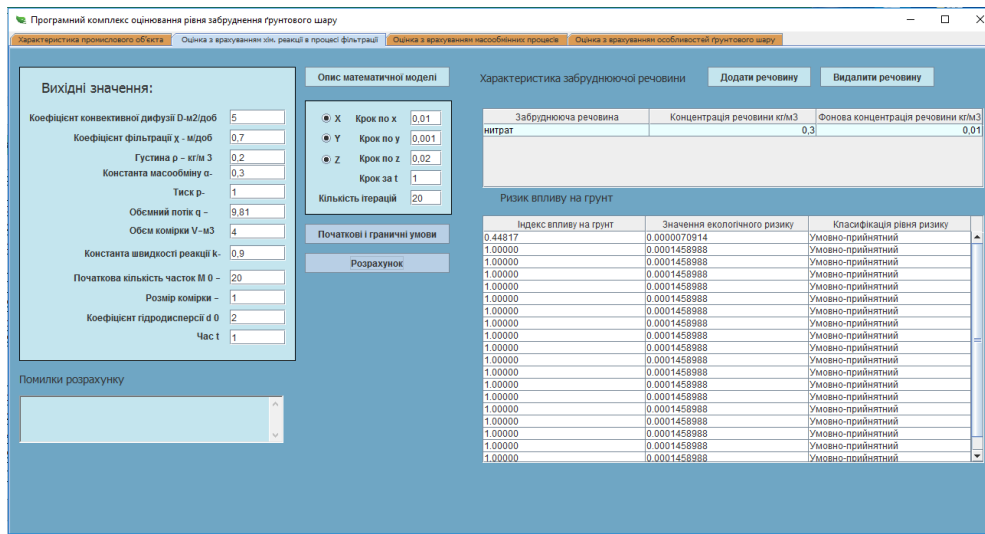


Рисунок 2.7– Вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод – вкладка «Оцінка з врахуванням хімічної реакції в процесі фільтрації»

На рис. 2.8. – 2.11. зображені вікна програмного комплексу для введення вихідних даних необхідних для розрахунку математичної моделі процесу масообміну.

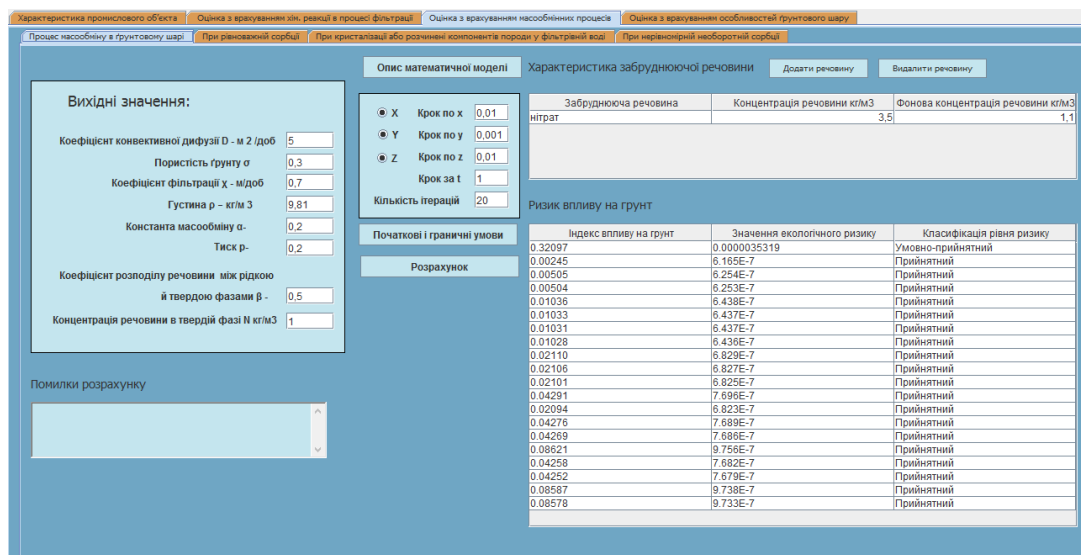


Рисунок 2.8– Вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод – вкладка «Процес масообміну в ґрунтовому шарі»

Програмний комплекс оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару

Характеристика промислового об'єкта Оцінка з врахуванням хім. реакції в процесі фільтрації Оцінка з врахуванням масообмінних процесів Оцінка з врахуванням особливостей ґрунтового шару

Процес масообміну в ґрунтовому шарі При рівноважній сорбції При кристалізації або розчиненні компонентів породи у фільтрівній воді При нерівноважній несорбційній сорбції

Вихідні значення:

Коефіцієнт конвективної дифузії D-м2/доб 5
Пористість ґрунту σ 1.1
Коефіцієнт фільтрації χ - м/доб 0.7
Густина ρ - кг/м³ 0.2
Константа масообміну α 0.3
Тиск p - 1
Коефіцієнт розподілу речовини між рідкою й твердою фазами β - 10

Опис математичної моделі

X Крок по x 0.5
 Y Крок по y 1
 Z Крок по z 0.5
Крок за t 1
Кількість ітерацій 40

Початкові і граничні умови

Розрахунок

Характеристика забруднюючої речовини

Забруднююча речовина	Концентрація речовини кг/м ³	Фонові концентрація речовини кг/м ³
нітрат	3,5	1,1

Ризик впливу на ґрунт

Індекс впливу на ґрунт	Значення екологічного ризику	Класифікація рівня ризику
0.32097	0.000035319	Умовно-прийнятний
0.31771	0.000034693	Умовно-прийнятний
0.31765	0.000034682	Умовно-прийнятний
0.31715	0.000034587	Умовно-прийнятний
0.31876	0.000034513	Умовно-прийнятний
0.31617	0.000034402	Умовно-прийнятний
0.31567	0.000034308	Умовно-прийнятний
0.31521	0.000034221	Умовно-прийнятний
0.31478	0.000034141	Умовно-прийнятний
0.31425	0.000034042	Умовно-прийнятний
0.31381	0.000033960	Умовно-прийнятний
0.31341	0.000033885	Умовно-прийнятний
0.31298	0.000033806	Умовно-прийнятний
0.31264	0.000033743	Умовно-прийнятний
0.31220	0.000033661	Умовно-прийнятний
0.31192	0.000033610	Умовно-прийнятний
0.31161	0.000033553	Умовно-прийнятний
0.31126	0.000033489	Умовно-прийнятний
0.31099	0.000033439	Умовно-прийнятний
0.31075	0.000033395	Умовно-прийнятний
0.31048	0.000033346	Умовно-прийнятний
0.31027	0.000033307	Умовно-прийнятний

Помилки розрахунку

Рисунок 2.9– Вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням масообмінних процесів – вкладка «При рівноважній сорбції»

Програмний комплекс оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару

Характеристика промислового об'єкта Оцінка з врахуванням хім. реакції в процесі фільтрації Оцінка з врахуванням масообмінних процесів Оцінка з врахуванням особливостей ґрунтового шару

Процес масообміну в ґрунтовому шарі При рівноважній сорбції При кристалізації або розчиненні компонентів породи у фільтрівній воді При нерівноважній несорбційній сорбції

Вихідні значення:

Коефіцієнт конвективної дифузії D-м2/доб 5
Пористість ґрунту σ 0.4
Коефіцієнт фільтрації χ - м/доб 0.7
Густина ρ - кг/м³ 1
Константа масообміну α 0.2
Тиск p - 1

Опис математичної моделі

X Крок по x 0.5
 Y Крок по y 1
 Z Крок по z 0.5
Крок за t 1
Кількість ітерацій 20

Початкові і граничні умови

Розрахунок

Характеристика забруднюючої речовини

Забруднююча речовина	Концентрація кг/м ³	Фонові концентрація кг/м ³	Концентрація граничного насичення
нітрат	3,5	1,1	0,7

Ризик впливу на ґрунт

Індекс впливу на ґрунт	Значення екологічного ризику	Класифікація рівня ризику
0.32021	0.000035172	Умовно-прийнятний
0.31921	0.000034789	Умовно-прийнятний
0.31770	0.000034691	Умовно-прийнятний
0.31705	0.000034568	Умовно-прийнятний
0.31645	0.000034455	Умовно-прийнятний
0.31589	0.000034349	Умовно-прийнятний
0.31537	0.000034251	Умовно-прийнятний
0.31488	0.000034159	Умовно-прийнятний
0.31443	0.000034075	Умовно-прийнятний
0.31402	0.000033999	Умовно-прийнятний
0.31362	0.000033924	Умовно-прийнятний
0.31326	0.000033858	Умовно-прийнятний
0.31292	0.000033795	Умовно-прийнятний
0.31262	0.000033739	Умовно-прийнятний
0.31233	0.000033685	Умовно-прийнятний
0.31206	0.000033636	Умовно-прийнятний
0.31181	0.000033590	Умовно-прийнятний
0.31158	0.000033547	Умовно-прийнятний
0.31137	0.000033509	Умовно-прийнятний
0.31117	0.000033472	Умовно-прийнятний
0.32097	0.000035319	Умовно-прийнятний
0.31916	0.000034970	Умовно-прийнятний

Помилки розрахунку

Рисунок 2.10– Вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод з врахуванням масообмінних процесів – вкладка «При кристалізації або розчиненні компонентів породи у фільтрівній воді»

У програмі передбачена процедура оброблення помилок, тобто, якщо при заповненні необхідних даних для розрахунку є незаповнена комірка або немає інформації про забруднюючу речовину, з'являється повідомлення у вікні «Помилка розрахунку». Приклад представлено на рис. 2.13.

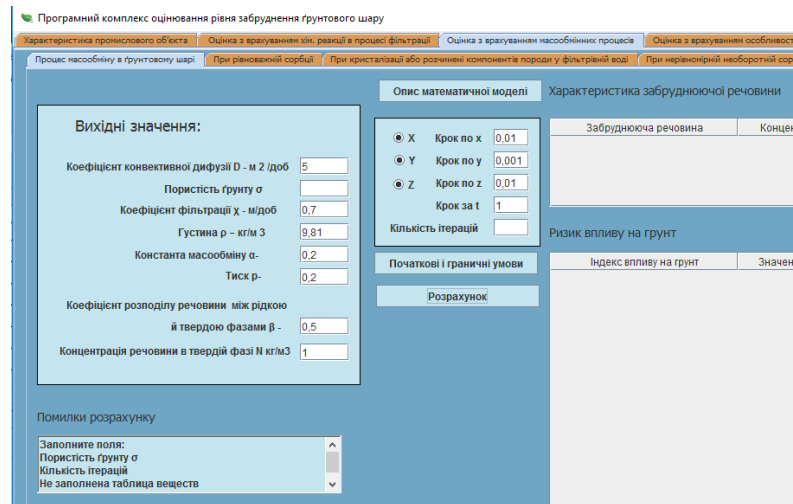


Рисунок 2.13 – Вікно «Помилка розрахунку»

В тих випадках, коли в водяному потоку присутні більше однієї речовини, тоді у таблицю «Характеристика забруднюючої речовини» додається необхідна кількість речовин з інформацією про них та проводиться розрахунок, непотрібні речовини можна видаляти. Результат розрахунку виводиться окремо по кожній речовині на різні листи в Excel. Приклад заповнення інформації в такому випадку наведено на рис. 2.14.

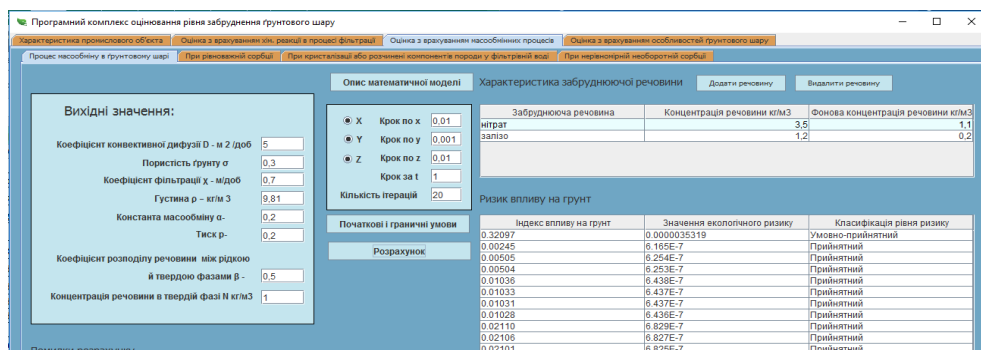


Рисунок 2.14– Вікно розрахунку математичної моделі процесу фільтрації стічних вод при наявності двох домішків

Для збереження повної інформації розрахунку фільтраційного процесу потрібно натиснути кнопку «Розрахунок», після чого формується звіт та інформація автоматично зберігається в обраному користувачем місці розташування у файлі *.xls. рис.2.14.

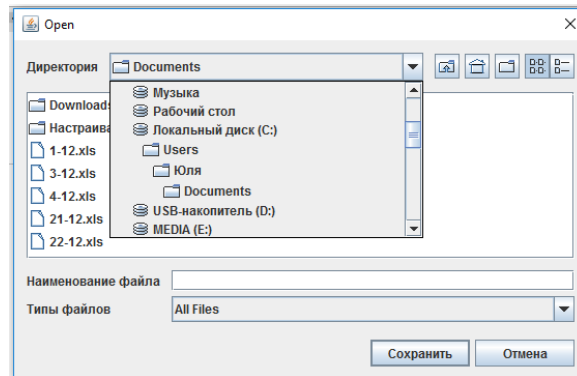


Рисунок 2.15– Вікно збереження звіту розрахунку

Допоміжні вікна програми містяться у додатку Г.

1) Кнопка «Опис математичної моделі» дає можливість переглянути інформацію про математичні моделі опису фільтраційного процесу в програмному комплексі STAN_GRUNTIV;

2) Кнопка «Початкові і граничні умови: відкривається вікно для введення початкових та граничних умов математичних моделей.

3) Кнопка «Розрахунок»: відкривається вікно для збереження результатів розрахунку в файлі *.xls, після чого збережений файл можна переглянути та вивести на друк.

Отже, розроблений програмний комплекс STAN_GRUNTIV дозволяє проводити оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару промисловим підприємством та полегшить роботу користувача (який оцінює рівень впливів промислового об'єкта на ґрунти), вимагаючи лише наявність вихідної інформації по об'єкту, не вимагає спеціалізованих знань від користувача про проблему оцінювання впливів на ґрунтовий шар промисловим об'єктом, а також про роботу програмного комплексу, тому є можливість широкого

впровадження програмного комплексу в процедуру оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару.

Застосування програмного комплексу STAN_GRUNTIV

Для наочності роботи програмного комплексу було проведено розрахунок розробленої математичної моделі фільтраційного процесу яка враховує в собі особливості ґрунтового шару.

Розрахунок здійснювався для прикладу з розділу 2.4: комп'ютерне моделювання процесу фільтрації в глиб ґрунтового шару «нітратів» з початковою концентрацією речовини $c_0(0,0,0)=0,8$ мг/м³.

Результат розрахунку представлений в додатку Д.

Висновки до розділу 2

Розглянуто фактори, які впливають на процес фільтрації, а також процеси, що відбуваються в ґрунтовому шарі.

Виділені певні умови для спрощення системи рівнянь математичної моделі з метою зменшення розмірності системи по одній або декільком просторовим координатам.

Вперше розроблена математична модель фільтраційного процесу, яка враховує особливості ґрунтового шару. Аналіз адекватності математичної моделі відносно існуючої моделі свідчить про адекватність розробленої математичної моделі, значення відхилень моделі при порівнянні не перевищує похибки 5%.

Розроблено програмний комплекс STAN_GRUNTIV на базі створеної та існуючих (розглянутих) математичних моделей міграції забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі в процесі фільтрації. Даний комплекс створено у вигляді багатовіконного додатку в середовищі java.

Програмний комплекс STAN_GRUNTIV призначено для аналізування та оцінювання стану ґрунтового шару, на який негативно впливає промислове підприємство.

Основні результати опубліковані в таких працях [64,65,66,67]

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГРУНТІВ

Забруднення шкідливими речовинами ґрунтового шару і як наслідок ґрунтових вод відбувається в процесі надходження водяного потоку у водо ненасичені ґрунти (зону аерації), що призводить до їх забруднення, а також ґрунтових вод. Таким чином, вивчення шляхів впливу фільтраційних процесів зводиться до розгляду відповідних задач фільтрації і конвективної дифузії. Істотний вплив на процес фільтрації має встановлений режим процесу гідрогеоміграції.

Вплив промислового підприємства на екологічний стан ґрунтового шару можна провести за рахунок оцінки розподілу забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі.

У свою чергу, порушення стійкості і екологічного стану геологічної системи можуть бути спровоковані розподілом забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі, які потрапляють в потік підземних вод. У цьому випадку ймовірність переходу системи в новий стан внаслідок зміни величини або появи нового фактору впливу на систему можна розглядати як ризик втрати стійкості системи (ризик, який характеризує екологічну безпеку гідродинамічної системи).

Характеристикою екологічного стану геологічної системи є розподіл (поширення) в системі забруднюючих речовин в процесі фільтрації. Аналізуючи цей розподіл забруднюючих речовин можна оцінити екологічний стан геологічної системи з урахуванням ризику при змінах її стану (складу), і в наслідку визначити ризик впливу змін, що відбуваються в геологічній системі на стан (склад) ґрунтових вод.

Таким чином, для аналізування впливу промислових об'єктів на стан ґрунтів і ґрунтових вод необхідно спочатку створити математичну геофільтраційну модель системи, що вирішуватиме задачі фільтрації с

розподілу забруднень в ґрунтовому шарі різного типу. Але описати всі процеси за допомогою однієї математичної моделі неможливо. Це пов'язано з тим, що процес геофільтрації складний і в ньому беруть участь різні фізичні, фізико-хімічні та хімічні процеси. Тому доцільно враховувати фільтраційні властивості ґрунтів на основі моделей окремих процесів, з огляду на відносний внесок таких процесів в загальний процес геофільтрації для різних типів ґрунтів.

Базуючись на результатах моделювання фільтраційного процесу можна розрахувати ступінь (ризик) впливу промислового підприємства на екологічний стан ґрунтів і ґрунтових вод.

Для розрахунку впливу промислового підприємства на стан ґрунтів і ґрунтових вод необхідне створення методики, яка дозволить оцінити ступінь впливу об'єкта на процеси та зміни в геологічній системі і ґрунтових водах і яка буде враховувати в собі фізичні, фізико-хімічні та хімічні процеси, що відбуваються в ґрунтовому шарі.

Таким чином, практична реалізація методики оцінювання екологічного стану геологічної системи з розподілом забруднюючих речовин в ній, дозволить визначити ступінь впливу промислового підприємства на зміни стану ґрунтового шару, глибину розподілу забруднюючих речовин і можливий вплив на ґрунтові води.

Враховуючи вищесказане сформовано структуру впливу промислового об'єкта на ґрунтовий шар. Структурна схема представлена на рис. 3.1.

Проаналізувавши результати досліджень з проблем фільтрації забруднень при проходженні через шар ґрунту, можна дійти висновку про складність опису цього процесу за допомогою однієї математичної моделі. Процес геофільтрації складний і в ньому беруть участь різні фізичні, фізико-хімічні та хімічні процеси. Тому доведено, що на першому етапі доцільно провести дослідження фільтраційних властивостей ґрунтів на основі моделей окремих процесів, з огляду на відносний внесок таких процесів в загальний процес геофільтрації для різних типів ґрунтів. Другий етап пов'язаний з I

використанням цієї моделі в розробці методу оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів під дією промислового підприємства.

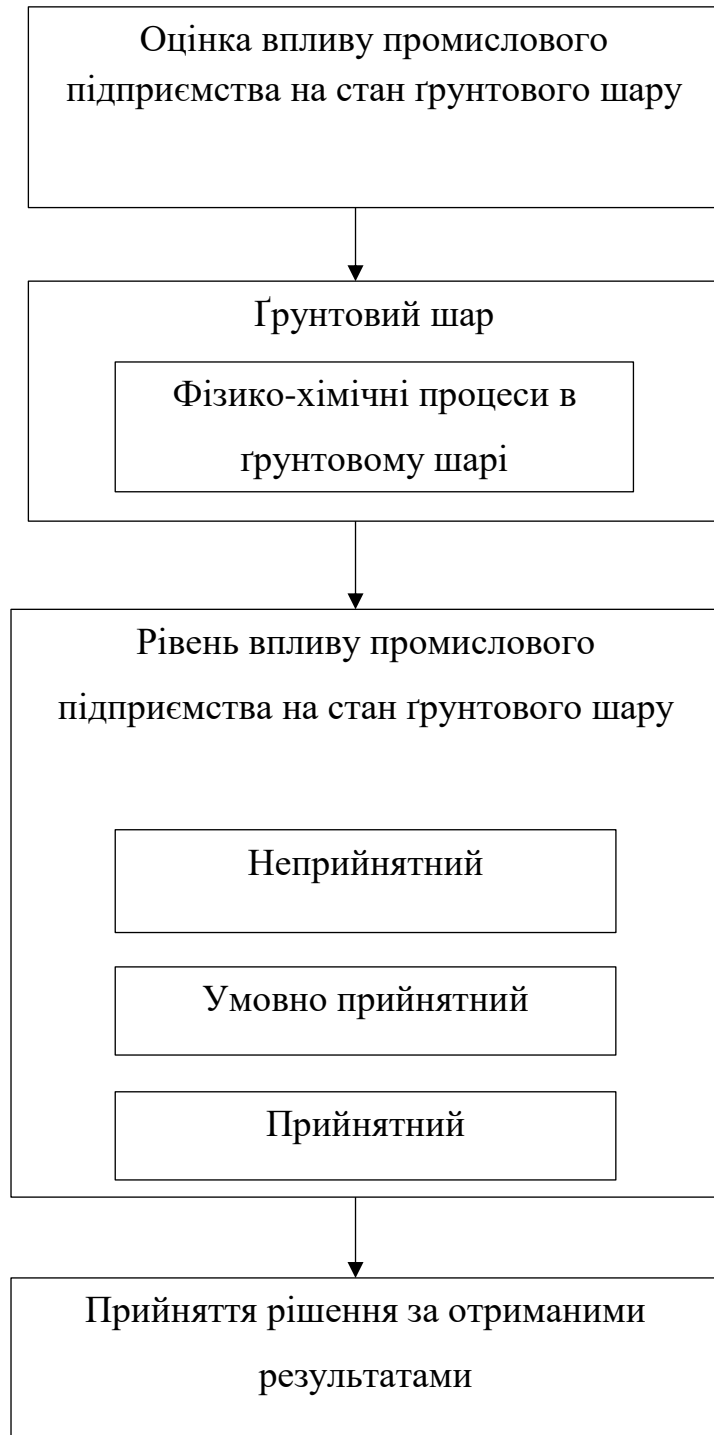


Рисунок 3.1. Схема впливу промислового підприємства на стан ґрунтового шару

Для опису фільтраційного процесу в ґрунтовому шарі в математичній моделі потрібно враховувати процеси фізико-хімічної взаємодії, в результаті чого, буде відбуватися поглинання компонентів стічних вод твердою фазою (масообміну, сорбція, іонний обмін та ін.) або її збагачення (десорбція, розчинення і ін.) за рахунок твердої фази. Виконаний аналіз засвідчив, що для оцінювання впливу стічних вод на ґрунтовий шар найбільш перспективними, є використання результатів розрахунку наступних математичних моделей фільтраційного процесу:

- 1) модель оцінювання забруднення ґрунтів з врахуванням хімічної реакції в процесі фільтрації;
- 2) модель оцінювання забруднення ґрунтів з врахуванням особливостей ґрунтового шару;
- 3) модель оцінювання забруднення ґрунтів:
 - з врахуванням масообміних процесів;
 - з врахуванням масообміних процесів при рівноважній сорбції;
 - з врахуванням масообміних процесів при нерівноважній необоротній сорбції;
 - з врахуванням масообміних процесів при кристалізації або розчиненні компонентів породи у фільтрівній воді;

Математична реалізація даних математичних моделей наведена в другому розділі.

3.1. Обґрунтування застосування імітаційного моделювання для оцінки екологічної безпеки.

Сучасна концепція ризиків різної природи (екологічного, техногенного, соціального і т.д.) базується на залежності [172]:

$$R = P * U \quad (3.1)$$

де R – величина ризику;

P – ймовірність негативної події;

U – збиток від цієї події.

Визначення закону розподілу для P є непростим завданням. Якщо припустити, що ймовірність P є ймовірністю прояву двох спільних подій: надходження забруднювача в ґрунти з потоком води і розподіл його здійснюється по висоті; розподіл по висоті шару ґрунтів буде екологічно небезпечним якщо концентрація забруднювача перевищує ГДК. тоді:

$$R = p(H \leq z) * p(c \geq \text{ПДК}) \quad (3.2)$$

$p(H \leq z)$ – ймовірність того, що по висоті шару ґрунтів H розподілиться забруднювач;

$p(c \geq \text{ПДК})$ – ймовірність того, що концентрація забруднювача буде перевищувати ГДК.

Для визначення ймовірності забруднення ґрунтів по висоті шару необхідно знати функцію розподілу випадкової величини $F(x)$, яка визначається як ймовірність того, що випадкова величина X набуде значення менше деякого фіксованого числа x :

$$F(x) = P\{X < x\} \quad (3.3)$$

А по відношенню до величини ризику:

$$F(x) = P\{0 < x < 1\} \quad (3.4)$$

Знаючи функцію розподілу $F(x)$ можна визначити ймовірність потрапляння випадкової величини на деякий інтервал $[0; 1]$:

$$P\{0 < x < 1\} = F(1) - F(0) \quad (3.5)$$

Таким чином ймовірність потрапляння випадкової величини X на заданий інтервал дорівнює приросту функції розподілу $F(x)$ на заданому інтервалі.

Щодо даної задачі функції розподілу має такі властивості:

- значення функції розподілу належить відрізку $[0; 1]$, тобто $0 \leq F(x) \leq 1$;
- чим більше концентрація забруднювача, тим вище значення ризику;
- значення функції розподілу $F(x)$ буде визначатися механізмом перенесення забруднення в ґрунтах;
- при $x=0$ ймовірності забруднення ґрунтів по висоті шару $P(0)=0$;
- при $x \rightarrow 1$ ймовірності забруднення ґрунтів по висоті шару $P(1) \rightarrow 1$.

Графік функції розподілу $F(x)$ випадкових величин має східчастий вигляд (рис. 3.2). При досягненні поточного значення x можливих значень величини X випадкова функція розподілу $F(x)$ робить перехід на величину, яка дорівнює ймовірності даного значення X .

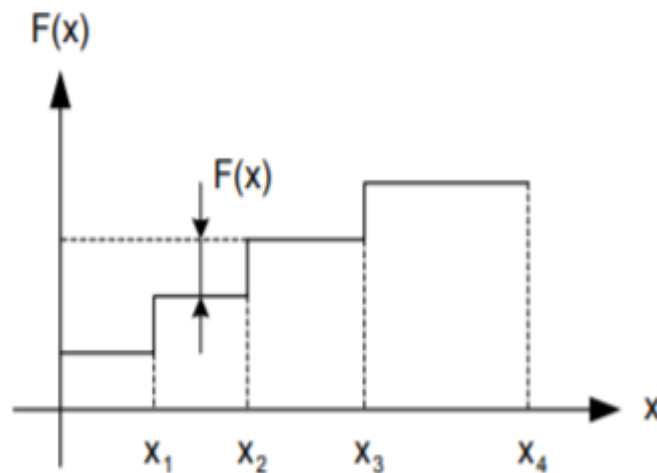


Рисунок 3.2 - Функції розподілу $F(x)$ випадкових величин

Для визначення необхідно знати функцію розподілу випадкової величини $F(x)$, яка визначається як ймовірність того, що випадкова величина X набуде значення менше деякого фіксованого числа x .

Ефективним методом отримання характеристик складного об'єкта в умовах відсутності експериментального дослідження є імітаційне моделювання, або числові розрахунки для отримання статистичної вибірки на

математичній моделі для оцінки імовірних характеристик шуканих величин. В імітаційному моделюванні особливого значення набуває точність моделі. Зайве підвищення точності може призвести до труднощів в разі її реалізації на комп'ютері. Якщо вважати, що досліджуваний об'єкт є складною системою і взаємодії між її елементами характеризують стан системи, то цей стан може бути зафіксований упорядкованим набором чисел, в іншому випадку – вектором. У деяких випадках під імітаційною моделлю розуміють формальний математичний спосіб опису зміни станів у часі. Відсутність даних спостережень системи компенсується генерованими показниками відповідно до вибраних гіпотез та їх імовірнісного розподілу.

3.2. Врахування особливостей ґрунтів при проведенні імітаційного експерименту

Дослідження динамічної екологічної системи, яка функціонує в умовах невизначеності, надзвичайно складне. Побудова математичної моделі та проведення експерименту з її допомогою можливий лише з використанням методів імітації, за яких експериментально вивчають внутрішні взаємодії у досліджуваній системі, зміни у впливі зовнішнього середовища на неї. Для визначення реакції системи на певні інформаційні та організаційні зміни в її модель необхідно внести відповідні зміни і досліджувати вплив їх на поведінку системи. Спостереження за нею, вивчення її за допомогою моделі дає змогу краще зрозуміти систему і внести пропозиції щодо поліпшення її структури та функціонування, які без імітації виробити було б неможливо.

При імітаційному моделюванні відтворюється алгоритм функціонування системи в часі – поведінка системи – імітуються елементарні явища, що складають процес, з збереженням їх логічної структури і послідовності реалізації.

Оскільки для оцінки розподілу забруднюючих речовин в ґрунтовому шарі потрібно знати не тільки фіксовані точки в певному місці, а знати

механізм зміни забруднення по шару ґрунтів з врахуванням особливостей ґрунтів, коли не всі параметри ґрунтів можуть бути відомими. Для визначення фільтруючих можливостей ґрунтового шару різних типів використовуємо класифікацію ґрунтів території України:

- 1) еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 2) еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 3) алювіальні відкладення річкових терас з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 4) алювіальні відкладення річкових терас без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 5) сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 6) сучасних морських відкладень без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору;
- 7) тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень;
- 8) тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних алювіальних відкладень;
- 9) тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід.

По наведеній класифікації, яка була сформована на основі типових схем геофільтраційної будови зони активного водообміну І.Б. Абрамова, 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 (система)

приходить до рівноваги, коли зміни концентрацій забруднювача далі не відбувається. Ступінь очищення водного потоку 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 фоновою.

Для проведення імітаційного моделювання приймаємо певні припущення:

- 1) розрахунок ведеться до моменту досягнення системи рівноваги, тобто до моменту, коли концентрація прирівняється до ГДК;
- 2) кожен фільтраційний процес в ґрунтовому шарі проходить окремо один від одного без взаємодії з іншими процесами;
- 3) співвідношення фільтраційних процесів у ґрунтах переноситься на співвідношення між моделями, які описують ці процеси;
- 4) 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.

Для аналізу впливу промислового підприємства на стан ґрунтового шару необхідно визначити ступінь стійкості ґрунтів до забруднення. Ступінь стійкості ґрунтів розраховується за рівнянням 3.6.

$$E = \int_{min}^{max} (\text{тип ґрунту; фізичні процеси}) \quad (3.6)$$

де E – ефективність очищення ґрунту;

тип ґрунтів – буде залежати переважно, від фізико-механічних параметрів ґрунтів: пористість, щільність, наявність фонових концентрацій та інших; фізичні процеси – характеризується параметром функції розподілу концентрації забруднюючих речовини по глибині ґрунтів;

L – встановлений двохрівневий інтервал розподілу (max, min).

Тип ґрунту в моделі враховується через класифікацію наведену вище.

Фізичні процеси характеризується певними даними, які отримуються в результаті реалізації математичних моделей з другого розділу роботи з врахуванням механізму функціонування, а саме профілю концентрацій забруднюючих речовин в процесі фільтрації в ґрунтовому шарі.

Відносна ефективність ступеня стійкості ґрунтів по відношенню до процесу забруднення з врахуванням особливостей ґрунтів оцінюється через вплив промислового об'єкта на ґрунтовий шар.

За класифікацією, що наведено в першому розділі, в склад еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу входять: еолово-делювіальні ґрунти лісового комплексу, континентальні червоно-бурі пліоцен-нижньочетвертичні глини та/або зелено-сірі морські глини неогенного віку та пісчано-глиністі відкладення річних та морських терас з переважанням першого виду. В залежності від типу та складу ґрунтів, переважають ті чи інші фізико-хімічні процеси в ґрунтах що може суттєво впливати на фільтраційні властивості ґрунтового шару. В даному типі ґрунтів у зв'язку з співвідношенням його складу переважають процеси, в яких потрібно з більшою мірою враховувати особливості ґрунтового шару, а також процеси в яких враховується процеси з хімічною реакцією та масообміном. У зв'язку з цим для оцінки забруднення ґрунтів процеси враховуються в такому співвідношенні: оцінювання з урахуванням особливостей ґрунтового шару в 35÷40%, оцінювання з урахуванням масообмінних процесів в 15÷25%, оцінювання з урахуванням хімічної реакції в процесі фільтрації становитиме 15÷20%, оцінювання з урахуванням масообмінних процесів: при рівномірній сорбції в 7÷20%, при нерівномірному незворотною сорбції в 5÷10%, для моделі з урахуванням масообмінних процесів: при кристалізації або розчиненні компонентів породи в стічних водах в 0 ÷5%. Приймаються припущення, що дане співвідношення фільтраційних процесів буде відповідати частині моделі, що їх описує, в загальному розрахунку.

Для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу класифікації співвідношення моделей наведено у таблиці 3.1.

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.

Таблиця 3.1 – Матриця ступеня очищення еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу

Тип ґрунтів	Градація ефективності	Фізичні процеси в ґрунтах					
		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

Для ґрунтів алювіальних відкладень річкових терас класифікації співвідношення моделей наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця ступеня очищення ґрунтів алювіальних відкладень річкових терас

Тип ґрунтів	Градація ефективності	Фізичні процеси в ґрунтах					
		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	0,3	0,2	0,1	0,1	0,05	0
	max	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,05
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	min	0,3	0,25	0,1	0,1	0,05	0
	max	0,35	0,3	0,2	0,15	0,1	0,05

Для ґрунтів сучасних морських відкладень класифікації співвідношення моделей наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Матриця ступеня очищення ґрунтів сучасних морських відкладень

Тип ґрунтів	Градація ефективності	Фізичні процеси в ґрунтах					
		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
сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	min	0,15	0,3	0,17	0,05	0,11	0
	max	0,2	0,35	0,25	0,1	0,25	0,05
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	min	0,15	0,3	0,16	0,07	0,08	0
	max	0,2	0,4	0,25	0,12	0,16	0,05

Для ґрунтів тріщинуватих скельних і напівскельних порід класифікації співвідношення моделей наведено у таблиці 3.4.

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

$$R = 1 - P_{\text{МВО}} \quad (3.7)$$

де R – ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар

R_{MBO} – гранична ймовірність очищення

Таблиця 3.4 - Матриця ступеня очищення ґрунтів тріщинуватих скельних і напівскельних порід

Тип ґрунтів	Градація ефективності	Фізичні процеси в ґрунтах					
		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 покривних еолово-делювіальних відкладень	min	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,4
	max	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5
з наявністю покривних алювіальних відкладень	min	0,05	0,15	0,07	0,05	0,05	0,4
	max	0,1	0,2	0,13	0,14	0,12	0,5
тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід	min	0,1	0	0,05	0,07	0,07	0,5
	max	0,2	0	0,1	0,13	0,15	0,6

Та встановимо його відмітки відповідно до шкали бажаності Харінгтона [173] (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Градація прийнятності

R	Градація прийнятності
$0 \div 0.2$	Безумовно прийнятний
$0.2 \div 0.37$	Прийнятний
$0.37 \div 0.63$	Умовно прийнятний
$0.63 \div 0.8$	Неприйнятний
$0.8 \div 1$	Безумовно неприйнятний

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

3.3. Імітаційний експеримент по визначенню ймовірності максимально можливого очищення

Розроблення алгоритму оцінювання рівня екологічного стану ґрунтів.

Беручи до уваги існуючі методики оцінювання рівня екологічного стану геологічної системи можна запропонувати 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 (розраховуємо) 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 повного очищення стічних вод в залежності від глибини ґрунтів (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.

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 3.1, визначення на основі групи моделей оцінка ступеня можливого очищення також буде інтервальною. Для її визначення скористаємося алгоритмом. На першому кроці виконаємо імітаційний розрахунок концентрацій забруднювача 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 забруднювача, 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.

$$C_t = \frac{C_i}{\text{ГДК}} \quad (3.8)$$

де C_t – ступінь очищення;

C_i – концентрація забруднюючої речовини, мг/кг;

ГДК – встановлена величина нормативу для відповідного забрудника у ґрунтовому шарі, мг/кг.

На третьому кроці знайдена ступінь очищення підсумовується з врахуванням ступеня впливу окремих моделей (таблиця 3.1), 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. 3.3. - 3.5. 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 водо упору.

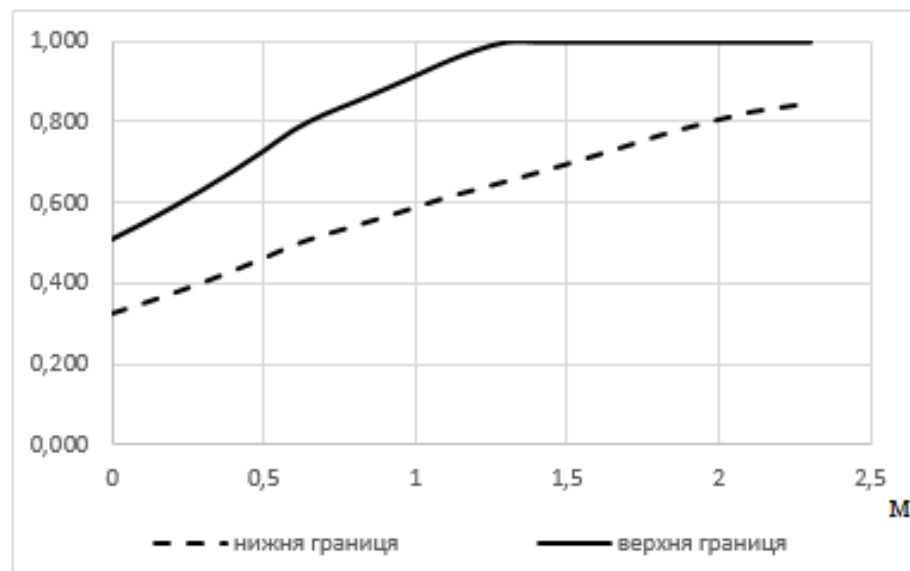


Рисунок 3.3 - Залежності верхньої та нижньої границі ступеня очищення від глибини фільтрації для випадку, коли початкова концентрація забруднювача перевищує ГДК в три рази

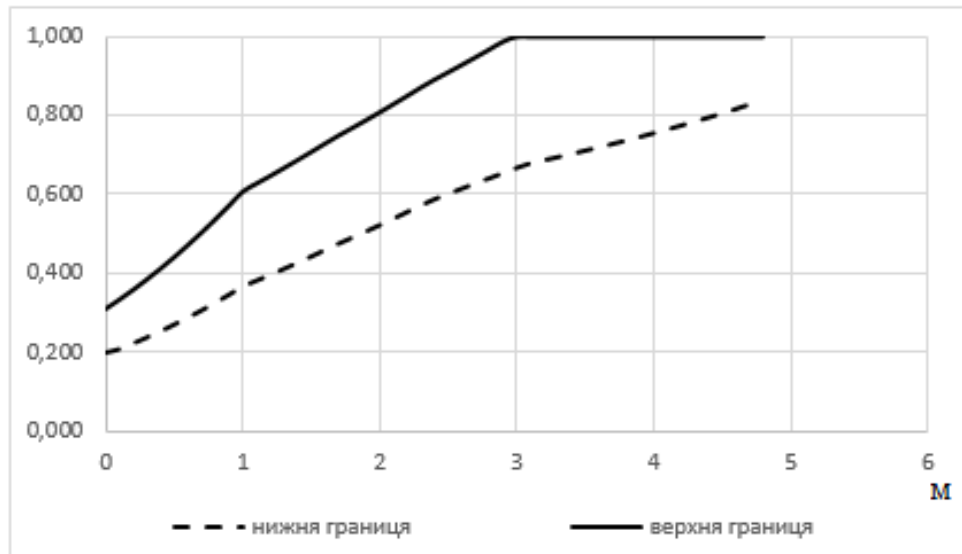


Рисунок 3.4 - Залежності верхньої та нижньої границі ступеня очищення від глибини фільтрації для випадку, коли початкова концентрація забруднювача перевищує ГДК в п'ять рази

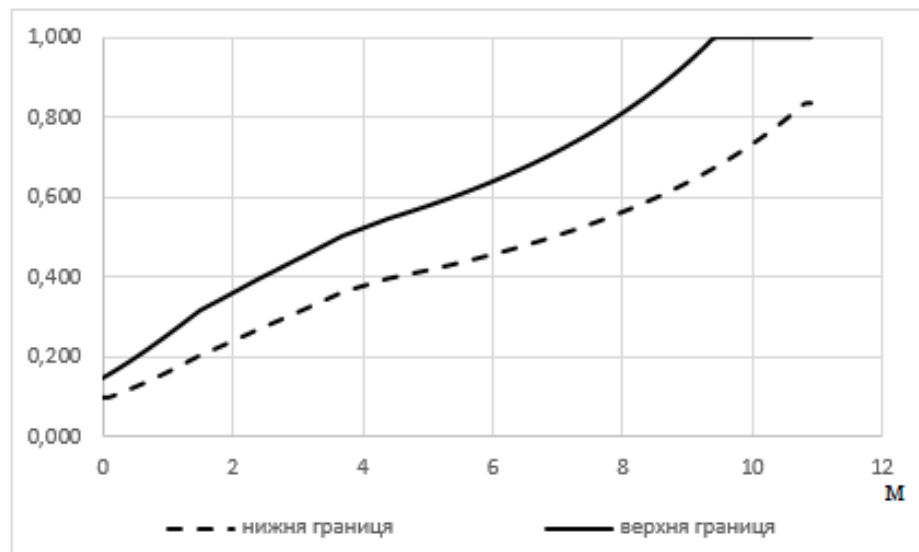


Рисунок 3.5 - Залежності верхньої та нижньої границі ступеня очищення від глибини фільтрації для випадку коли початкова концентрація забруднювача перевищує ГДК в десять рази

В таблицях 3.6. – 3.9. 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.

Таблиця 3.6 – 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

Таблиця 3.7 – Глибина досягнення верхньої границі ступеня очищення яка дорівнює одиниці (Γ_1) та максимально можливий ступінь очищення по нижній границі (q_{\max}) в ґрунтах алювіальних відкладень річкових терас

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	1.6	0.833	3.8	8.33	9.8
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	0.87	1.7	0.87	4	0.87	9.9

Таблиця 3.8 – Глибина досягнення верхньої границі ступеня очищення яка дорівнює одиниці (Γ_1) та максимально можливий ступінь очищення по нижній границі (q_{\max}) в ґрунтах сучасних морських відкладень

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
сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	0.833	1.4	0.833	3	0.833	9
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	0.847	1.3	0.847	2.9	0.847	8.9

Таблиця 3.9 – Глибина досягнення верхньої границі ступеня очищення яка дорівнює одиниці (Γ_1) та максимально можливий ступінь очищення по нижній границі (q_{\max}) в ґрунтах тріщинуватих скельних і напівскельних порід

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 покривних еолово-делювіальних відкладень	0.87	1.4	0.87	2.5	0.87	7.8
з наявністю покривних алювіальних відкладень.	0.84	1.4	0.84	2.4	0.84	7.6
тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід	0.847	1.7	0.847	2.6	0.847	8.3

Імітаційний експеримент по визначенню ймовірності максимально можливого очищення.

Для визначення ймовірності максимально можливого очищення, яке буде трактуватися як досягнення концентрації забруднювача, яке буде дорівнювати ГДК, пропонується провести експеримент. Реалізація єдиного експерименту виконується наступним чином. Приймаємо те, що ступінь впливу кожного з процесів очищення в ґрунтах така, як виходить з раніше прийнятого припущення, ступінь участі моделей, є випадкова величина. Закон розподілу цієї величини – рівномірний в інтервалі, який дорівнює інтервалу з таблиць 3.1.-3.4 (відповідно для різних типів ґрунтів). По вказаному закону проводимо розіграш цих випадкових величин та отримуємо їх точні значення. При розіграші приймаємо до уваги, що сума усіх розіграних величин дорівнює одиниці.

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 ґрунтів 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 ґрунтах (з похибкою округлення) – проведений одиничний експеримент признаємо для даної глибини вдалим, інакше – не вдалим.

По результатам реалізації достатньо великої кількості одиниць експериментів можна розрахувати відносну частоту вдалим експериментів для кожної глибини. Згідно закону великих чисел, зі збільшенням числа експериментів ця відносна частота буде прагнути до ймовірності повного очищення зі зростом кількості одиничних експериментів. Реалізовано 10 000 таких експериментів. Результати розрахунку відносної частоти (статистичної ймовірності) максимально можливого очищення ($P_{\text{МВО}}$) представлені в таблицях в яких 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 3.10 представлено результати розрахунку відносної частоти максимально можливого очищення для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу.

Таблиця 3.10 – 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

В таблиці 3.11-3.12 представлено результати розрахунку відносної частоти максимально можливого очищення для ґрунтів алювіальних відкладень річкових терас та ґрунтів алювіальних відкладень річкових терас.

Таблиця 3.11 - Глибина, на якій досягаються гранична ймовірність ($P_{\text{МВО}}$) очищення для ґрунтів алювіальних відкладень річкових терас

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	0.660	1.7	4.2	10
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	0.714	1.9	4.3	10.4

Таблиця 3.12 - Глибина, на якій досягаються гранична ймовірність ($P_{\text{МВО}}$) очищення для ґрунтів сучасних морських відкладень

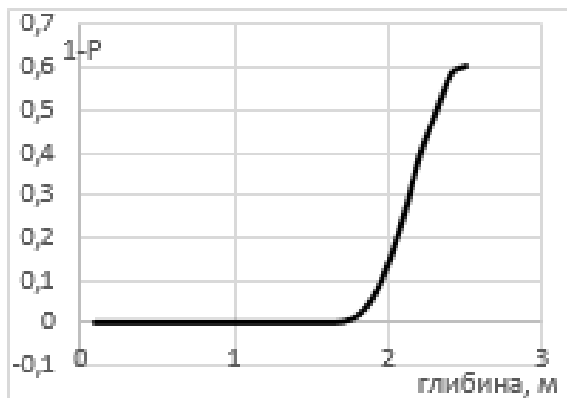
Тип ґрунтів	$P_{\text{МВО}}$	Глибина (м) шару забруднення до величини ГДК при концентрації на вході (мг/кг):		
		3*Сф	5*Сф	10*Сф
сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	0.570	1.8	3.7	9.8
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору.	0.716	1.6	3.6	9.7

В таблиці 3.13 представлено результати розрахунку відносної частоти максимально можливого очищення для тріщинуватих скельних і напівскельних порід

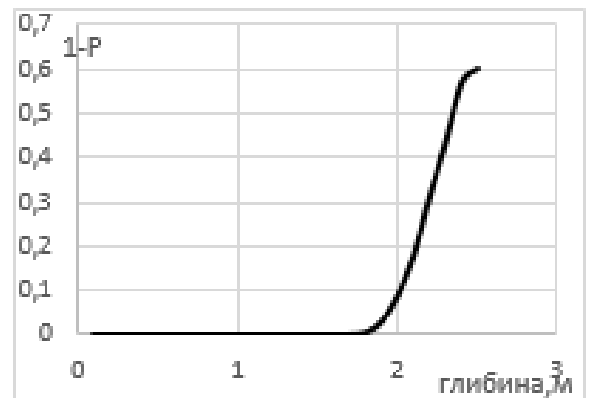
Таблиця 3.13 - Глибина, на якій досягаються гранична ймовірність ($P_{\text{МВО}}$) очищення для тріщинуватих скельних і напівскельних порід

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 покривних еолово-делювіальних відкладень	0.832	1.6	2.6	8.9
з наявністю покривних алювіальних відкладень	0.634	1.6	2.5	7.9
тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід	0.616	1.7	3.2	9.3

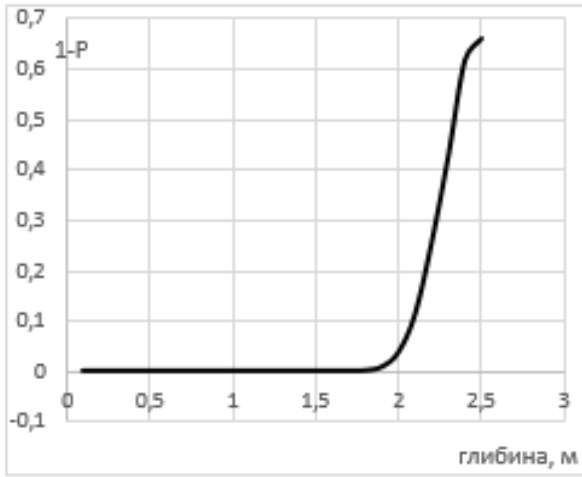
Для повноти ілюстрації методики на рис. 3.4.-3.6. представлені графічні залежності ймовірності максимально можливого очищення забруднювача з глибиною для трьох різних початкових концентрацій забруднювачів.



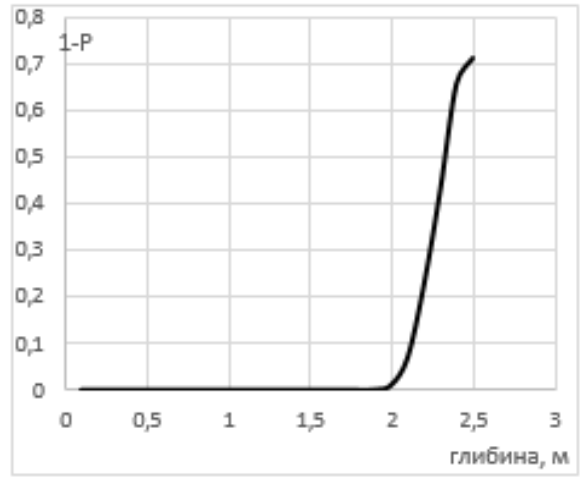
а



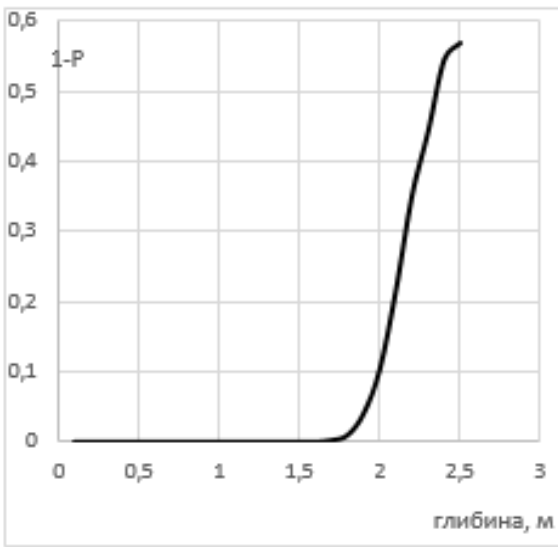
б



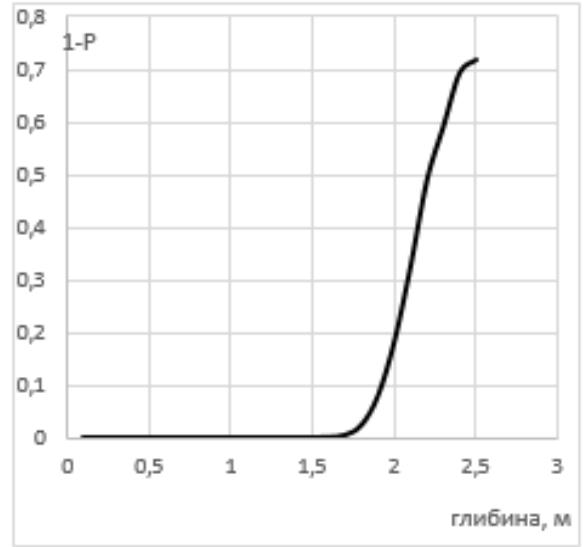
В



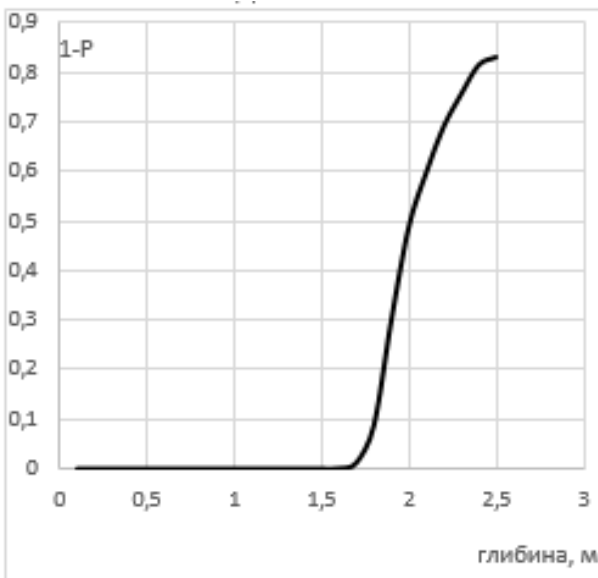
Г



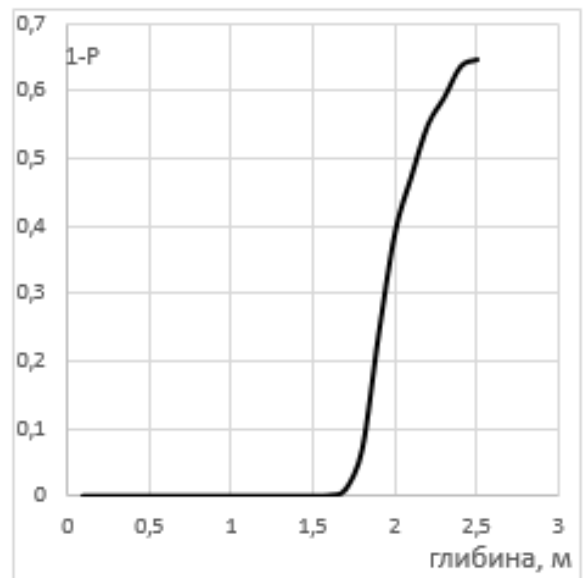
Д



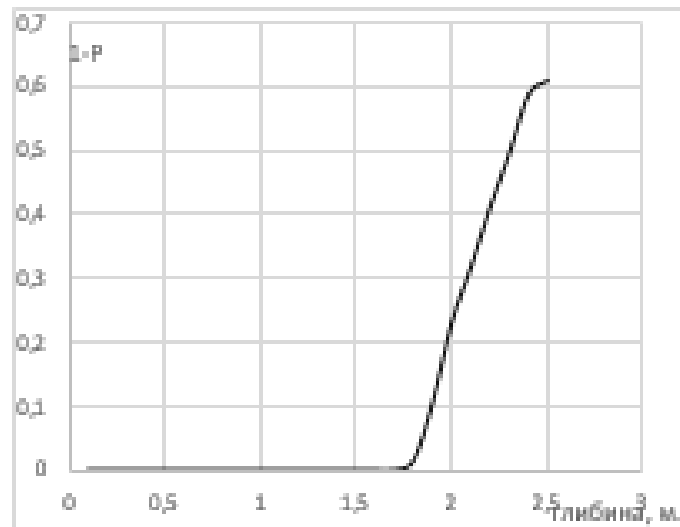
е



Ж



З

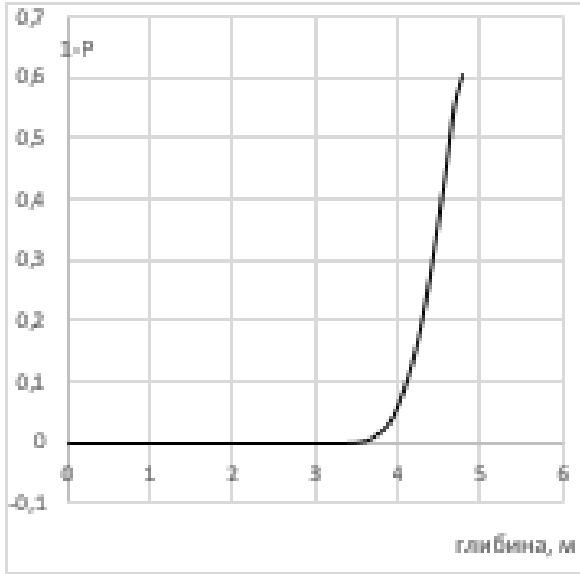


и

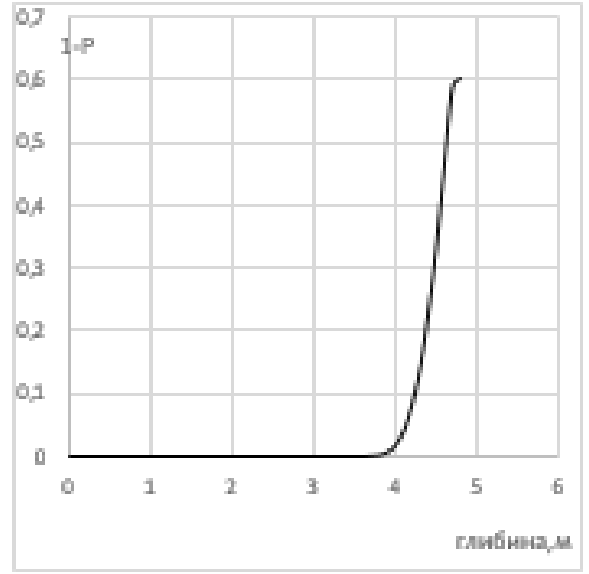
Рисунок 3.6 - Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини для випадку коли початкова концентрація забруднювача перевищує

ГДК в три рази

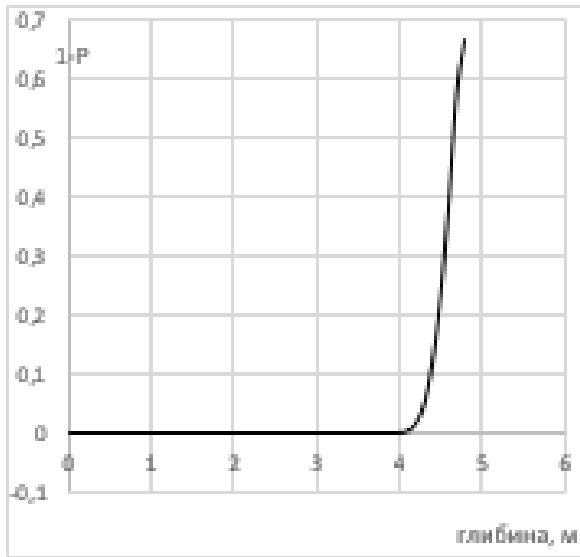
а– еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; б– еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; в– алювіальні відкладення річкових терас з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; г– алювіальні відкладення річкових терас без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; д– сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; е– сучасних морських відкладень без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; ж– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень; з– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних алювіальних відкладень; и– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід.



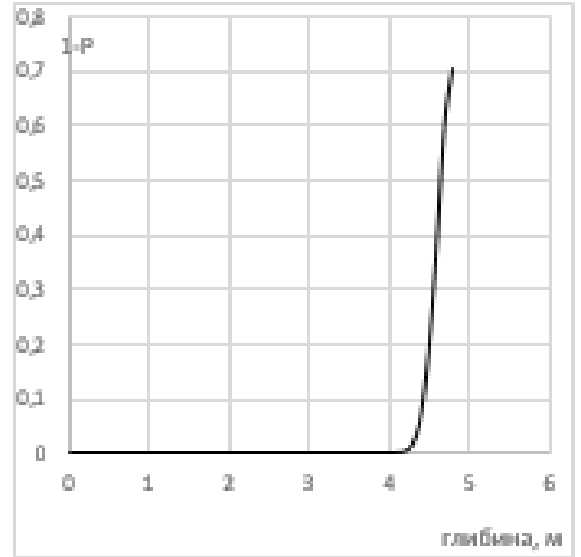
а



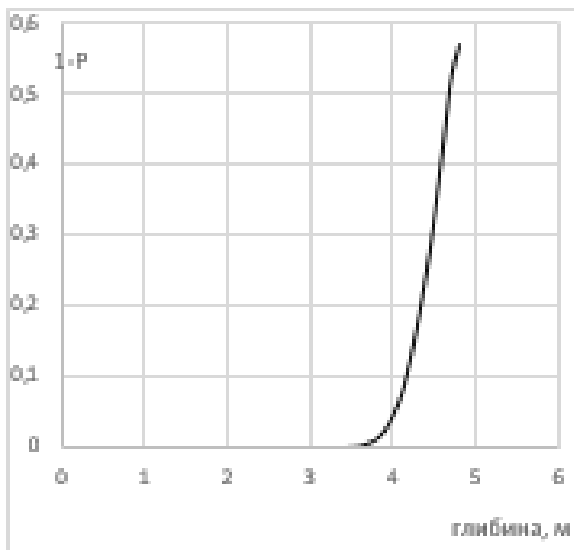
б



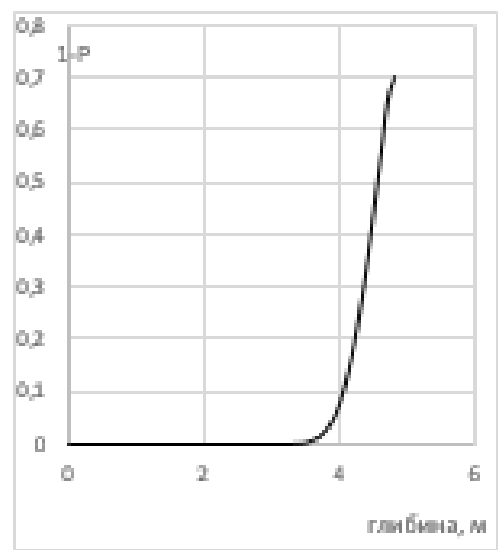
в



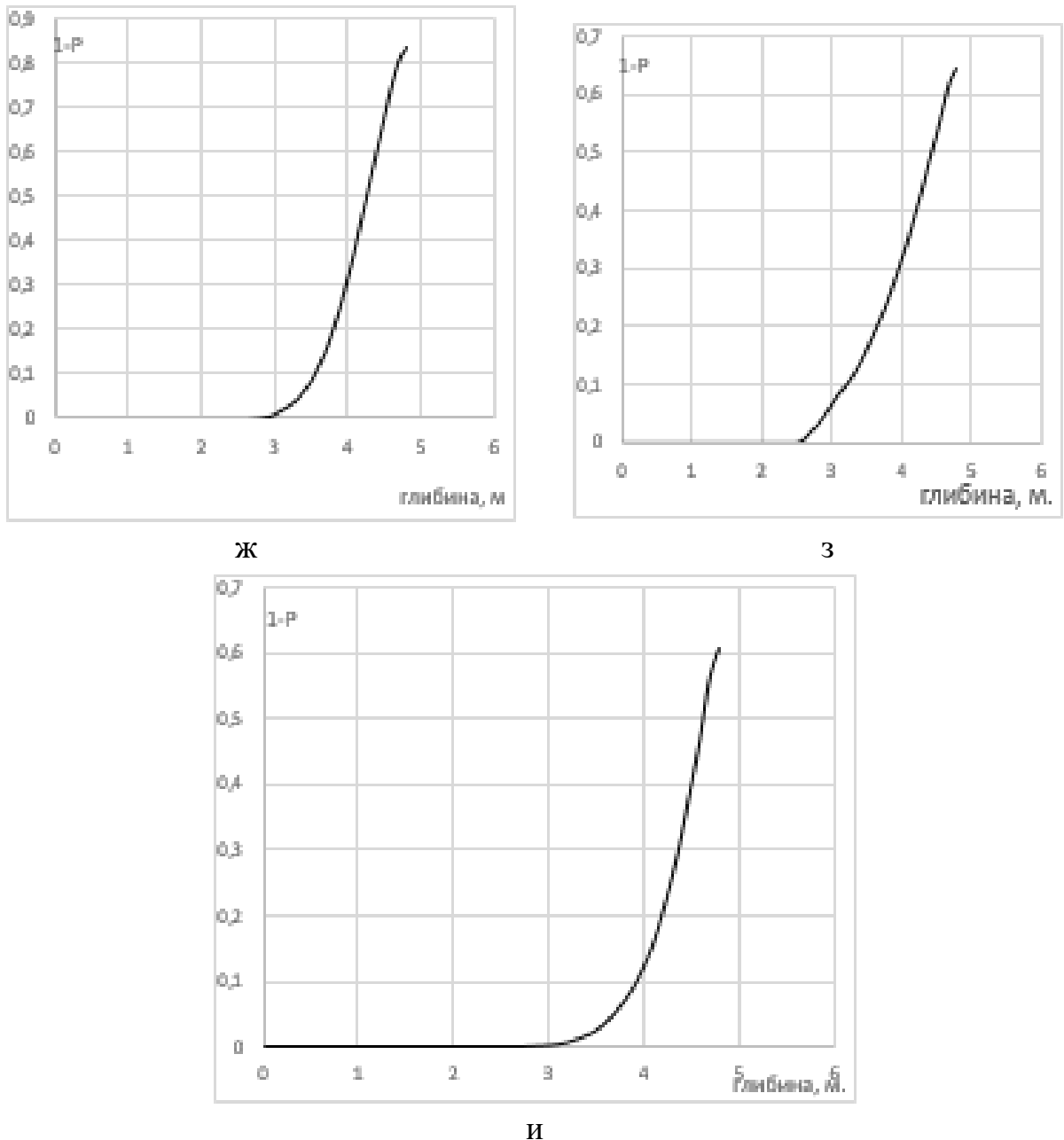
г



д



е



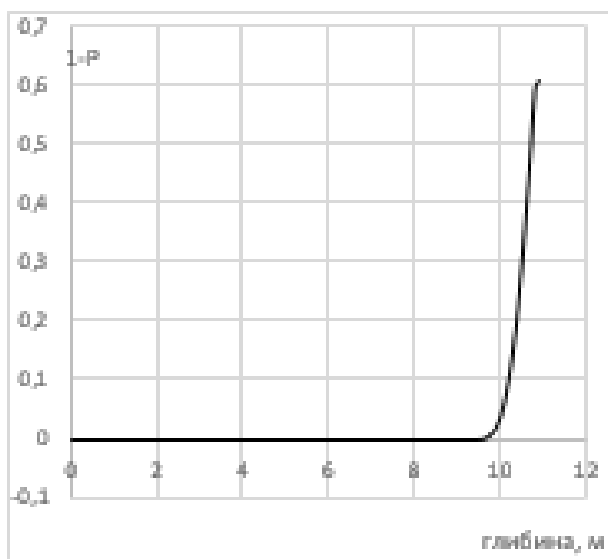
и

Рисунок 3.7 - Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини для випадку коли початкова концентрація забрудника перевищує

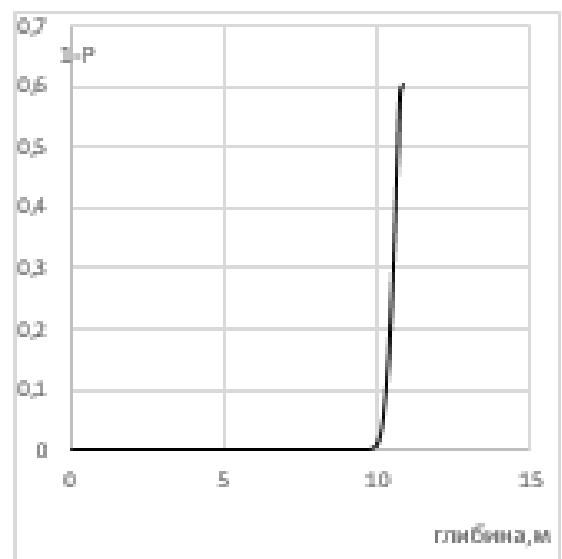
ГДК в п'ять разів

а– еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; б– еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; в– алювіальні відкладення річкових терас з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; г– алювіальні відкладення річкових терас без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; д– сучасних морських відкладень з наявністю в основі

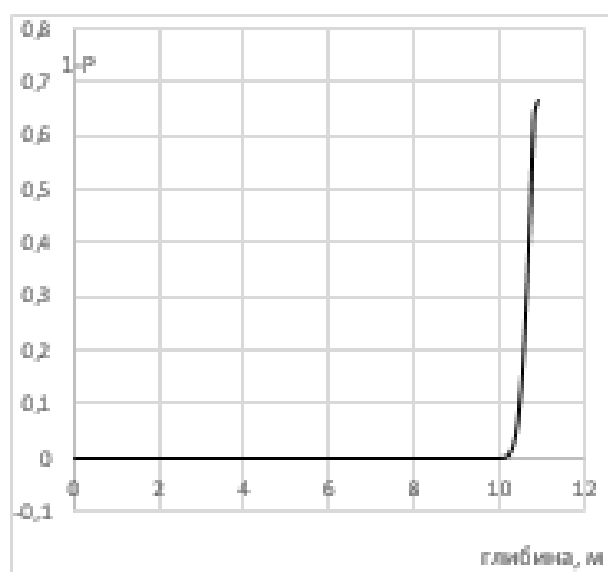
покривних відкладень відносного водоупору; е– сучасних морських відкладень без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору; ж– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень; з– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних алювіальних відкладень; и– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід.



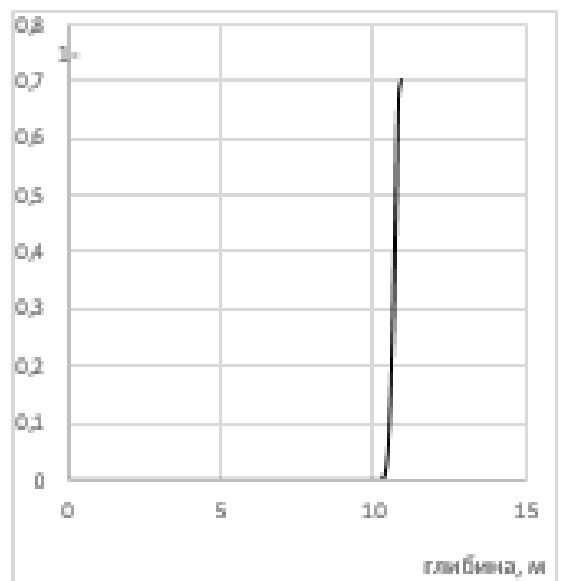
а



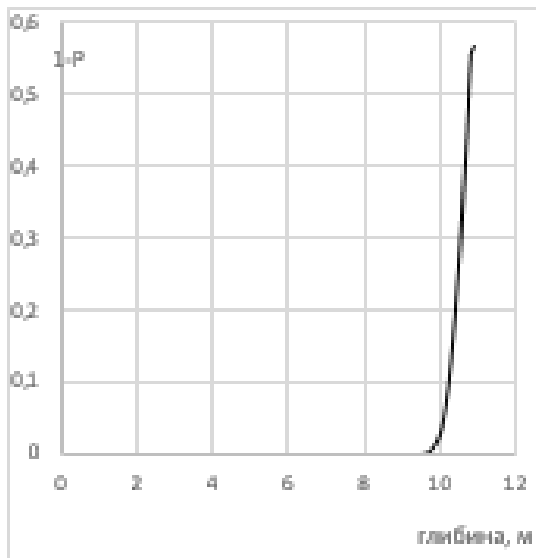
б



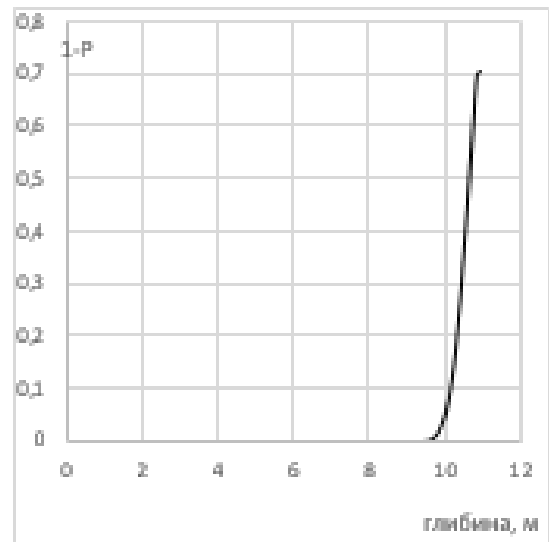
в



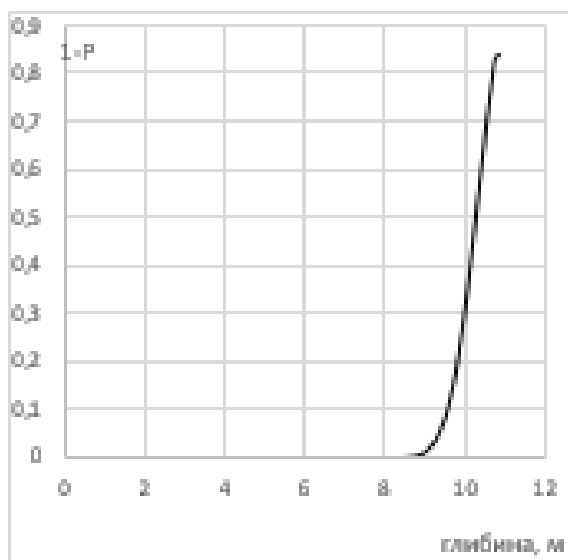
г



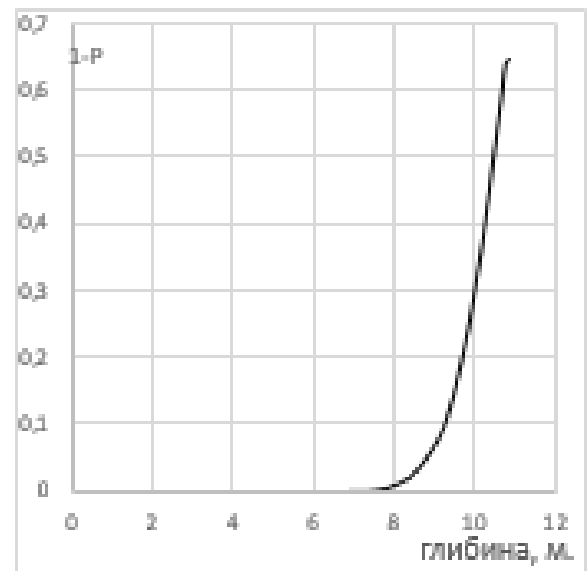
Д



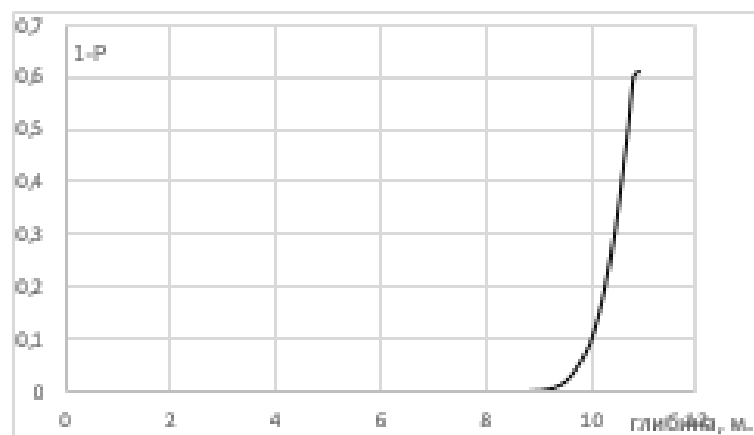
е



Ж



з



и

Рисунок 3.8 - Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини для випадку коли початкова концентрація забруднювача перевищує

ГДК в п'ять разів

а– еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; б–еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; в– алювіальні відкладення річкових терас з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; г– алювіальні відкладення річкових терас без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; д– сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; е– сучасних морських відкладень без наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору; ж– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень; з– тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних алювіальних відкладень; и–тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід.

Приклад позрахунку методу наведено в додатку Е.

3.4. Визначення ризику проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар.

Прийнятність ризику проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар в залежності від глибини шару для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу представлено в табл. 3.14-3.16

Таблиця 3.14 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	<2,0	>2,2	не досягається
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	<2,1	>2,3	не досягається

Таблиця 3.15 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу (початкова концентрація перевищує фонову в п'ять разів)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	<4,3	>4,6	не досягається
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	<4,4	>4,6	не досягається

Таблиця 3.16 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу (початкова концентрація перевищує фонову в десять разів)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	<10,3	>10,5	не досягається
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	<10,4	>10,6	не досягається

Прийнятність ризику проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар в залежності від глибини шару для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу представлено в табл. 3.17-3.19.

Таблиця 3.17 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	<2,1	2,2 – 2,4	не досягається
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	<2,1	2,2–2,3	не досягається

Таблиця 3.18 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	<4,5	>4,6	не досягається
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	<4,6	>4,7	не досягається

Таблиця 3.19 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	<10,5	10,7–10,8	не досягається
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	<10,5	10,7–10,8	не досягається

Прийнятність ризику проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар в залежності від глибини шару для ґрунтів сучасних морських відкладень представлено в табл. 3.20-3.22.

Таблиця 3.20 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для ґрунтів сучасних морських відкладень (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	<2,0	>2,3	не досягається
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	<2,0	2,2–2,3	не досягається

Таблиця 3.21 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для ґрунтів сучасних морських відкладень (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	<4,4	>4,6	не досягається
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	<4,3	>4,5	не досягається

Таблиця 3.22 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для ґрунтів сучасних морських відкладень (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору	<10,4	>10,7	не досягається
без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору	<10,2	10,5–10,7	не досягається

Таблиця 3.23 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для ґрунтів тріщинуватих скельних і напівскельних порід (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень	<1,8	2,0–2,1	>2,4
з наявністю покривних алювіальних відкладень	<1,8	2,0–2,3	не досягається
тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід	<2,1	2,2–2,4	не досягається

Прийнятність ризику проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар в залежності від глибини шару для ґрунтів тріщинуватих скельних і напівскельних порід представлено в табл. 3.24-3.25.

Таблиця 3.24 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для ґрунтів тріщинуватих скельних і напівскельних порід (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень	<3,8	>4,2	>4,7
з наявністю покривних алювіальних відкладень	<3,7	>4,2	не досягається
тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід	<4,2	>4,5	не досягається

Таблиця 3.25 - Ризик проникнення забруднюючих речовин крізь ґрунтовий шар для ґрунтів тріщинуватих скельних і напівскельних порід (початкова концентрація перевищує фонову в три рази)

Тип ґрунтів	Глибина, м, на який проникає ризик:		
	Безумовно неприйнятний	Умовно прийнятний	Безумовно прийнятний
з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень	<9,8	10,1–10,4	>10,8
з наявністю покривних алювіальних відкладень	<9,8	10,1–10,7	не досягається
тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід	<10,2	<10,6	не досягається

За результатами імітаційного експерименту можна зробити такий висновок:

- що для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водопору досягається умовно прийнятний рівень очищення на глибині 1.3, 3.7, та 9.5 метрів для трьох різних експериментів відповідно;
- для еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу без наявності в основі покривних відкладень відносного водопору досягається умовно прийнятний рівень очищення на глибині 1.8, 3.6, 9.8 метрів відповідно;

- для сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору досягається умовно прийнятний рівень очищення на глибині 1.8, 3.7, 9.8 метрів відповідно;
- для тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід досягається мовно прийнятний рівень очищення на глибині 1.7, 3.2, 9.3 метрів відповідно;
- для алювіальні відкладення річкових терас з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору досягається прийнятний рівень очищення на глибині 1.7, 4.2, 10 метрів;
- для алювіальні відкладення річкових терас без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору досягається прийнятний рівень очищення на глибині 1.9, 4.3, 10.4 метрів;
- для сучасних морських відкладень без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору досягається прийнятний рівень очищення на глибині 1.6, 3.6, 9.7 метрів;
- для тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних алювіальних відкладень досягається прийнятний рівень очищення на глибині 1.6, 2.5, 7.9 метрів;
- для тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю покривних еолово-делювіальних відкладень досягається безумовно прийнятний рівень очищення на глибині 1.6, 2.6, 8.9 метрів.

Для типу: еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору, еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу без наявності в основі покривних відкладень відносного водоупору, сучасних морських відкладень з наявністю в основі покривних відкладень відносного водоупору та тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід прийнятний рівень очищення на території досягнуто бути не може.

Отже, застосування даної методики проводилося для відповідних типів ґрунтів за класифікацією представленою в першому розділі, для яких була створена матриця співвідношень математичних моделей до типу ґрунтів. При використанні методики для інших типів ґрунтів потрібно вводити таку матрицю співвідношень, яка краще буде описувати ті фізичні процеси, які в ньому відбуваються. Тобто, при застосуванні даної методики для аналізування впливу певного промислового об'єкта на ґрунтовий шар матриця співвідношень математичних моделей до типу ґрунтів має відповідати геологічній ситуації відповідної місцевості.

Таким чином, практична реалізація методики оцінювання екологічного стану геологічного системі з розподілу забруднюючих речовин в ній, дозволить визначити ступінь зміни стану ґрунтового шару, глибину розподілу забруднюючих речовин і можливий вплив на ґрунтові води.

Висновок до розділу 3

З метою врахування захисної здатності ґрунтового шару при оцінці еколого-геохімічного впливу промислового підприємства на ґрунтовий шар розглянуто класифікацію ґрунтів України 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. В якості оцінки результатів геофільтрації запропоновано відношення поточної концентрації забруднювача до його фонові концентрації.

Для оцінки впливу промислового підприємства на гідросферу розроблено методику визначення показників ефективності очищення, яка заснована на імітаційному експерименті. Для якої розроблено алгоритм проведення імітаційного експерименту на комплексі моделей з урахуванням встановлених коефіцієнтів і проведено 10000 його реалізацій. За результатами імітаційного експерименту визначено величини, що дозволяють судити про якість геофільтрації:

- 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 ризику впливу промислового підприємства на екологічний стан ґрунтового шару запропоновано розглядати ризик проникнення забруднювача в підземні води через шар ґрунту та встановлено шкалу оцінювання цього ризику на основі шкали бажаності Харрінгтона. 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.

Основні результати опубліковані в таких роботах [69].

РОЗДІЛ 4

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ ПРОМИСЛОВИМ ОБ'ЄКТОМ

Критичне техногенне забруднення зазнають землі, розташовані в зоні впливу повітряних викидів великих промислових підприємств великих міст і транспортних артерій. Основними джерелами надходження в ґрунт шкідливих речовин від промислових підприємств є осадження газопилових викидів в скиданні стічних вод. Основними джерелами забруднення ґрунтового шару є металургійна промисловість, підприємства тепло-енергетичного комплексу (насамперед працюючі на вугіллі), гірничо-видобувної, гірничо-переробної та хімічної промисловості.

Таким чином, екологічна обстановка в районах впливу в першу чергу підприємств металургійної промисловості та підприємства тепло-енергетичного комплексу залишається вкрай напруженою, і необхідно вживати заходів щодо її поліпшення, мінімізуючи впливу, знижуючи екологічний ризик і ліквідуючи вже накопичені джерела забруднення ґрунтів і поверхні землі.

Розрахунок впливу теплоелектростанції та металургійного підприємства на стан ґрунтового шару проводився відповідно виконанню плану науково-дослідних робіт кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського.

4.1 Оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару викидами теплоелектростанцій

В енергетичному балансі України ТЕС є основним джерелом теплової та електричної енергії. Так як ТЕС по існуючим оцінкам споживає більше третини видобутого палива у світі, то можна сказати, що саме ТЕС є основним джерелом забруднення навколишнього природного середовища в цілому, і

зокрема ґрунтового шару. Тому і виникає необхідність у дослідженні цих впливів та визначенні рівня екологічного ризику ТЕС [174]. Виробництво на ТЕС тепла та електрики пов'язане із виникненням різних видів негативного впливу в першу чергу на повітряну, водну, ґрунтову системи, а також на інші. Вплив на атмосферне повітря виникає при спаленні мазуту та природного газу; водний вплив виникає при скиданні різних стічних вод (після охолодження конденсаторів турбін, масло- та повітря- охолоджувачів, викидні води із системи гідрозоловидалення); вплив на ґрунтовий шар відбувається в процесі осідання забруднюючих часток з повітряних мас, а також при витоках стічних вод на території ТЕС. Далі під час опадів забруднюючі речовини потрапляють в глиб ґрунтів в процесі фільтрації, що приводить до негативних змін в складі ґрунтів, а також може негативно в майбутньому позначитись на ґрунтових водах.

Було проведено аналіз впливу теплоелектростанції на стан ґрунтового шару.

За фізико-географічним районуванням район розташування об'єкту дослідження відноситься до області монокліналі північного борта Дніпровсько-Донецької впадини, підрайону переважно акумулятивних річних долин [175].

В геологічній будові [175,176] беруть участь дислоцировані породи каміновугольного віку, які перекриті чохлам рихлих четвертинних відкладень.

Каміновугільні відкладення представлені чергуванням потужних пачок аргілітов, алевритова та пісковиків з підпорядкованими малопотужними прошарками вапняків та вуглистих сланців. Літологічний склад: аргіліти та алевроліти 60%, пісчаники 39%, вапняки 0.99%, вугілля 0.01%. потужність відкладень 820-875 м.

Одним з факторів, які впливають на поширення ЗР у складових довкілля, є природно-кліматичні умови розташування промислового підприємства.

Район розміщення об'єкта належить в двох кліматичних зонах – середній та південній та характеризується інтенсивною зміною атмосферних процесів. Територія знаходиться під впливом арктичних та антарктичних повітряних

мас. Клімат – помірна континентальний з тривалим жарким літом та м'якою зимою.

Середньорічна місячна температура повітря району складає $+6,6^{\circ}\text{C}$. в січні та $+22,2^{\circ}\text{C}$, в червні. мінімум -42°C . Середньорічна температура повітря $+8,1^{\circ}\text{C}$.

Тривалість без морозного періоду 157 днів. Переважаючими в році є вітер східного напрямку. Середня швидкість вітру 5.2 м/сек. Середньорічна кількість опадів становить 530 мм. Величина випаровування з поверхні ґрунтів 434-530 мм / рік. Сніговий покрив не стійкий, середня висота близько 50 см. Глибина промерзання ґрунтів становить 60-130 см. Пружність водяного пару в повітрі характеризується абсолютною вологістю, ступінь насичення водяним паром – відносною вологістю та недоліком насичення. Середньорічне значення абсолютної вологості повітря – 8.5 гПа, середньорічна відносною - 71%.

Таблиця 4.1 - Матриця ступеня очищення ґрунтів

Градація ефективності	Фізичні процеси в ґрунтах					
	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

Виконаний аналіз засвідчив, що для застосування запропонованої методики оцінювання впливу техногенних забруднень теплоелектростанції на екологічний стан ґрунтів як верхньої депонуючої зони геологічної системи території підприємства, в першу чергу, треба ввести таку матрицю ступеня

очищення ґрунтів, яка буде відповідати геологічній будові розташування ТЕС. Беручи до уваги літологічний склад геологічної будови місцевості матриця ступеня очищення наведена в таблиці 4.1.

В таблиці 4.2. наведено речовини які потрапляють в ґрунтовий шар з ТЕС, за якими проводилось моделювання.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані забруднення ґрунтів ТЕС

№	Забруднююча речовина	Концентрація забруднювача С, мг/кг	ГДК, мг/кг
1	Барій	507	366
2	Берилій	0.38	1.85
3	Фосфор	680	700
4	Хром	66	96.1
5	Свинець	19.8	20
6	Олово	4.7	3.96
7	Галій	10	8.6
8	Нікель	48	44.3
9	Цинк	125	95
10	Цирконій	210	176
11	Кобальт	19.3	18
12	Мідь	39.7	30
13	Ванадій	99	99.6
14	Молібден	1.67	1.23
15	Літій	27.3	21.3
16	Марганець	843	700
17	Вісмут	0.4	1.8
18	Ніобій	19	16.6
19	Стронцій	84.3	100
20	Миш'як	9.7	5.9

Дивлячись на дані в таблиці 4.2 в першу чергу треба робити розрахунок впливу підприємства по таким забруднюючим речовинам: мідь, миш'як, барій, олово, галій, нікель, цинк, цирконій, кобальт, молібден, літій, марганець та ніобій.

Оцінювання рівня впливу ТЕС на стан ґрунтового шару підприємства 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. 4.1 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. 4.2 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

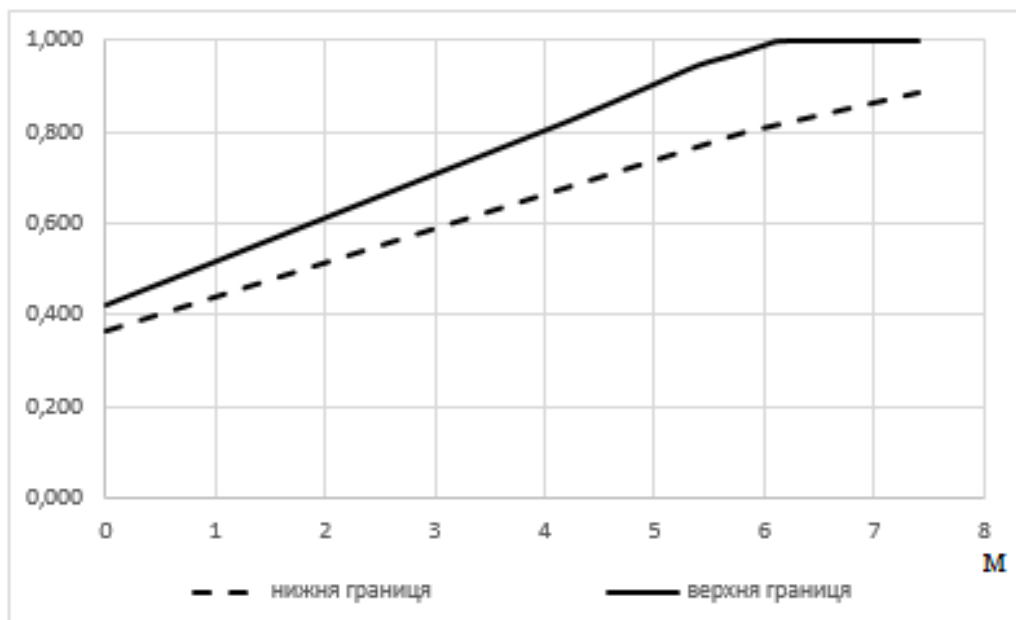


Рисунок 4.1 –Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення у ґрунтах від глибини фільтрації для миш'яку

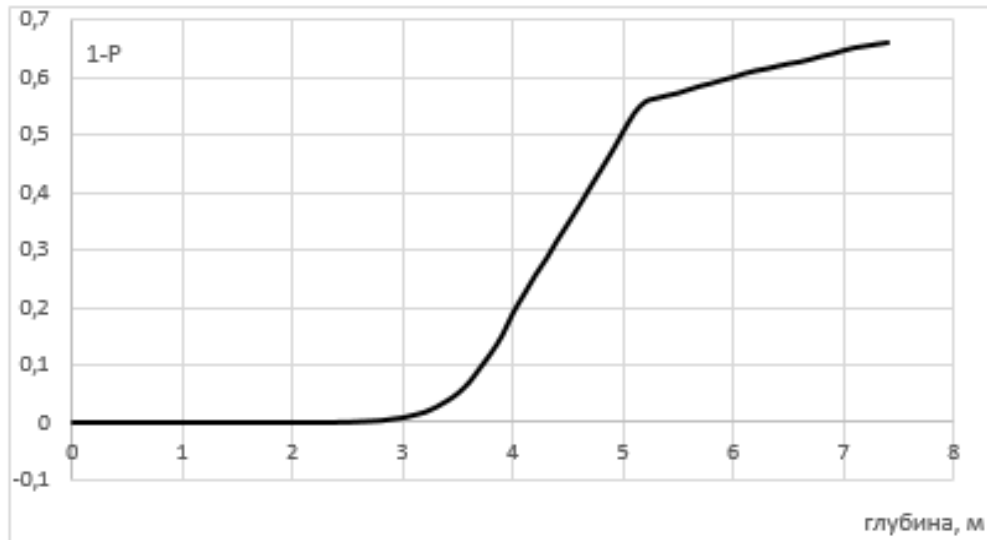


Рисунок 4.2 – Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

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.

Оцінювання рівня впливу ТЕС на стан ґрунтового шару підприємства по міді: за результатами імітаційного моделювання встановлено, що на глибині 5.7 м. досягається верхня границя ступеня очищення, що дорівнює одиниці, а також отримане граничні значення нижньої границі ступеня очищення в ґрунтах, що дорівнює 0.66, воно досягається на глибині 7.9 м. На рис. 4.3 представлено графічне зображення залежності нижнього та верхнього рівнів границі ступеня очищення у ґрунтах від глибини фільтрації. В процесі фільтрації на глибині 7.9 м. досягається максимальна ймовірність повного очищення для міді, що дорівнює $P_{\text{МВО}} = 0.605$. На рис. 4.4 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

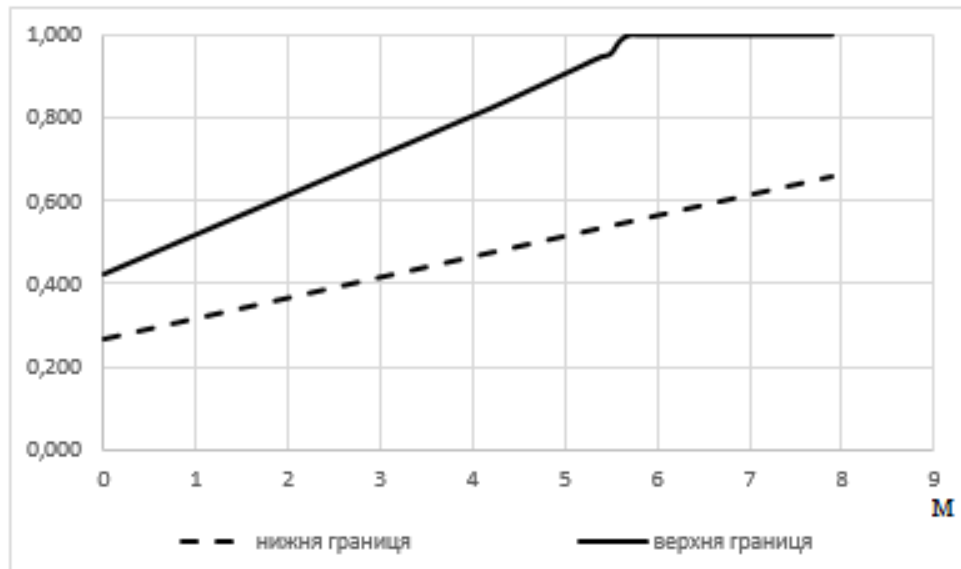


Рисунок 4.3 – Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації для міді

За результатами імітаційного експерименту можна зробити висновок, що мідь, котра потрапляє у ґрунтовий шар з підприємства в процесі фільтрації пройде в глибину на 7,9 м. та максимальна ймовірність повного очищення на даній глибині дорівнюватиме $P_{\text{МВО}}=0.605$, на якій досягається умовно прийнятний рівень очищення.

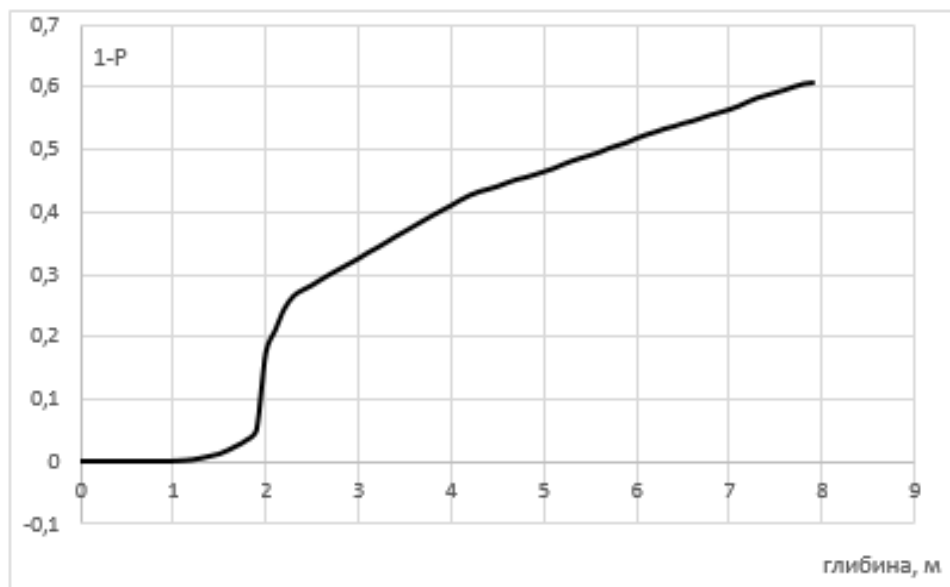


Рисунок 4.4 – Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

Оцінювання рівня впливу ТЕС на стан ґрунтового шару підприємства по барію: за результатами імітаційного моделювання встановлено, що на глибині 0.7 м. досягається верхня границя ступеня очищення, що дорівнює 1, а також отримані граничні значення нижньої границі ступеня очищення в ґрунтах, що дорівнює 0.885, яке досягається на глибині 3.6 м. На рис. 4.1 представлено графічне зображення залежності нижнього та верхнього рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації. В процесі фільтрації на глибині 3.6 м. досягається максимальна ймовірність повного очищення для миш'яку, яка дорівнює $P_{\text{МВО}}=0.75$. На рис. 4.2 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

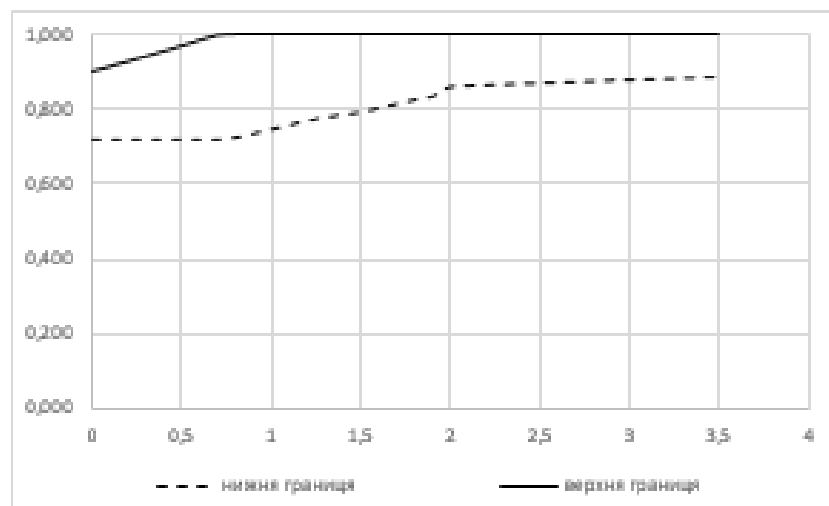


Рисунок 4.1 – Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення у ґрунтах від глибини фільтрації для барію

За результатами імітаційного експерименту, можна зробити висновок, що миш'як, котрий потрапляє в ґрунтовий шар в процесі фільтрації пройде у глибину на 3.6 м. та максимальна ймовірність повного очищення на даній глибині дорівнюватиме $P_{\text{МВО}}= 0.75$, на даній глибині досягається умовно прийнятний рівень очищення.

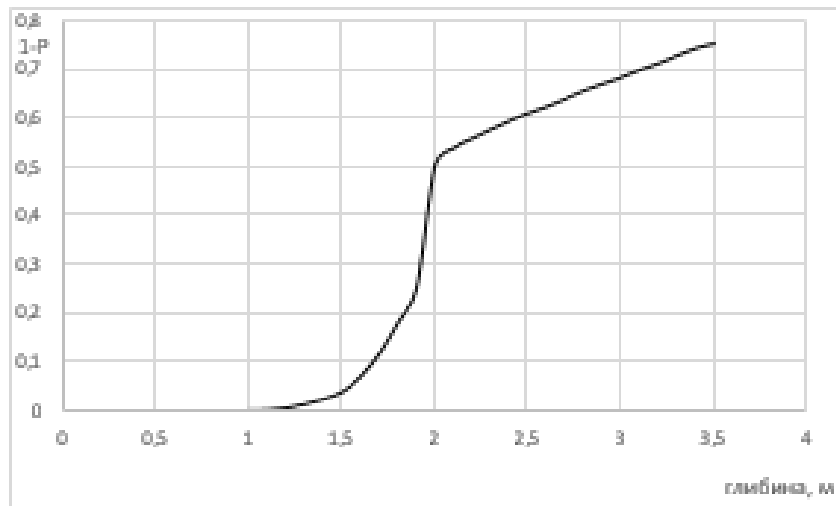


Рисунок 4.2 – Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

Приклад розрахунку за речовинами наведено в додатку Ж.

4.2 Оцінювання рівня забруднення ґрунтового шару викидами металургійної промисловості

На території України металургійна промисловість є базовою галуззю народного господарства та забезпечує більше 25% промислового виробництва держави. У зв'язку з цим, даний вид промисловості супроводжується великою кількістю викидів забруднюючих речовин та скидів в навколишнє середовище і, як наслідок це приводить до забруднення повітряного і водного басейнів, земельних ресурсів та в цілому на здоров'я населення.

Основними джерелами потенційного впливу діяльності металургійних підприємства на навколишнє середовище є: димова труба, викиди продуктів згоряння з яких можуть забруднювати атмосферне повітря; водонесучі комунікації і споруди, техногенні витіки з яких можуть викликати підтоплення територій і забруднення ґрунтів та підземних вод; промливневі стоки, скидання яких без забезпечення необхідного очищення може викликати забруднення водотоків і водоєм місцевої гідрографічної мережі.

В атмосферне повітря з території металургійного комбінату потрапляють такі забруднюючі речовини: діоксид азоту, оксид вуглецю, метан. В поверхневій воді двох прилеглих річок потрапляють стічні води. Основними показниками, що характеризують забруднення вод є: рН (водневий показник), O_2 (концентрація розчиненого кисню), сухий залишок, хлориди, сульфати, нітрати, нітрити, фосфати, ХСК (хімічне споживання кисню), БСК5 (біологічне споживання кисню), залізо. Природний ґрунтовий покрив у границях об'єкту перетерпів значні техногенні перетворення. Для оцінки існуючого стану ґрунтового шару потрібно слідкувати за наявністю та значеннями таких шкідливих речовин: миш'як, ртуть, свинець, цинк, мідь, хром, марганець, барій, стронцій, кадмій. Спостереження треба проводити на всій території підприємства.

Було проведено аналіз впливу металургійного підприємства на стан ґрунтового шару.

За фізико-географічним районуванням район розташування об'єкту дослідження відноситься до Північно-степової провінції, області Донецької височини.

В геологічній будові беруть участь відкладення палеозойської групи, кам'яновугільної системи, середнього карбону, перекриті нижньо-, верхньоантропогеновими елювіально-делювіальними відкладеннями. Геологічний розріз з поверхні представлений четвертинними ґрунтами, що залягають на скельних і напівскельних кам'яновугільних відкладеннях [176].

В гідрогеологічному відношенні територія віднесена до гідрогеологічної провінції Донецької складчастої області. Перші від поверхні і часто основні водоносні горизонти зосереджені у відкладеннях середнього карбону. Водовміщуючими породами є чергування глинистих сланців і пісковиків з тонкими прошарками вапняків [177].

Одним з факторів, які впливають на поширення ЗР у складових довкілля, є природно-кліматичні умови розташування промислового підприємства.

Згідно кліматичного районування, територія відноситься до степової області помірних широт з явно вираженим континентальним кліматом і відсутністю різких переходів між сезонами року. Середньорічна багаторічна температура повітря $+ 6,7^{\circ} \text{C}$. абсолютний максимум $+ 41^{\circ} \text{C}$, мінімум -42°C . Тривалість безморозного періоду 167 днів; максимальна глибина промерзання ґрунтів 1,1 м. Вітровий режим характеризується відносно рівномірним поширенням протягом всього року вітрів різних напрямків при помітному переважанні східного і північно-східного. Середня швидкість вітру в січні 8 м/сек, в липні 3 м/сек. Середньорічна кількість опадів становить 556 мм, з яких на теплий період року припадає 400 мм. Величина випаровування з поверхні ґрунтів 400-420 мм/рік. Середня величина інфільтрації опадів дорівнює 25 мм/рік. Сніговий покрив не стійкий, середня висота близько 40 см. За кількістю опадів, що випадають і випаровуються район відноситься до зони недостатнього зволоження.

Для застосування запропонованої методики оцінки впливу металургійного підприємства на екологічний стан геологічної системі території підприємства в першу чергу, треба ввести таку матрицю ступеня очищення ґрунту, яка буде відповідати геологічній будові розташування комбінату. Беручи до уваги літологічний склад геологічної будови місцевості матриця ступеня очищення наведена в таблиці 4.3.

В таблиці 4.4. наведено речовини які потрапляють в ґрунти, за якими проводилось моделювання.

Дивлячись на дані в таблиці 4.4 в першу чергу треба робити розрахунок впливу підприємства по таким забруднюючим речовинам: ртуть, мідь, свинець, барій, стронцій та кадмій.

Таблиця 4.3 - Матриця ступеня очищення ґрунтів

Градація ефективності	Фізичні процеси в ґрунтах					
	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	0,18	0,35	0,1	0,1	0,07	0,07
max	0,2	0,4	0,15	0,15	0,1	0,1

Таблиця 4.4 - Вихідні дані забруднення ґрунтів металургійним підприємством

№	Забруднююча речовина	Фонова концентрація Сф мг/кг	Концентрація забруднювача С, мг/кг
1	Миш'як	5.1	5
2	Ртуть	0.01	2
3	Свинець	10	108
4	Цинк	50	24
5	Мідь	20	22
6	Хром	90	3
7	Барій	50	560
8	Стронцій	300	310
9	Кадмій	0.5	1.9

Оцінювання рівня впливу комбінату на стан ґрунтового шару підприємства по міді: за результатами імітаційного моделювання встановлено, що на глибині 1.52 м. досягається верхня границя ступеня очищення, дорівнює 1, а також отримані граничні значення нижньої границі ступеня очищення в ґрунтах, що дорівнює 0.83, яке досягається на глибині 2.15 м. На рис. 4.5

представлено графічне зображення залежності нижнього та верхнього рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації. В процесі фільтрації на глибині 2.8 м. досягається максимальна ймовірність повного очищення для міді, що дорівнює $P_{\text{МВО}}=0.83$. На рис. 4.6 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

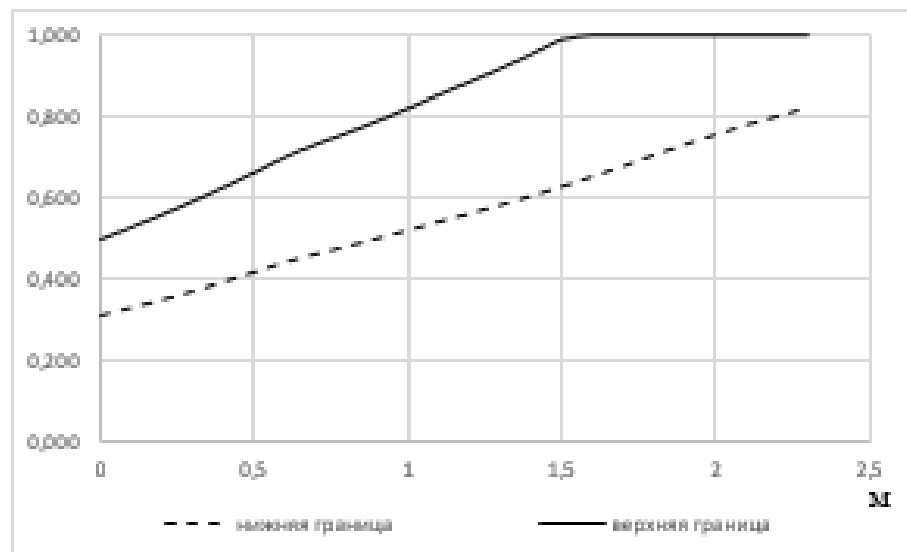


Рисунок 4.5 – Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації для міді

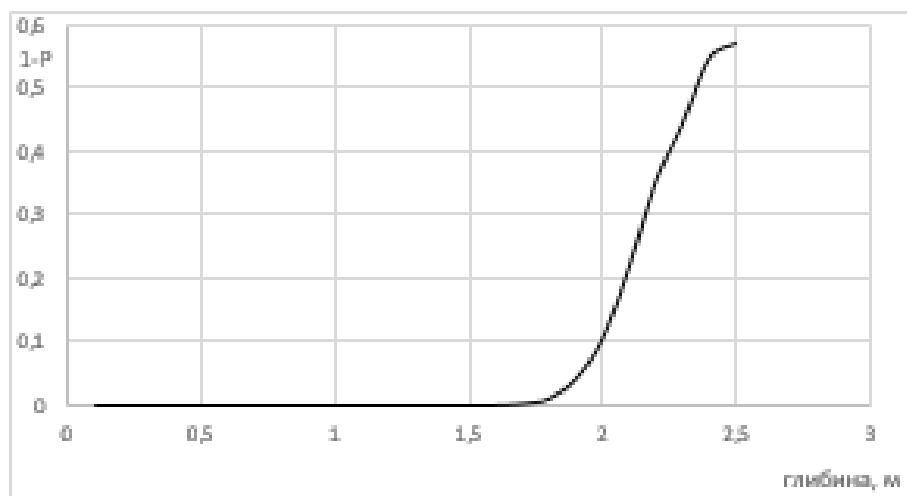


Рисунок 4.6 – Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

За результатами імітаційного експерименту можна зробити висновок, що мідь, котра потрапляє в ґрунтовий шар з підприємства в процесі фільтрації, пройде в глибину на 2.8 м. та максимальна ймовірність повного очищення на даній глибині дорівнюватиме $P_{\text{МВО}}=0.83$, на якій досягається безумовно прийнятний рівень очищення.

Оцінювання рівня впливу комбінату на стан ґрунтового шару підприємства по ртуті: за результатами імітаційного моделювання встановлено, що на глибині 1.27 м. досягається верхня границя ступеня очищення, що дорівнює 1, а також отримані граничні значення нижньої границі ступеня очищення в ґрунтах, що дорівнює 0.83, яке досягається на глибині 2.18 м. На рис. 4.7 представлено графічне зображення залежності нижнього та верхнього рівнів границі ступеня очищення у ґрунтах від глибини фільтрації. В процесі фільтрації на глибині 12.5 м. досягається максимальна ймовірність повного очищення для ртуті, що дорівнює $P_{\text{МВО}}=0.84$. На рис. 4.8 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

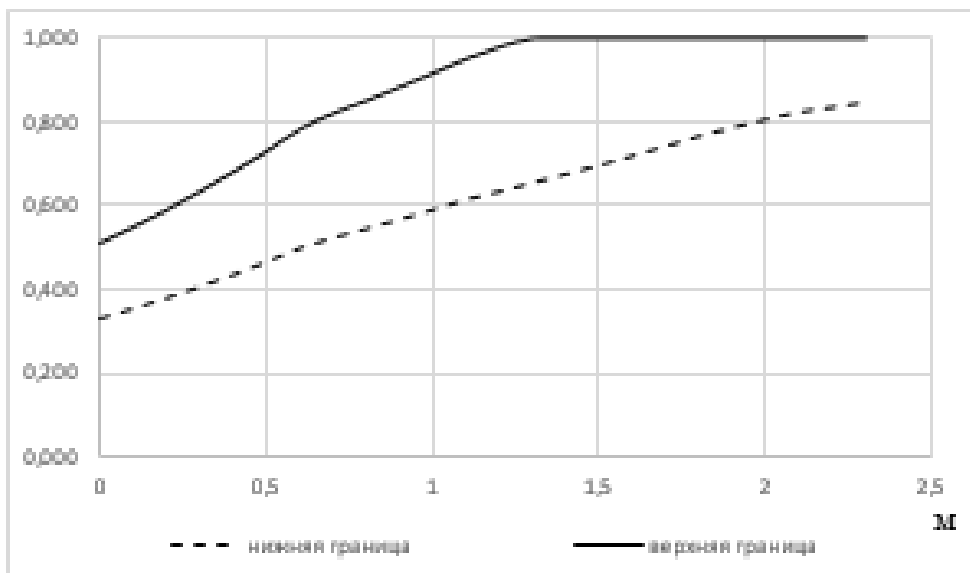


Рисунок 4.7 – Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації для ртуті

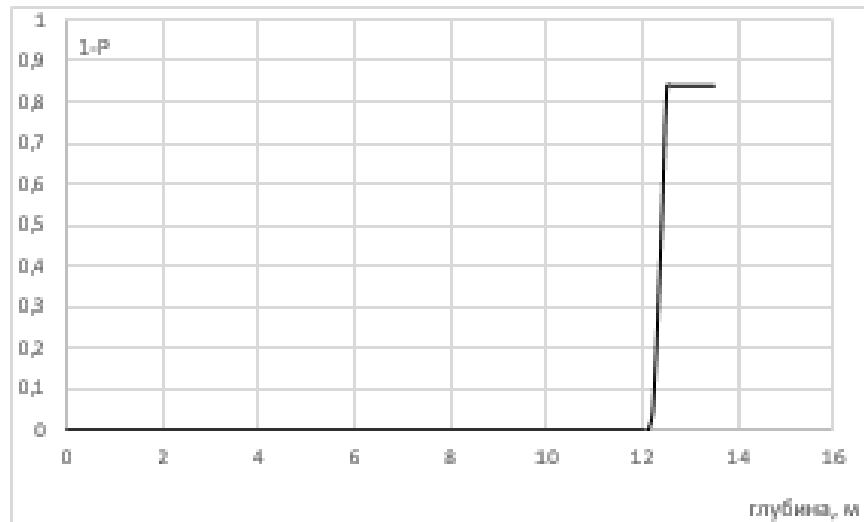


Рисунок 4.8 – Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

За результатами імітаційного експерименту можна зробити висновок, що ртуть, котра потрапляє в ґрунтовий шар з підприємства в процесі фільтрації, пройде в глибину на 12.5 м. та максимальна ймовірність повного очищення на даній глибині дорівнюватиме $P_{\text{МВО}}=0.84$, на якій досягається безумовно прийнятний рівень очищення.

Оцінювання рівня впливу комбінату на стан ґрунтового шару підприємства по свинцю: за результатами імітаційного моделювання встановлено, що на глибині 5.6 м. досягається верхня границя ступеня очищення, що дорівнює 1, а також отримані граничні значення нижньої границі ступеня очищення в ґрунтах, що дорівнює 0.883, яке досягається на глибині 6.5 м. На рис. 4.9 представлено графічне зображення залежності нижнього та верхнього рівнів границі ступеня очищення у ґрунтах від глибини фільтрації. В процесі фільтрації на глибині 6.5 м. досягається максимальна ймовірність повного очищення для ртуті, що дорівнює $P_{\text{МВО}}=0.726$. На рис. 4.10 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

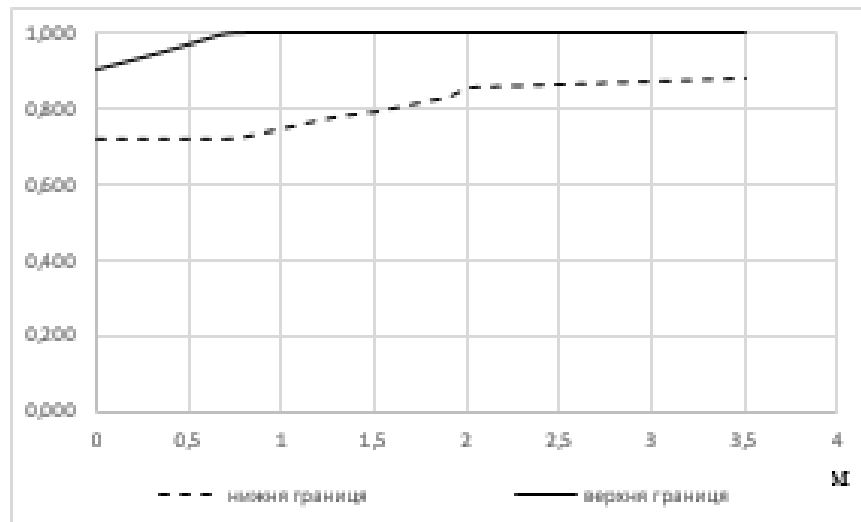


Рисунок 4.9– Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації для свинцю

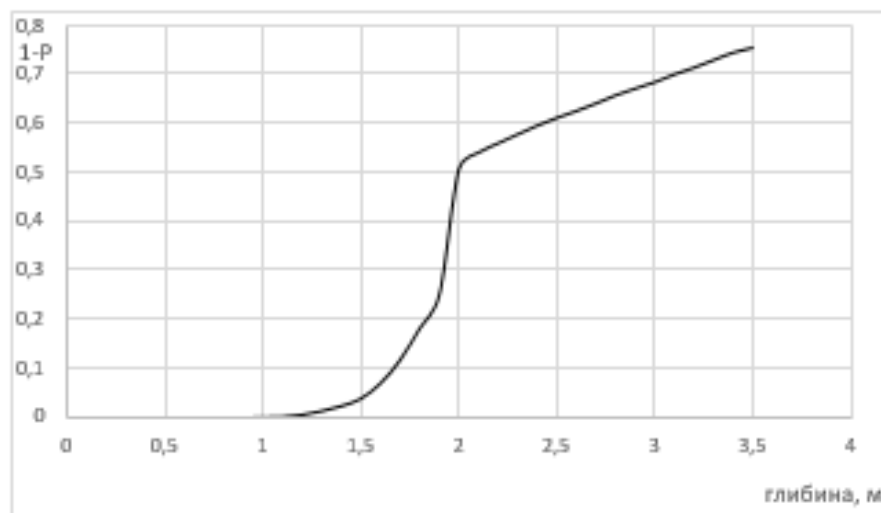


Рисунок 4.10 – Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

За результатами імітаційного експерименту можна зробити висновок, що ртуть, котра потрапляє в ґрунтовий шар з підприємства в процесі фільтрації пройде в глибину на 6.5 м. та максимальна ймовірність повного очищення на даній глибині дорівнюватиме $P_{\text{МВО}}=0.726$, на якій досягається безумовно прийнятний рівень очищення.

Приклад розрахунку за речовинами наведено в додатку Ж.

Також було проведено аналіз впливу металургійного підприємства на інший тип ґрунтового шару.

Розташування об'єкта дослідження у фізико-географічному відношенні до степової зони, північній підзони різнотравнотипчаккових-ковилових степів [176].

У геолого-структурному відношенні район відноситься до зони розвитку Українського кристалічного масиву.

Згідно кліматичного районування, територія відноситься до степової області помірних широт з явно вираженим помірно континентальним кліматом (атлантико-континентальна європейська область), теплий, недостатньо вологий.

Температурний режим Середня максимальна температура повітря самого жаркого місяця (липня) - $+26,7^{\circ}\text{C}$, середня мінімальна температура повітря найхолоднішого місяця (січень) $-5,5^{\circ}\text{C}$, середньорічна температура $+8,4^{\circ}\text{C}$. Вологість. На мікроклімат території сильний вплив надає Дніпро, збільшується вологість повітря у весняно-осінній період.

Опади. Максимальна річна сума опадів становить 765 мм, мінімальна - 251 мм. У літній період часті грози. Вітровий режим характеризується відносно рівномірним поширенням протягом всього року вітрів різних напрямків. Швидкість вітру, повторюваність перевищень яких становить 5% - 9-10 м / с. Глибина промерзання ґрунтів становить 90 см.

Для застосування запропонованої методики оцінювання впливу металургійного підприємства на екологічний стан геологічної системи території підприємства, в першу чергу, треба ввести таку матрицю ступеня очищення ґрунту, яка буде відповідати геологічній будові розташування комбінату. Беручи до уваги літологічний склад геологічної будови місцевості матриця ступеня очищення наведена в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Матриця ступеня очищення ґрунтів

Градація ефективності	Фізичні процеси в ґрунтах					
	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	0,1	0,3	0,17	0,12	0,08	0,09
Max	0,15	0,35	0,2	0,15	0,1	0,12

В таблиці 4.6. наведено речовини які потрапляють в ґрунти, за якими проводилось моделювання.

Таблиця 4.6 - Вихідні дані забруднення ґрунтів металургійним комбінатом

№	Забруднююча речовина	Фонова концентрація Сф мг/кг	Концентрація забруднювача С, мг/кг
1	Свинець	30	17
2	Цинк	100	110
3	Мідь	55	20
4	Хром	90	2
5	Нікель	85	30
6	Барій	50	180
7	Стронцій	300	25
8	Кадмій	0.5	1.8

Дивлячись на дані таблиці 4.6, в першу чергу, треба робити розрахунок впливу підприємства по таким забруднюючим речовинам: цинк, кадмій та барій.

Оцінювання рівня впливу комбінату на стан ґрунтового шару підприємства по кадмію: за результатами імітаційного моделювання встановлено, що на глибині 1.3 м. досягається верхня границя ступеня очищення і вона дорівнює 1, а також отримане граничне значення нижньої границі ступеня очищення в ґрунтах, що дорівнює 0.83 і яке досягається на глибині 2.3 м. На рис. 4.11 представлено графічне зображення залежності нижнього та верхнього рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації. В процесі фільтрації на глибині 3.6 м. досягається максимальна ймовірність повного очищення для кадмію, що дорівнює $P_{\text{МВО}}=0.73$. На рис. 4.12 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

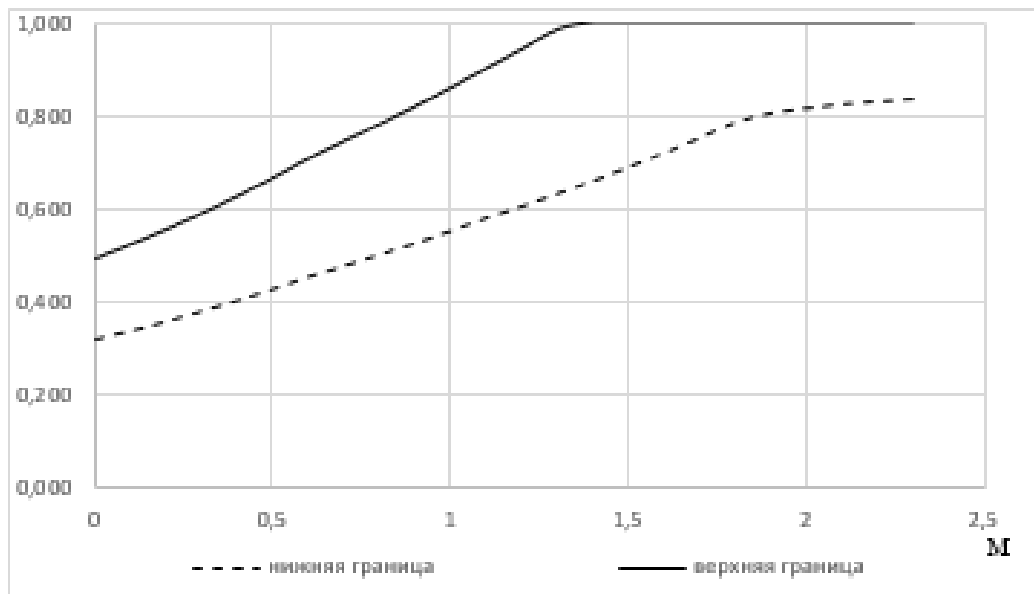


Рисунок 4.11– Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації для кадмію

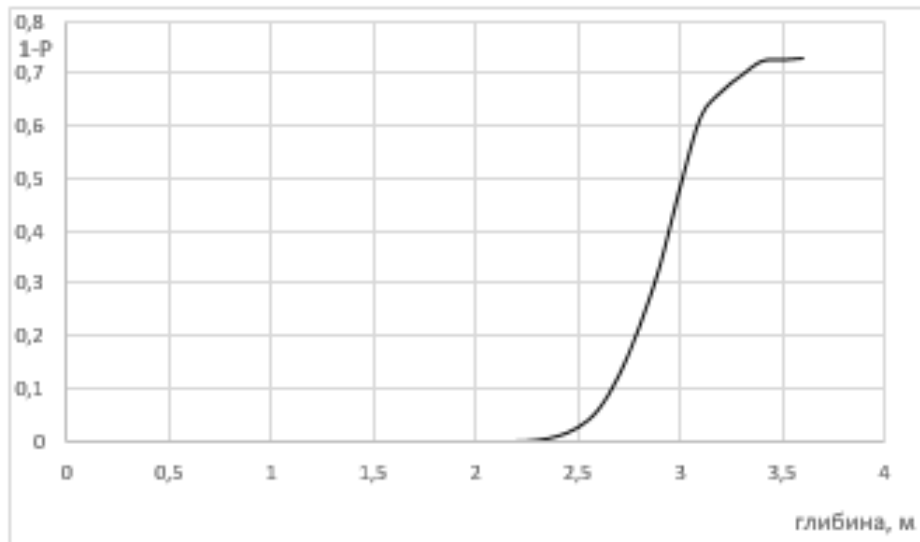


Рисунок 4.12– Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

За результатами імітаційного експерименту можна зробити висновок, що кадмій, який потрапляє в ґрунтовий шар з підприємства в процесі фільтрації, пройде в глибину на 3.6 м. та максимальна ймовірність повного очищення на даній глибині дорівнюватиме 0.73, де досягається прийнятний рівень очищення.

Оцінювання рівня впливу комбінату на стан ґрунтового шару підприємства по цинку: за результатами імітаційного моделювання встановлено, що на глибині 1.5 м. досягається верхня границя ступеня очищення, яка дорівнює 1, а також отримане граничне значення нижньої границі ступеня очищення в ґрунтах, що дорівнює 0.83, і яке досягається на глибині 2.15 м. На рис. 4.13 представлено графічне зображення залежності нижнього та верхнього рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації. В процесі фільтрації на глибині 3.1 м. досягається максимальна ймовірність повного очищення для цинку, що дорівнює $P_{\text{МВО}}=0.836$. На рис. 4.14 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

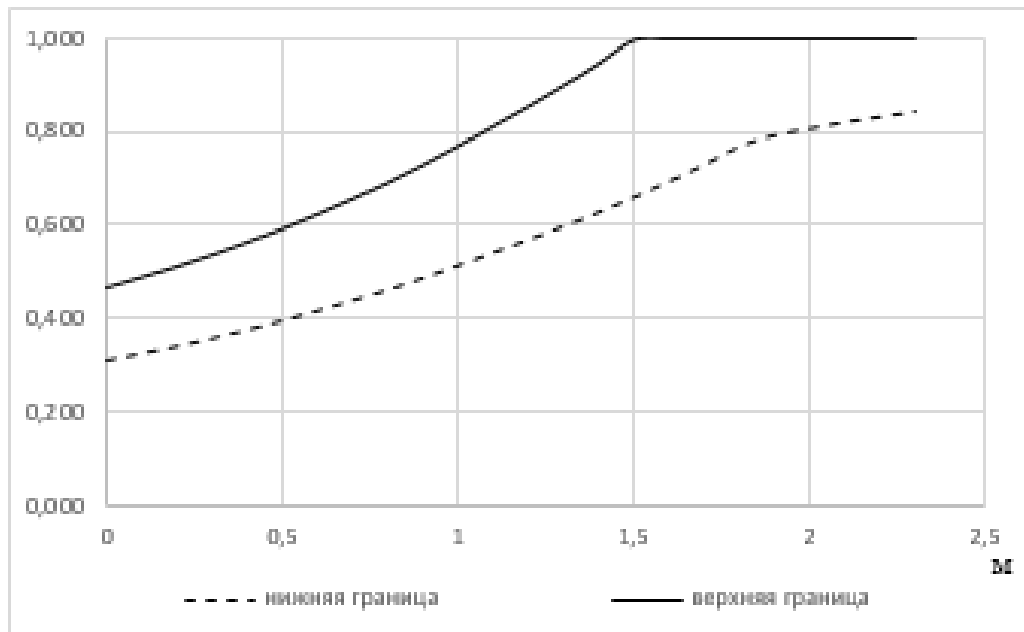


Рисунок 4.13—Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації для цинку

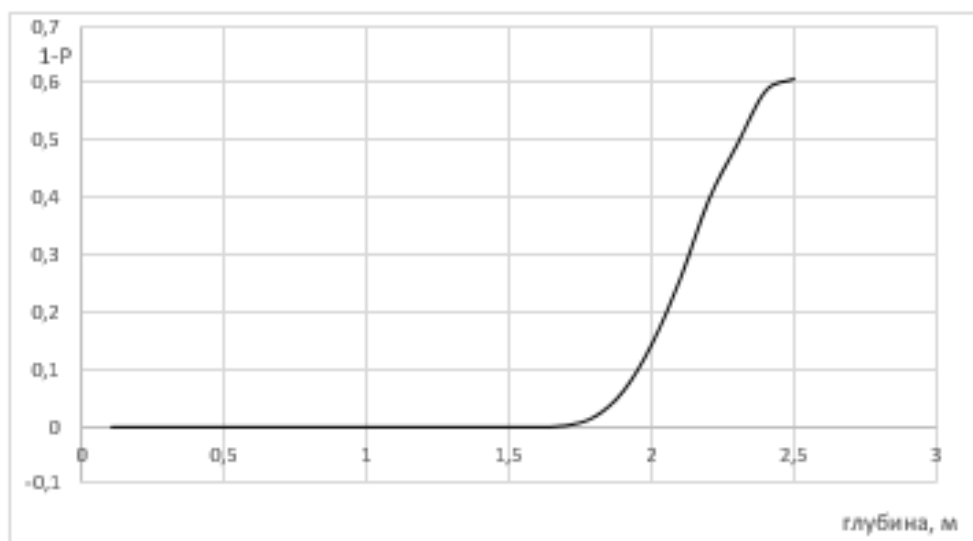


Рисунок 4.14— Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

За результатами імітаційного експерименту можна зробити висновок, що цинк, котрий потрапляє в ґрунтовий шар з підприємства в процесі фільтрації, пройде в глибину на 3.1 м. та максимальна ймовірність повного очищення на даній глибині дорівнюватиме 0.836, та на ній досягається безумовно прийнятний рівень очищення.

Оцінювання рівня впливу комбінату на стан ґрунтового шару підприємства по барію: за результатами імітаційного моделювання встановлено, що на глибині 2.6 м. досягається верхня границя ступеня очищення і вона дорівнює 1, а також отримане граничне значення нижньої границі ступеня очищення в ґрунтах, що дорівнює 0.885 і яке досягається на глибині 3.6 м. На рис. 4.15 представлено графічне зображення залежності нижнього та верхнього рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації. В процесі фільтрації на глибині 3.6 м. досягається максимальна ймовірність повного очищення для кадмію, що дорівнює $P_{\text{МВО}}=0.729$. На рис. 4.16 представлено графічне зображення залежності ймовірності повного очищення забруднювача з глибиною.

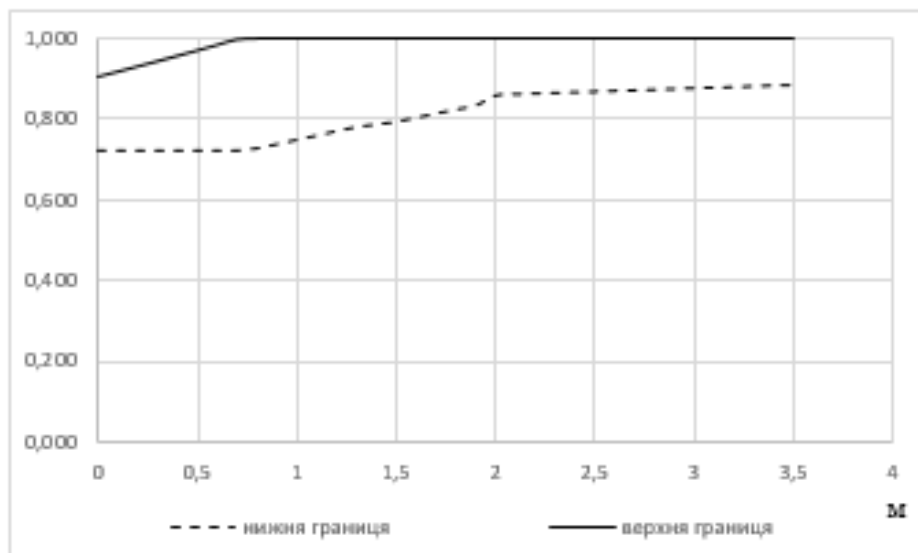


Рисунок 4.15– Залежність нижнього та верхнього значення рівнів границі ступеня очищення в ґрунтах від глибини фільтрації для барію

За результатами імітаційного експерименту можна зробити висновок, що кадмій, який потрапляє в ґрунтовий шар з підприємства в процесі фільтрації, пройде в глибину на 3.6 м. та максимальна ймовірність повного очищення на даній глибині дорівнюватиме 0.729, де досягається прийнятний рівень очищення.

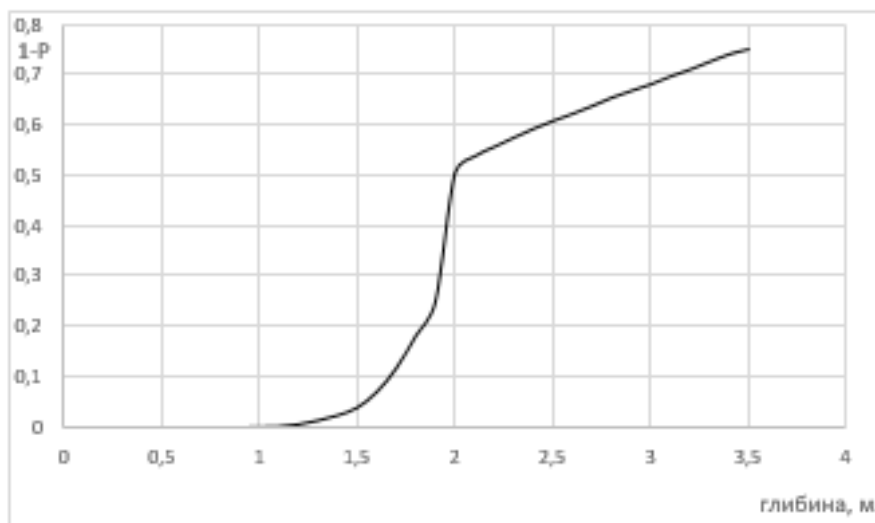


Рисунок 4.16– Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

Приклад розрахунку за речовинами наведено в додатку Ж.

Таким чином, практична реалізація методики оцінювання екологічного стану геологічної системи із врахуванням розподілу забруднюючих речовин, дозволила визначити ступінь впливу забруднювачів на стан ґрунтового шару, а також глибину розподілу забруднюючих речовин.

Висновок до розділу 4

Проведено оцінювання рівня екологічної безпеки теплоелектростанції та металургійних підприємств. Застосування для оцінки розробленої методики в третьому розділі надала 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 водоненасичених 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 ефективною 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 літератури

1. Гражданкин А. И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А. И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А. С Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – №5. – С.33–36.
2. Дранишников Л. В. Количественное описание систем при анализе техногенного риска / Л. В. Дранишников, Л. И. Найверт // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2006. – № 1 (13). С. 64–76.
3. Рудько Г. І. Екологічна безпека техноприродних геосистем (наукові та методичні основи): [Наукова монографія] / Г. І. Рудько, С. В. Гошовський. – К.: ЗАТ "Нічлава", 2006. – 464 с.
4. Шмандій В. М. Екологічна безпека — одна з основних складових національної безпеки / В. М. Шмандій, О. В. Шмандій // Екологічна безпека. – 2008. – Вип. 1. – С. 9–15
5. Абрамов І. Б. Овосологія: [Монографія] / І. Б. Абрамов. – Х.: ТОВ «ЕДЕНА», 2010. – 196 с.
6. Статюха Г. О. Алгоритм прийняття рішень при оцінці впливів на навколишнє середовище / Г. О. Статюха, Т. В. Бойко, В. І. Бендюг, І. Б. Абрамов // Вісник Вінницького політехнічного інституту, Вінниця, 2006, №5, С.119–123.
7. Бойко Т. В. К вопросу определения рисков при оценке воздействий техногенных объектов на окружающую среду / Т. В. Бойко // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2008. – №4/6 (34): Технология неорганических и органических веществ и екологія. – С.37–41.
8. Бендюг В. І. Система оцінки техногенної безпеки промислових підприємств: методологія та алгоритм розрахунку: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. Бендюг Владислав Іванович. – К., 2005. – 193 с.

9. Абрамова А. О. Індексна оцінка рівня екологічної безпеки проєктованих промислових об'єктів: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. Абрамова Алла Олександрівна. – К., 2012. – 200 с.
10. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде / Л.С. Лейбензон – М.-Л.: Гостехиздат, 1947. – 244 с
11. Лаврик В. І. Методиматематичного моделювання в екології/ В. І. Лаврик - Київ. 2002. С. 204.
12. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры/ А.А.Самарский – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с
13. Шестаков В. М. Гидрогеодинамика / В. М. Шестаков, М.: МГУ, 1995. - 368 с.
14. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод/ Ж. Фрид – М.: Недра, 1981.- 304 с.
15. Умов Н.А. О стационарном движении электричества на проводящих поверхностях произвольного вида /Н.А. Умов // Математический сборник. – 1878. – Т.9. – С. 121-127.
16. Allen A.J.C. On some problems in the conduction of electricity /A.J.C. Allen // Quarterly Journal of pure and applied mathematics, 1881, vol. 17, p. 65-86.
17. Beltrami E. Intorno ad un caso di moto a due coordinate /E. Beltrami // Rendiconti d. Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, 1878, vol. 11, p. 199-210.
18. Hill M.J. The steady motion of electricity in spherical current sheets. /M.J. Hill// Quarterly Journal of pure and applied mathematics, 1879, vol. 16, p. 306-323.
19. Брагинская В.А. Некоторые задачи фильтрации в анизотропном грунте /В.А. Брагинская // ПММ. – 1942. – Т.6. – вып. 2-3.
20. Голубева О.В. Двумерные динамические процессы в анизотропных средах /О.В. Голубева // ПММ. – 1980. – Т.44. – вып.1. – С. 166-171.
21. Голубева О.В. Задачи фильтрации в анизотропных средах /О.В. Голубева // Сб. науч. тр. «Исследования по теории функций комплексного переменного с приложениями к механике сплошных сред». – Киев: Наукова думка, 1986. – С.57-63.

22. Голубева О.В. Математические модели фильтрации при учёте неоднородности среды / О.В. Голубева, Т.Н. Сапиянов АН Киргизской // ССР. – Фрунзе: «Илим», 1990. – 236 с.

23. Голубева О.В. О фильтрации в однородно – анизотропных средах / О.В. Голубева, В.А. Толпаев, В.Г. Кутузов, Ю.Л. Соломко // Гидромеханика. М.: МОПИ им. Н.К. Крупской. – 1975. – вып. 4. – С. 163-171.

24. Горбунов А.Т. Некоторые задачи фильтрации в анизотропных средах / О.В. Голубева // НТС ВНИИ. – 1962. – вып. 16.

25. Михайлов Г.К. К задаче о фильтрации в анизотропных земляных плотинах трапецеидального профиля на горизонтальном водоупоре / Г.К. Михайлов // ДАН СССР. – 1951. – Т. 80. – № 4. – С. 553-556.

26. Михайлов Г.К. Применение модели предельно анизотропных грунтов для оценки решений некоторых краевых задач о движении потока грунтовых вод по водоупору / Г.К. Михайлов // Инж. сб. АН СССР. – 1953. – Т. XV. – С. 159-168.

27. Михайлов Г.К. Упрощение способа расчета фильтрации в однородноанизотропном грунте / Г.К. Михайлов // Инж. сб. АН СССР – 1954. – Т. XIX. – С. 159-160.

28. Соломко Ю.Л. О моделировании работы скважины в анизотропном грунте / Ю.Л. Соломко // МОИП. Избранные задачи гидродинамики. – М.: Наука. – 1977. – С. 92-96.

29. Холодовский С.Е. Линейная фильтрация жидкости в анизотропных средах / С.Е. Холодовский // Задачи динамических процессов в сплошных средах. Свердлов. гос. пед. ин-т. – Свердловск, 1991. – С. 15-19.

30. Холодовский С.Е. О фильтрации в неоднородных средах с криволинейной анизотропией / С.Е. Холодовский // Проблемы математики в задачах физики и техники. Моск. физико – технич. ин-т. – М., 1992. – С. 153-155.

31. Холодовский С.Е. О фильтрации в пластах с кольцевыми неоднородными анизотропными зонами, трещинами и завесами / С.Е. Холодовский // Докл. АН СССР. – 1991. – Т. 317. – № 3. – С. 606-608.

32. Холодовский С.Е. О фильтрации в слоистых средах с пересекающимися трещинами и завесами /С.Е. Холодовский // Докл. РАН. – 1994. – Т. 338. – № 5. – С.622-624.
33. Холодовский С.Е. О фильтрационных течениях с экранированным шаровым включением /С.Е. Холодовский // Изв. РАН. МЖГ. – 2002. – № 4. – С.98-104.
34. Холодовский С.Е. Об анизотропной модели слоисто – анизотропных трещиноватых сред при линейной фильтрации /С.Е. Холодовский // Вычислительная математика и математическая физика. Моск. гос. пед. ин-т. – М., 1988. – С.14-17.
35. Холодовский С.Е. Тензор эффективной проницаемости сильно неоднородных грунтов /С.Е. Холодовский // Инженерно – физический журнал БАН и РАН. – 1992. – Т.63. – № 1. – С.18-22.
36. Marcys H., Evenson D.E. Directional permeability in anisotropy porous media /H. Marcys, D.E. Evenson // Univ. Calif. Bercely. WaterResourcesCentercontrib. 1961, 31. oct, p. 105.
37. Litwiniszin J. Stationary flows in heterogeneously anisotropic mediums/J. Litwiniszin //Ann. Polon. Math. 1950. 22. 185p
38. Нумеров С.Н. К вопросу о нелинейной фильтрации газа в анизотропной среде / С.Н. Нумеров // Изв. ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева. – Л., 1974. – Т.104. – С.292-293.
39. Numerov S.N. Non-linear seepage in anisotropy media/ S.N. Numerov // Proceedings 15 congress IANR. 1973. Vol.3. p.39.
40. Олийник А.П., Математическое моделирование нестационарной фильтрации с целью оценки физико-механических свойств грунтов в зоне трубопровода /А.П. Олийник, М.В.Панчук // Сборник материалов XI Межвузовской школысеминара «Методы и средства технической диагностики», Ивано-Франковск. 1992. С.137–140

41. Олійник А.П. Математичне моделювання процесів забруднення ґрунтів як результату технологічних процесів /А.П. Олійник, А.А. Мороз // Восточно европейский журнал передовых технологий. 2015. №1/4 (73).

42. Олійник А.П.Обернена задача дифузії при моделюванні поширення шкідливих речовин на об'єктах нафтогазового комплексу/А.П. Олійник, А.А. Мороз // Вестник ХНТУ. 2015. № 3(54). С. 422–427

43. Киселев С.К. Гидродинамическая модель фильтрации при очистке подземных вод от солей/С.К. Киселев, А.П. Олійник// Прикладна гідромеханіка. 1999. Том 1 (73), N1/ С/20-25/

44. Олійник А. П., Штаєр Л.О., Клапоуцак О.І. Математичне моделювання фільтраційних процесів в задачах оцінки рівня та якості ґрунтових вод. /А.П. Олійник, Л.О. Штаєр, О.І. Клапоуцак // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2013. №1/4 (61). С. 15–18.

45. Лаврик В.И. О двух краевых задачах неустановившейся конвективной диффузии в случае фильтрации грунтовых вод со свободной поверхности/В.И. Лаврик // Укр.мат.журн., 1976, 28, №5, с.677-681.

46. Лаврик В.И. Аналитическое и численно-аналитическое решение двумерных краевых задач конвективной диффузии растворимых веществ при фильтрации подземных вод: Препринт 78.24. /В.И. Лаврик, А.Ф. Малютин // – К.: Ин-т математика АН УССР, 1978. – 56 с.

47. Лаврик В.И. О приближенном решении краевых задач конвективной диффузии растворимых в фильтрационном потоке веществ. – Укр. мат.журн., 1979, 31, №4, с.437-441.

48. Лаврик В.І. Теоретичні дослідження процесів забруднення і засолення підземних вод/В.І. Лаврик// Вісник АН УРСР, 1979, №2, с.63-70.

49. Лаврик В. И. Вопросы математического моделирования процессов самоочищения подземных и поверхностных вод /В.И. Лаврик, Н. А. Никифорович // Гидромеханика. 1994. Вып. 68. С. 36–40

50. Лаврик В. И. Решение задачи массопереноса водорастворимых веществ в случае зависимости коэффициентов конвективной диффузии от скорости фильтрации /В.И. Лаврик // Препринт 81.18. Киев. 1981. С. 3–24.
51. Лаврик В.И. О решении краевых задач конвективной диффузии растворимых веществ, когда скорость фильтрации осредняется по одной из криволинейных координат/В.И. Лаврик // В кн.: Теория и расчеты фильтрации. К.: Наук. думка, 1981, с.83-86.
52. Лаврик В. И. Математическое моделирование в гидроэкологических исследованиях./В.И. Лаврик, Н. А. Никифорович // Киев. 1998. С. 287
53. Румынин В.Г. Геомиграционные модели в гидрогеологии.: [Электрон. ресурс] – Режим доступа: http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1780529#147
54. Simunek J., Kohne J. M., Kodesova R. and Sejna M. Simulating Nonequilibrium Movement of Water, Solutes and Particles Using HYDRUS – A Review of Recent Applications/ J. Simunek, J. M. Kohne, R. Kodesova, M. Sejna // Soil & Water Res. 2008. V. 3. Pp. 42-51.
55. Музалевский А. А., Комплексная оценка (гео)экологической обстановки в крупных городах и промышленных зонах / А. А Музалевский, Е. А. Яйли// Ученые записки №3: Научно-теоретический журнал, Санкт-Петербург.- РГГМУ, 2006. – С. 104–114.
56. Пляцук Л. Д. Моніторинг підземних вод в районі розміщення Сумської ТЕЦ /Л. Д. Пляцук, Г. М. М'якаєва, О. В. М'якаєв //Екологічна безпека.: Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу. 2016. №2 (22). С. 29–34.
57. Пляцук Л.Д. Математичне моделювання фільтрації забруднюючих речовин в місцях розташування золошлаконакопичувачів теплоелектростанцій /Л. Д. Пляцук, Г. М. М'якаєва, О. В. М'якаєв //Sciences Of Europe. 2018. № 26. С. 28–33.

58. Пляцук Л.Д. Зниження впливу золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ на гідросферу /Л. Д. Пляцук, Г. М. М'якаєва, О. В. М'якаєв // Вісник НТУ «ХП»: Нові рішення в сучасних технологіях. 2018. № 9 (1285). С. 230–235.

59. Котовенко О. А. Ймовірно автоматне моделювання в дослідженнях міграційних процесів у ґрунтах / О. А. Котовенко, О.Ю. Мірошніченко, Ю. О. Березницька, Ю.В. Шосталь // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014 №4/10(70). С. 37-43.

60. Яцишин А. В. Аналіз сучасних математичних засобів оцінки впливу місць зберігання золошлакових відходів теплоенергетики на екологічний стан прилеглих територій /А. В. Яцишин , О. О. Попов, В. О. Артемчук , В. О. Ковач, І. П. Каменева // Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека». 2019. № 6(2). С. 24-29.

61. Ковальчук О.П. Моніторинг вмісту важких металів у ґрунтах територій, прилеглих до Добротвірської ТЕЦ. /О.П. Ковальчук, В.В. Снітинський, Р.С. Шкумбатюк //Науковий вісник НЛТУ України. 2017. т. 27. № 4. С. 87–90.

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

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

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

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

66. Запорожець Ю. А. Вплив процесу фільтрації на якість ґрунтових вод / Ю. А. Запорожець // 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.

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

68. Бойко Т. В., Застосування штучних нейронних мереж для прогнозування міграції забруднюючих речовин в природних дисперсних середовищах / Т. В. Бойко, Ю. А. Запорожец // 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.

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

70. Абрамов, И.Б. Оценка воздействия на подземные воды промышленно-городских агломераций /И.Б. Абрамов - Харьков, 2007. - 285с.

71. Владимиров В.А. Радиационная и химическая безопасность населения / В.А.Владимиров,В.И.Измалков, А.В. Измалков. Монография; МЧС России.-М.: Деловойэкспресс, 2005.-544с.

72. Середина В.П. Загрязнение почв: [Учебное пособие] / В.П. Середина.Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 346 с.

73. Добровольский В. В. География почв с основами почвоведения / Добровольский В. В. - М. : Просвещение, 1989.

74. Тихоненко Д.Г. Грунтознавство/ Д.Г. Тихоненко. – К.: Вищаосвіта, 2005.- 703с
75. Лобова Е. В. Почвы. /Е. В. Лобова, А. В.Хабаров.- М.: Мысль, 1983.- 350с.
76. Качинский Н.А. Физикапочвы. /Н.А. Качинский.- М.: «Высшая школа», 1979. - 357с.
77. Шеин Е.В. Курс физикипочв. / Е.В. Шеин.М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. - 432 с.
78. Глобус А.М. Экспериментальнаягидрофизикапочв. /А.М. Глобус. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 356 с.
79. Воронин А.Д. Основыфизикипочв: Учебпособие. /А.Д. Воронин. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 244 с.
80. Лаврик В. І. Методи математичного моделювання в екології. /В. І. Лаврик. -Київ. 2002. С. 204.
81. Лейбензон, Л.С. Движениеприродныхжидкостей и газов в пористойсреде / Л.С. Лейбензон – М.-Л.: Гостехиздат, 1947. – 244 с
82. Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. / А.А.Самарский – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с
83. Добровольский Г. В., Урусевская В. С. География почв /Г. В. Добровольский, В. С. Урусевская.- М. : Изд-во Моск. ун-та, 1984.
84. Добровольский Г. В. Экологические функции почвы. /Г.В. Добровольский, Е. В. Никитин.- М. : МГУ, 1986.
85. Ковда В. А. Основыучения о почвах. /Ковда В. А. -Книга 1, Книга 2. - М., Наука, 1973.
86. Аравин В.И. К вопросу о фильтрации в анизотропно-водопроницаемых грунтах /В.И. Аравин // Тр. Ленинградского индустриального ин-та. – 1937. – вып.2. – № 9. –С. 3-12.
87. Аравин В.И. Расчет плоской фильтрации в грунтах с криволинейной анизотропией /В.И. Аравин // Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 1974. Т.104. – С.3-9.

88. Аравин В.И. Фильтрация в анизотропно-водопроницаемом грунте /В.И. Аравин // Тр. Ленинградского индустриального ин-та. – 1940. – вып.1. – № 1. – С.3-14.
89. Аравин В.И. Натурные исследования фильтрации. / В.И.Аравин, О.И. Носова.– Л.: Энергия, 1969. – 256 с.
90. Аравин В.И. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / В.И.Аравин, С.Н. Нумеров. – М.: Гостехиздат, 1953. – 616 с.
91. Толпаев В.А. Обобщение фильтрационных теорем об окружности и прямой для анизотропных сред /В.А. Толпаев // Изв. СКНЦ ВШ. Естеств. науки. –1984. – №3. – С.32-35.
92. Козлов В.С. К вопросу о расчете движения воды под гидротехническими сооружениями в анизотропно-водопроницаемых грунтах /В.С. Козлов // Изв. АН СССР, ОТН. – 1940. – №3. – С. 59-79.
93. Полубаринова-Кочина П.Я. О фильтрации в анизотропном грунте // ПММ. – 1940. – Т.4. – вып.2. – С.101-104.
94. Качанов М.Л. Об анизотропии фильтрационных свойств трещиноватой среды /М.Л. Качанов// Изв. АН СССР. МЖГ. – 1975. – № 4. – С.171-173.
95. Ромм Е.С. Структурные модели порового пространства горных пород /Е.С. Ромм.– Л.: Недра, 1985. – 240 с.
96. Ромм Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород /Е.С.Ромм. – М.: Недра, 1966. – 238 с.
97. Толпаев В.А. Исследование плоскопараллельного течения жидкости от источника в упруго – деформируемых анизотропных средах /В.А. Толпаев // Сб. научн. тр. МОИП «Новые вопросы гидродинамики». – М.: Наука, 1974. – С.78-82.
98. Бэр Я. Физико-математические основы фильтрации воды / Я.Бэр, Д.Заславски, С.Ирмей. – М.: Мир, 1971. – 452 с.

99. Zijl W. Modelling permeability in imperfectly layered porous media /W.Zijl, J.M. Stam // Math. Geol. 1992. V.24. № 8. С.865-883.

100. Голубева О.В. Уравнения двумерных движений идеальной жидкости по криволинейной поверхности и их применение в теории фильтрации /О.В. Голубева // ПММ. – 1950. – т. 14. – вып. 3. – С. 287-294.

101. Быстров К.Н. Построение течений с точечными особенностями в искривленных слоях переменной толщины /К.Н. Быстров // Изв. АН СССР. МЖГ. – 1968. – № 1. – С.169-175.

102. Гладышев Ю.А. О методе перехода при решении задач фильтрации в пластах с переменными по простиранию мощностью и проницаемостью /Ю.А. Гладышев // Гидромеханика. – М.: МОПИ им. Н.К.Крупской, 1974. – вып. 3. – С.217-221.

103. Гладышев Ю.А. Об одном обобщении теоремы об окружности и ее приложении в теории фильтрации /Ю.А. Гладышев// Избранные задачи гидродинамики. МОИП. – М.: Наука, 1977. – С.40-43.

104. Гладышев Ю.А. Построение потенциальных стационарных течений идеальной жидкости в искривлённом слое переменной толщины методом перехода /Ю.А. Гладышев // Тр. МОПИ им. Н.К. Крупской. – 1964. – Т. 142. – вып. 5. – С.39-48.

105. Хмельник М.И. Исследование некоторых течений в двусвязной области и их применение в теории фильтрации /М.И. Хмельник // Тр. ун-та / МОПИ им. Н.К.Крупской. – 1968. – Т.200. – вып.7. – С.100-113.

106. Хмельник М.И. Математическая модель течения на многосвязных и многолистных поверхностях /М.И. Хмельник // Некоторые проблемы математики в задачах физики и механики. – М.: Изд-во МФТИ, 1988. –С. 95-100.

107. Пивень В.Ф. К теории осесимметричных обобщенных аналитических функций в динамических процессах /В.Ф. Пивень // Докл. АН СССР. – 1990. – Т.313. – №6. – С.1424-1426.

108. Пивень В.Ф. О теории двумерных процессов в слоях переменной проводимости, характеризуемых степенью гармонической функции/В.Ф. Пивень // ДАН. – 1995. – Т.344. – №5. – С. 327-629.

109. Использование явных схем для моделирования процесса двухфазной фильтрации [Электрон. ресурс] / Д.Н. Морозов, М.А. Трапезникова, Б.Н. Четверушкин, Н.Г. Чурбанова. – Режим доступа:<http://lib.znate.ru/docs/index-36168.html>

110. Физическое и математическое моделирование процессов защиты зоны аэрации от загрязнения [Электрон. ресурс] / Н.Н. Беляев, И.В. Калашников. – Режим доступа:<https://cyberleninka.ru/article/n/fizicheskoe-i-matematicheskoe-modelirovanie-protsessov-zaschity-zony-aeratsii-ot-zagryazneniya>

111. Математические модели водного и солевого режимов почв с фрактальной структурой [Электрон. ресурс] / С.Ю. Беданоква. – Режим доступа:https://mkgtu.ru/docs/KONF_SEM/bedanokova.pdf

112. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель /С.Ф. Аверьянов – М.: Колос, 1978. – 288 с.

113. Нахушев А.М. О некоторых способах линеаризации уравнений движения грунтовых вод и почвенной влаги /А.М. Нахушев. - В.меж.сб. Краевые задачи для уравнений смешанного типа и родственные проблемы функционального анализа и прикладной математики. Вып. 2. Нальчик: КБГУ, 198 С.

114. Сербина Л.И. Об одной математической модели переноса субстанции во фрактальных средах /Л.И. Сербина // Математическое моделирование. 2003. Т. 15. №9. С. 17–28.

115. Нерпин С.В. Энерго и массообмен в системе растениепочва-воздух / С.В. Нерпин, А.Ф.Чудковский.- Л.: Гидрометиздат, 1975. – 358 с.

116. Полубаринова-Кочина П.Я. Математические методы в вопросах орошения /П.Я. Полубаринова-Кочина, В.Т.Пряженская, В.Н.Эмих. - М.: Наука, 1969.

117. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод /П.Я. Полубаринова-Кочина. - М.: Наука, 1977.

118. Веригин Н.Н. К расчету промывания засоленных почв при действии дренажа /Н.Н.Веригин, Б.С.Шержуков, Г.П. Шапинская // Тр. коорд. совещ. по гидротехн.35. 1967. С.27-36.

119. Федотов Г.Н. Фрактальные коллоидные структуры в почвах различной зональности /Г.Н.Федотов, Ю.Д.Третьяков,В.К. Иванов,А.И. Куклин,Е.И. Пахомов, А.Х.Исламов, Т.Н. Початкова // ДАН. 2005. Т. 405. №3. С. 351-354.

120. Федотов Г.Н. Влияние влажности на фрактальные свойства почвенных коллоидов /Г.Н.Федотов, Ю.Д.Третьяков,В.К. Иванов,А.И. Куклин,Е.И. Пахомов, А.Х.Исламов, Т.Н. Початкова // ДАН. 2006. Т. 409. №2. С. 199-201.

121. Рутковский А.Л. Разработка и исследование математической модели процесса фильтрации в производстве цинка /А.Л.Рутковский, Д.Н. Дюнова // Известия вузов. Цветная металлургия. 2014 № 6 с. 62-66

122. Олійник А.П. Комплексна математична модель забруднення ґрунтів в наслідок реалізації технологічних процесів в нафтогазовій промисловості /А.П. Олійник, А.А. Мороз //Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. №1. С. 27-32.

123. Истомин А.Д. Математическое моделирование миграции радионуклидов в поверхностном слое грунта /А.Д.Истомин, С.А.Кораблева, М.Д. Носков. // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 3. С. 74-78.

124. Петрушка І.М. Інтесифікація сорбції цезію комплексними природними сорбентами з рідких радіоактивних середовищ /І.М.Петрушка, Ю.Й.Ятчишин, К.І.Петрушка // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2014. 5/10(71). С. 47–50.

125. Кундас С. П., Гишкелюк И. А. Перспективы применения методов компьютерного моделирования для анализа и прогнозирования миграции

радионуклидов в окружающей среде. Чернобыль 20 лет спустя: Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов. / С.П. Кундас, И. А.Гишкелюк // материалы Международной конференции, Минск, 19–21 апр. 2006. С. 82–87.

126. Radionuclide transport and dose calculations for zapadnoe uranium mill tailings test case using normalysa tool [Электрон. ресурс] /D. Koliabina, D. Grygorenko, D. A. Bugai, R. Avila. – Режимдоступу:https://www.researchgate.net/publication/290448866_Radionuclide_transport_and_dose_calculations_for_Zapadnoe_uranium_mill_tailings_test_case_using_NORMALYSA_tool

127. The Infiltration Soil Water Relationship at a Point in Watershed Modeling [Электрон. ресурс] / P. H. G'a. Bloomfield, D. H. Pilgrim K. K. Watson – Режимдоступу:https://www.researchgate.net/publication/251423835_The_Infiltration_Soil_Water_Relationship_at_a_Point_in_Watershed_Modeling

128. VadoseZoneInfiltrationSystems [Электрон. ресурс] /R. G. Maliva. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/332948651_Vadose_Zone_Infiltration_Systems

129. Бариева Э.Р., Королев Э.А., Галимуллина Н.Х. Оценка экологической опасности золошлаковых отходов Казанской ТЭЦ-2. Известия высших учебных заведений /Э.Р.Бариева, Э.А.Королев, Н.Х. Галимуллина // Проблемы энергетики. 2008. № 5–6. С. 108-111.

130. Ермаков А.А. Мониторинг содержания тяжелых металлов и элементов в снеговом покрове почвы сельскохозяйственного назначения Московской области /А.А.Ермаков, Е.А. Карпова, А.Г. Малышева, Р.И.Михайлова, И.Н.Рыжова // Гигиена и санитария. 2015. №5. С. 31–36.

131. Чобан А.Ф. Оцінка впливу стічних вод ТЕС на природні водні об'єкти /А.Ф.Чобан, С.Я. Чобан //Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. 2008. №4. С. 52–58.

132. Khairullin A.A. Application of the ideal soil model and tube hydraulics to study filtration processes /A.A. Khairullin // IOP Conf. Series: Earth and Environmental 2018. -Science. 194 062011.

133. Ravshanov N. Mathematical modeling of the process of water-saline transport in soils /N.Ravshanov, I. Khurramov, S.M. Aminov // Journal of Physics: Conf. 2019. - Series 1210 012118

134. Vlasyuk A. P. Mathematical Simulation of the Transport of Salt in the Case of Filtration and Moisture Transfer in Saturated-Unsaturated Soils in a Moistening Regime /A. P.Vlasyuk, T. P. Tsvetkova //Journal of Engineering Physics and Thermophysics. Springer US, New York. Vol. 88. Issue 5. 2015. Pp. 1062-1073.

135. Szymański K. Modelowanie parametrów migracji zanieczyszczeń chemicznych w podłożu gruntowym składów odpadów komunalnych /K.Szymański // Rocznik Ochrona Środowiska, 2017. - Vol. 19, 651-667

136. Mustafayev Z. S. Mathematical modeling of salt leaching of saline soils /Z. S.Mustafayev, A. T. Kozykeeva, K. B. Abdeshev // World Applied Sciences Journal, 2013. - Vol. 27 (2), 191-200

137. Bohaienko, V. A. Computer simulation based on non-local model of the dynamics of convective diffusion of soluble substances in the underground filtration flow under mass exchange conditions /Bohaienko, V. A., Bulavatsky, V. M. // Journal of Automation and Information Sciences. 2019. -Vol. 51 (5), 16-29

138. Kryshchtopa S. Improvement of the model of forecasting heavy metals of exhaust gases of motor vehicles in the soil /S. Kryshchtopa // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2019.-Vol, 4/10 (100), 44-51

139. Лаврик, В. И. Решение задачи массопереноса водорастворимых веществ в случае зависимости коэффициентов конвективной диффузии от скорости фильтрации / В. И. Лаврик // Препринт 81.18. — К.: Ин-т Математики АН УССР, 1981. — С. 3–24.

140. Шестаков, В. М. Гидрогеодинамика / Шестаков, В.М.М.: МГУ, 1995.

141. Методи геоecологічних досліджень (1999) / М.Д.Гродзинського та П.Г.Шищенка. ВЦ «Київський університет», Київ, Україна.

142. Дырда, В. Устойчивое развитие и проблемы глобальной безопасности /Дырда В., Осипенко В.// Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1995. — № 12. — С. 3—22

143. Про охорону навколишнього природного середовища: за станом на 25 червня 1991р. – Право України, 1992. – №1. – С. 78.

144. Рахманин Ю. А. Экология человека: современные проблемы и пути их решения / Ю. А. Рахманин // Устойчивое развитие. Наука и Практика. – 2003. – № 3/03. – С.117 – 126.

145. Кузнецов О. Л. Устойчивое развитие: научные основы проектирования в системе природа-общество человек / О. Л. Кузнецов, Б. Е. Большаков. – Гуманистика, 2001. – 615 с.

146. Владимиров В. А. Управление риском / В. А. Владимиров, Ю. Л. Воробьев, С. С. Салов и др. – Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. – М., 2000. – 431 с.

147. Урсул А. Д. Обеспечение безопасности через устойчивое развитие / А.Д. Урсул // Безопасность Евразии. – 2001. – № 1. С. 133–155.

148. Муравых А. И. Управление экологической безопасностью: [Учебное пособие] / А. И. Муравых // М.: РАГС, 2006. – 288 с.

149. Улицкий В. М. Оценка риска и обеспечение безопасности в строительстве [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.georec.spb.ru/journals/05/26/26.htm>

150. Швыряев А.А., Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: [Учебное пособие для вузов] / А. А. Швыряев, В.В. Меньшиков– М.: Изд-во МГУ, 2004. – 124с.

151. Хаустов А. П. Проблемы оценок и управления экологическими рисками на предприятиях ТЭК [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.ruscable.ru/company/education/education/mieen/Statyi_i_doklady/poblemy_otsenok_i_upravleniya_ekologich

152. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов, В.А. Пучков, В.И. Томаков, М.И.

Фалеев М.И. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 – 368 с.

153. Управление риском: Устойчивое развитие. Синергетика. – Серия «Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения»– М.: Наука, 2000. – 431 с.

154. Пирожков С.І. Концепція ризику та екологічна безпека / С.І. Пирожков // Довкілля та здоров'я. – 1996. – № 1. – С. 12–15.

155. Дзекцер Е. Геологическая опасность и риск (методологическое исследование) / Е. Дзекцер // Инженерная геология. – 1992. – № 6. – С. 3–10.

156. Фалько В.В. Основные направления в проблеме оценки экологического риска / В.В. Фалько // Вісник Сумського державного університету. 2007. – № 1. – С. 101–112.

157. Алымов В.Т. Техногенный риск: Анализ и оценка / В.Т. Алымов, Н.П. Тарасова. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 118 с.

158. Ветошкин А.Г. Техногенный риск и безопасность / А.Г. Ветошкин, К.Р. Таранцева. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 192 с.

159. Соколов В.А. Визначення ризику планової діяльності для природного середовища в системі ОБНС / В.А. Соколов, І.Б. Абрамов, Т.В. Бойко, А. О. Іщишина // Збірник наукових статей за матеріалами II-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю (Екологія/ecology-2009). – Вінниця, 23–26 вересня 2009 року. – Вінниця: ФОП Данилюк. – 2009. – С. 48–51.

160. Яцик А.В. Методика розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України, видання друге перероблене і доповнене / А.В. Яцик, Л.Б. Бишовець, О.М. Петрук та ін. - К.: 2007. - 60 с.

161. Яцик А.В. Методичне керівництво по розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України / А.В. Яцик, О.М. Петрук, О.П. Канаш та ін. - К.: УНДІВЕР, 1992. - 40 с.

162. Романенко В.Д. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський,

О.П. Оксіюк А.В. Яцик та ін. - К.: Символ-Т, 1998. - 28 с.

163. Яцик А.В. Досвід використання «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» (пояснення, застереження, приклади) / А.В. Яцик, В.М. Жукинський, А.П. Чернявська, І.С. Єзловецька. - К.: Оріяни, 2006. - 60 с.

164. Методика картографування екологічного стану поверхневих вод України за якістю води. - К.: Символ-Т, 1998. - 48 с.

165. Статюха Г. А. Алгоритм количественного анализа загрязнения почвы при проведении ОВОС / Г. А. Статюха, Т. В. Бойко, А. А. Ищишина // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2009. – №2. – С.107–111.

166. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами: утв. МОЗ СССР от 13.04.87 . – № 4266-87, М., 1989. – 25 с.

167. Клімова Н. Деякі питання методики оцінки стану забруднення ґрунтів унаслідок нафтогазовидобутку / Н. Клімова // Вісник Львів. ун-ту. – 2006. Вип. 33. – С. 144–151.

168. Храменков М.Г. Элементы физико-химической механики природных пористых сред / М.Г. Храменков. - Казань: Издательство Казанского математического общества, 2003. – 178 с.

169. Брановицька С.В. Обчислювальна математика в хімії і хімічній технології / С.В. Брановицька, Р.Б. Медведєв, Ю.Я. Фіалков. - Київ, Політехніка, 2004. - підручник для студентів хіміко-технологічних спеціальностей ВНЗ України.

170. Гарнаев, А. WEB-программирование на Java и JavaScript / А. Гарнаев, С. Гарнаев. - Москва: СПб.: Питер, 2017. – 718 с.

171. Савитч, У. Язык Java. Курс программирования / У. Савитч. - М.: Вильямс, 2015. - 928 с.

172. Алымов В.Т. Техногенный риск: Анализ и оценка / В.Т. Алымов, Н.П. Тарасова. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 118 с.

173. Environmental Indices: Systems Analysis Approach., (1999), *Hardcover March Vol. 1*, 655

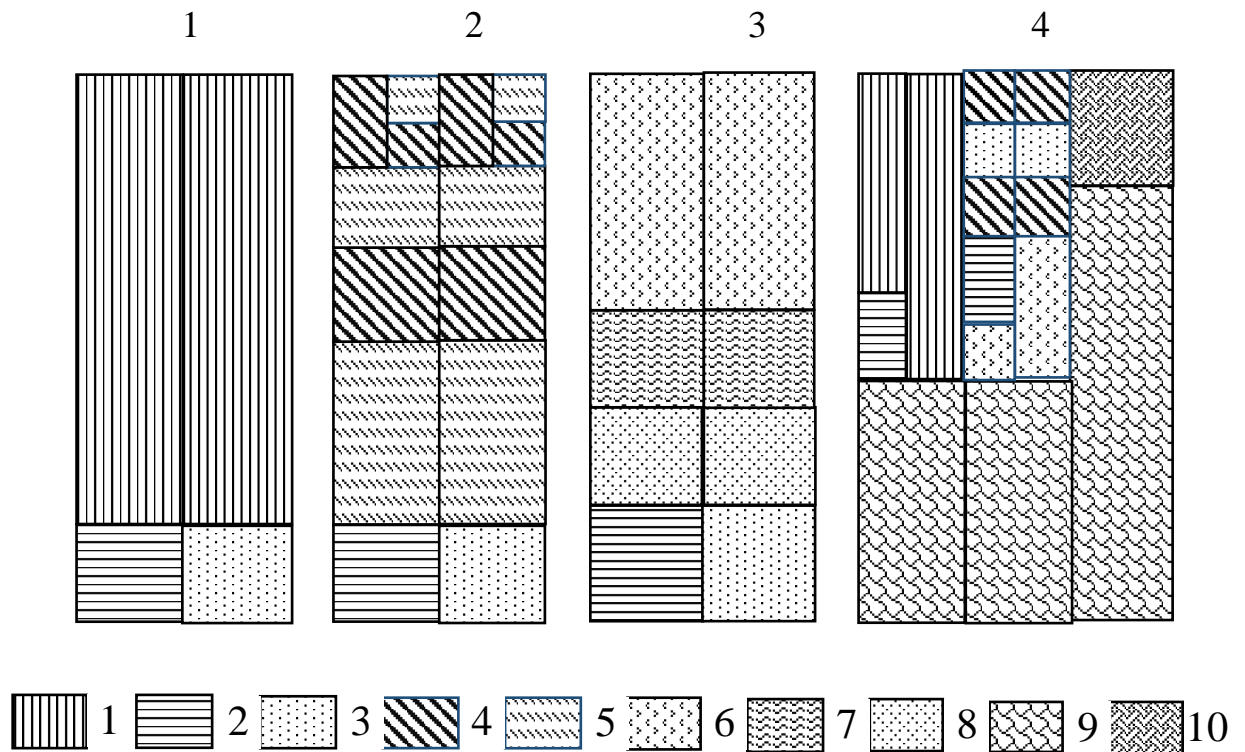
174. Звіт про науково-технічну продукцію «Розробка додатку з оцінки ризику планової діяльності на навколишнє природне середовище до ДБНА2.2.1- 2003 "Склад і зміст матеріали оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд» договору № 66 від 01.07. 2008, (№ держреєстрації 0108U007522). – 109 с.

175. Геология СССР. Том V (Украина и Молдавия). Москва. Гос. Изд-во литературы по геологии. 1958 г.

176. Инженерная геология СССР. Том I. (Русская платформа). Москва. Изд-во МГУ, 1978 г.

177. Шестаков В.М. Динамика подземных вод /В.М.Шестаков.– М.: Изд-во МГУ, 1978. – 327 с.

Додаток А
Основні типи схем геофільтраційної будови зони активного водообміну



1- еолово-делювіальні ґрунти лісового комплексу; 2-континентальні червоно-бурі пліоцен-нижньочетвертичні глини та/або зелено-сірі морські глини неогенного віку; 3-пісчано-глиністі відкладення річних та морських терас; 4-алювіальні суглинки та глини; 5-алювіальні піски; сучасні морські відкладення: 6- піски; 7- мули; 8-глини; 9- трещеноваті породи (граніти, сланці, вапняки, крейди, мергелі, пісковики та інші); 10-елювій, делювій, пролювій скальних та полускальних пород.

Існують такі області розвитку ґрунтів:

1. область розвитку еолово-делювіальних ґрунтів лісового комплексу, об'єднаний в тип I геофільтраційної будови, який охоплює території промислово-міських агломерацій розміщених на півдні України і східної

частини, де поширені первинно-аккумулятивна рівнина і морська верхньопліоценова тераса;

2. область розвитку ґрунтів алювіальних відкладень річкових терас, об'єднаний в тип II геофільтраційної будови, охоплює площі поширення тераси річкових долин;

3. область розвитку сучасних морських відкладень, об'єднаний в тип III геофільтраційної будови, що охоплює площі (місця, що прилягають) узбережжя Чорного і Азовського морів;

4 область розвитку тріщинуватих скельних і напівскельних порід, об'єднаний в тип IV геофільтраційної будови, об'єднує території горно-складчастого району Карпат і Криму, район Донбасу, Українського кристалічного масиву і Дніпровсько-Донецької западини.

Додатку Б

Класичний метод опису процесу масоперенесення розчинних речовин при фільтрації водяного потоку

Класичний метод опису процесу масоперенесення розчинних речовин при фільтрації водяного потоку представляється наступною системою диференціальних рівнянь в частинних похідних[189]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla v = 0, \quad v = \nabla \varphi, \quad \varphi = -\chi h \quad (\text{Б.1}) \\ u = -D\nabla c + cv, \quad \nabla u + \sigma \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial t} = 0 \quad (\text{Б.2}) \\ \frac{\partial N}{\partial t} = a(\sigma c - \beta N) \quad (\text{Б.3}) \end{array} \right.$$

де $v(v_x, v_z, v_y)$ –вектор швидкості фільтрації, м/доб; $\varphi(x, y, z, t)$ –потенціал швидкості фільтрації, м/доб; χ – коефіцієнт фільтрації, б/р; h –напір, м; $u(u_x, u_z, u_y)$ –дифузійний потік або вектор масової швидкості розчиненої речовини (вектор кількості речовини, що переноситься через одиницю площі за одиницю часу, м²/доб; $c(x, y, z, t)$ і $N(x, y, z, t)$ –концентрації речовини відповідно в рідкій і твердій фазах, г/л або кг/м³; $D(x, y, z, t)$ –коефіцієнт конвективної дифузії, м²/доб; ∇ – оператор Гамільтона; σ –активна (або ефективна) пористість середовища, б/р; α – константа масообміну.

$$N = \Gamma C_p = \frac{1}{\beta} C_p; \quad \Gamma = \frac{1}{\beta} \quad (\text{Б.4})$$

де Γ – коефіцієнт Генрі; β – коефіцієнт розподілу речовини між рідкою й твердою фазами в умовах рівноваги за законом лінійної ізотерми Генрі.

Для отримання замкнених рішень рівнянь масового і фільтраційного балансів необхідна математичне формулювання крайових умов.

Для рішення задач масоперенесення в якості початкових умов використовують однорідне розповсюдження концентрації на всій площині[190]:

$$c(x, y, z, t) = c_0(x, y, z, 0) \quad (\text{Б.9})$$

В якості граничних умов можна використовувати:

- граничні умови першого роду – умови Дирихле:

$$c = c_0(x, y, z, 0) \quad (\text{Б.10})$$

де $c_0(x, y, z, 0)$ – задана функція концентрації в межах області, зокрема $C0=const$;

- граничні умови другого роду – умови Ньюмана:

$$D \frac{\partial c}{\partial x} n = q(x, y, z, t) \quad (\text{Б.11})$$

де n – компоненти одиничного вектора, $q(x, y, z, t)$ – заданий питомий дисперсний потік речовини (одним з прикладів це завдання нульового потоку $q=0$ на одній чи декількох границях області);

- граничні умови третього роду – умови Коші:

$$\left(D \frac{\partial c}{\partial x} - vc\right)n = q(x, y, z, t) \quad (\text{Б.12})$$

де $D \frac{\partial c}{\partial x}$ – рівність, що характеризує дисперсний потік на межі області.

Математична модель для розрахунку швидкості потоку

Побудова фільтраційної моделі для ділянки закачування промислових стоків проводиться з метою отримання поля швидкостей фільтрації, потрібних для вирішення завдання розповсюдження промислових стоків в водоносному горизонті.

Для вирішення геофільтраційної задачі за основу було взято метод просторово-часової суперпозиції аналітичних рішень для свердловин, що працюють в необмеженому ізольованому пласті [208]:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (\text{Б.13})$$

$$u = \frac{r^2}{4at} \quad (\text{Б.14})$$

де Q – дебіт закачування, м³/доб.;

S – підвищення натиску підземних вод, м;

T – провідність, м²/доб.;

a – п'єзопровідність, м²/сут.;

r – відстань від свердловини, м;

W – функція колодязя або інтегральна показова функція;

t – час, доб.

Швидкості фільтрації V визначаються як похідні по осі x і y :

$$V_x = \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{Qx}{2\pi m r^2} e^{-u} \quad (\text{Б.15})$$

$$V_y = \frac{\partial S}{\partial y} = \frac{Qy}{2\pi m r^2} e^{-u} \quad (\text{Б.16})$$

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (\text{Б.17})$$

Таким чином, можна визначити натиск і швидкість фільтрації у кожній точці. Для декількох свердловин (J) з постійними в часі витратами слід застосувати суперпозицію за площею у вигляді:

$$S = \sum_{j=1}^J \frac{Q_j}{4\pi T} W\left(\frac{r_j^2}{4aT}\right) \quad (\text{Б.18})$$

$$r_j^2 = (x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 \quad (\text{Б.19})$$

$$V_x = \sum_{j=1}^J \frac{Q_j (x - x_j)}{2\pi m r^2} e^{-\frac{r_j^2}{4at}} \quad (\text{Б.20})$$

$$V_y = \sum_{j=1}^J \frac{Q_j (y - y_j)}{2\pi m r^2} e^{-\frac{r_j^2}{4at}} \quad (\text{Б.21})$$

де m – потужність пласта, м;

x_j, y_j – координати нагнітальних свердловин.

Доповнення моделі (Б.13) – (Б.21) рівнянням (Б.22), допоможе прогнозувати розповсюдження домішок розчинених у воді:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{M}{\sum_{i=1}^n C_i \cdot t} \quad (\text{Б.22})$$

де V – об'єм рідини, м³;

M – маса рідини, кг;

C_i – концентрація домішок в рідині, г/л;

n – кількість домішок;

i –й компонент домішок.

Використання математичної моделі (Б.13)-(Б.22) дасть можливість отримати об'єктивне уявлення про процес розповсюдження забруднень в глибокозалягаючих горизонтах.

Додаток В

Результати розрахунків математичної модель процесу масоперенесення розчинних речовин в ґрунтовому шарі в процесі фільтрації стічних вод методом сіток

Таблиця В.1 - Результат розрахунку математичної моделі фільтраційного процесу, яка враховує традиційні рівняння кінетики представлені в роботі Олійника А.Я. [122]

	i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	t,y	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0	0,00	0,80	0,772	0,756	0,735	0,714	0,691	0,668	0,646	0,623	0,601	0,578
1	0,01	0,80	0,768	0,754	0,735	0,713	0,691	0,668	0,646	0,623	0,601	0,300
2	0,02	0,80	0,777	0,751	0,733	0,713	0,691	0,668	0,646	0,623	0,462	0,300
3	0,03	0,80	0,776	0,755	0,732	0,712	0,691	0,668	0,646	0,554	0,462	0,231
4	0,04	0,80	0,778	0,754	0,734	0,711	0,690	0,668	0,611	0,554	0,392	0,231
5	0,05	0,80	0,777	0,756	0,733	0,712	0,690	0,651	0,611	0,502	0,392	0,196
6	0,06	0,80	0,778	0,755	0,734	0,711	0,681	0,650	0,576	0,502	0,349	0,196
7	0,07	0,80	0,777	0,756	0,733	0,708	0,681	0,629	0,576	0,463	0,349	0,174
8	0,08	0,80	0,778	0,755	0,732	0,707	0,668	0,628	0,546	0,462	0,319	0,174
9	0,09	0,80	0,778	0,755	0,731	0,700	0,668	0,607	0,545	0,432	0,318	0,159
10	0,10	0,80	0,777	0,754	0,727	0,699	0,653	0,607	0,519	0,432	0,296	0,159
11	0,11	0,80	0,777	0,752	0,727	0,690	0,653	0,586	0,519	0,408	0,296	0,148
12	0,12	0,80	0,776	0,752	0,721	0,690	0,638	0,586	0,497	0,407	0,278	0,148
13	0,13	0,80	0,776	0,749	0,721	0,680	0,638	0,568	0,497	0,387	0,278	0,139
14	0,14	0,80	0,774	0,748	0,714	0,679	0,624	0,567	0,478	0,387	0,263	0,139
15	0,15	0,80	0,774	0,744	0,714	0,669	0,623	0,551	0,477	0,370	0,263	0,132
16	0,16	0,80	0,772	0,744	0,707	0,669	0,610	0,550	0,460	0,370	0,251	0,131
17	0,17	0,80	0,772	0,739	0,706	0,658	0,609	0,535	0,460	0,356	0,251	0,125
18	0,18	0,80	0,770	0,739	0,699	0,658	0,597	0,535	0,445	0,356	0,241	0,125
19	0,19	0,80	0,770	0,734	0,699	0,648	0,596	0,521	0,445	0,343	0,240	0,120
20	0,20	0,80	0,767	0,734	0,691	0,647	0,584	0,521	0,432	0,343	0,232	0,120

Таблиця В.2 - Результат розрахунку математичної моделі фільтраційного процесу, яка враховує особливості ґрунтового шару.

	i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	t,y	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0	0,00	0,80	0,792	0,776	0,755	0,734	0,711	0,688	0,666	0,643	0,621	0,598
1	0,01	0,80	0,788	0,774	0,755	0,733	0,711	0,688	0,666	0,643	0,621	0,310
2	0,02	0,80	0,787	0,771	0,753	0,733	0,711	0,688	0,666	0,643	0,477	0,310
3	0,03	0,80	0,786	0,770	0,752	0,732	0,711	0,688	0,666	0,571	0,477	0,238
4	0,04	0,80	0,785	0,769	0,751	0,731	0,710	0,688	0,630	0,571	0,405	0,238
5	0,05	0,80	0,784	0,768	0,750	0,731	0,710	0,670	0,630	0,517	0,405	0,202
6	0,06	0,80	0,784	0,767	0,749	0,730	0,700	0,670	0,594	0,517	0,360	0,202
7	0,07	0,80	0,784	0,767	0,749	0,725	0,700	0,647	0,594	0,477	0,360	0,180
8	0,08	0,80	0,783	0,766	0,746	0,724	0,686	0,647	0,562	0,477	0,328	0,180
9	0,09	0,80	0,783	0,765	0,745	0,716	0,685	0,624	0,562	0,445	0,328	0,164
10	0,10	0,80	0,782	0,764	0,740	0,715	0,670	0,624	0,535	0,445	0,305	0,164
11	0,11	0,80	0,782	0,761	0,740	0,705	0,669	0,602	0,534	0,420	0,305	0,152
12	0,12	0,80	0,781	0,761	0,733	0,705	0,654	0,602	0,511	0,419	0,286	0,152
13	0,13	0,80	0,780	0,757	0,733	0,693	0,653	0,582	0,511	0,398	0,286	0,143
14	0,14	0,80	0,778	0,757	0,725	0,693	0,638	0,582	0,490	0,398	0,271	0,143
15	0,15	0,80	0,778	0,752	0,725	0,681	0,637	0,564	0,490	0,381	0,271	0,135
16	0,16	0,80	0,776	0,752	0,717	0,681	0,623	0,564	0,472	0,380	0,258	0,135
17	0,17	0,80	0,776	0,746	0,716	0,670	0,622	0,548	0,472	0,365	0,258	0,129
18	0,18	0,80	0,773	0,746	0,708	0,669	0,609	0,547	0,456	0,365	0,247	0,129
19	0,19	0,80	0,773	0,741	0,708	0,658	0,608	0,532	0,456	0,352	0,247	0,124
20	0,20	0,80	0,770	0,740	0,699	0,658	0,595	0,532	0,442	0,352	0,238	0,123

Таблиця В.3 - Результат розрахунку математичної моделі фільтраційного процесу, яка не враховує особливості ґрунтового шару.

	i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	t,y	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0	0,00	0,80	0,799	0,796	0,775	0,754	0,731	0,708	0,686	0,663	0,641	0,618
1	0,01	0,80	0,798	0,794	0,775	0,753	0,731	0,708	0,686	0,663	0,641	0,320
2	0,02	0,80	0,797	0,791	0,773	0,753	0,731	0,708	0,686	0,663	0,492	0,320
3	0,03	0,80	0,796	0,785	0,772	0,752	0,731	0,708	0,686	0,589	0,492	0,246
4	0,04	0,80	0,793	0,784	0,769	0,751	0,730	0,708	0,649	0,589	0,417	0,246
5	0,05	0,80	0,792	0,781	0,768	0,749	0,730	0,689	0,649	0,533	0,417	0,209
6	0,06	0,80	0,790	0,780	0,765	0,749	0,719	0,689	0,611	0,533	0,371	0,209
7	0,07	0,80	0,790	0,778	0,764	0,742	0,719	0,665	0,611	0,491	0,371	0,185
8	0,08	0,80	0,789	0,777	0,760	0,742	0,704	0,665	0,578	0,491	0,338	0,185
9	0,09	0,80	0,789	0,774	0,759	0,732	0,703	0,641	0,578	0,458	0,338	0,169
10	0,10	0,80	0,787	0,774	0,753	0,731	0,686	0,641	0,550	0,458	0,314	0,169
11	0,11	0,80	0,787	0,770	0,753	0,720	0,686	0,618	0,549	0,432	0,314	0,157
12	0,12	0,80	0,785	0,770	0,745	0,719	0,669	0,618	0,525	0,431	0,294	0,157
13	0,13	0,80	0,785	0,765	0,745	0,707	0,668	0,597	0,525	0,409	0,294	0,147
14	0,14	0,80	0,783	0,765	0,736	0,706	0,652	0,596	0,503	0,409	0,278	0,147
15	0,15	0,80	0,782	0,759	0,736	0,694	0,651	0,578	0,503	0,391	0,278	0,139
16	0,16	0,80	0,780	0,759	0,727	0,694	0,636	0,577	0,484	0,391	0,265	0,139
17	0,17	0,80	0,779	0,753	0,726	0,681	0,635	0,560	0,484	0,375	0,265	0,132
18	0,18	0,80	0,777	0,753	0,717	0,681	0,621	0,560	0,467	0,374	0,254	0,132
19	0,19	0,80	0,776	0,747	0,717	0,669	0,620	0,544	0,467	0,360	0,253	0,127
20	0,20	0,80	0,773	0,747	0,708	0,669	0,606	0,544	0,452	0,360	0,244	0,127

Додаток Д

Реалізація розрахунку тестового прикладу

Аналіз забруднення ґрунтового шару промисловим підприємством:

Підприємство: Підприємство

Місто:

Речовина нітрат

Оцінка з врахуванням особливостей ґрунтового шару

Час фільтрації	Вісь фільтрації			Зміна концентрації речовини			Зміна швидкості фільтрації			Ризик впливу на ґрунти		
	<i>t</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>C_x</i>	<i>C_y</i>	<i>C_z</i>	<i>V_x</i>	<i>V_y</i>	<i>V_z</i>	<i>I</i>	<i>R</i>
0	0	0	0	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0,3417	3,95706E-07	Умовно-прийнятний
10	0,01	0,1	0,01	0,7994	0,781144	0,7994	-0,204	-0,2	-0,204	0,3409	3,93911E-07	Умовно-прийнятний
20	0,02	0,2	0,02	0,7982	0,7682	0,7982	-0,209	-0,201	-0,209	0,3395	3,90885E-07	Умовно-прийнятний
30	0,03	0,3	0,03	0,7961	0,7504	0,7961	-0,213	-0,201	-0,213	0,3381	3,87991E-07	Умовно-прийнятний
40	0,04	0,4	0,04	0,7948	0,7299	0,7948	-0,216	-0,202	-0,216	0,3368	3,85225E-07	Умовно-прийнятний
50	0,05	0,5	0,05	0,7931	0,6995	0,7931	-0,22	-0,202	-0,22	0,3356	3,82582E-07	Умовно-прийнятний
60	0,06	0,6	0,06	0,7916	0,6614	0,7916	-0,224	-0,202	-0,224	0,3344	3,80057E-07	Умовно-прийнятний
70	0,07	0,7	0,07	0,7902	0,5879	0,7902	-0,227	-0,203	-0,227	0,3332	3,77645E-07	Умовно-прийнятний
80	0,08	0,8	0,08	0,7879	0,4598	0,7879	-0,231	-0,203	-0,231	0,3321	3,75342E-07	Умовно-прийнятний
90	0,09	0,9	0,09	0,7851	0,3198	0,7851	-0,234	-0,203	-0,234	0,3310	3,73142E-07	Умовно-прийнятний
100	0,1	1	0,1	0,7824	0,1549	0,7824	-0,238	-0,204	-0,238	0,3300	3,71042E-07	Умовно-прийнятний

Додаток Е

Результати імітаційного експерименту для тріщинуватих скельних і напівскельних порід з наявністю еолово-делювіальних відкладень, зруйнованих скельних і напівскельних порід для випадку коли початкова концентрація забрудника перевищує ГДК в три рази

Таблиця Е.1 - Початкові концентрації

	1	2	3	4	5	6
0,0	30	30	30	30	30	30
0,1	29,174	22,72	28,11	27,16	25,37	27,16
0,2	28,349	20,04	26,75	25,94	23,44	25,95
0,3	27,524	17,66	25,49	24,75	21,63	24,75
0,4	26,699	15,52	24,29	23,58	19,93	23,58
0,5	25,874	13,63	23,14	22,44	18,35	22,44
0,6	25,049	11,95	22,04	21,33	16,87	21,34
0,7	24,225	10,46	20,99	20,25	15,5	20,26
0,8	23,400	9,145	19,99	19,21	14,22	19,22
0,9	22,575		19,03	18,21	13,04	18,22
1,0	21,750		18,11	17,25	11,94	17,25
1,1	20,925		17,24	16,32	10,93	16,33
1,2	20,100		16,4	15,43	9,998	15,44
1,3	19,275		15,61	14,58		14,59
1,4	18,450		14,85	13,76		13,77
1,5	17,626		14,12	12,99		13
1,6	16,801		13,43	12,24		12,26
1,7	15,976		12,77	11,54		11,55
1,8	15,151		12,14	10,87		10,88
1,9	14,326		11,54	10,23		10,24
2,0	13,501		10,97	9,626		9,639
2,1	12,676		10,43			
2,2	11,851		9,91			
2,3	11,026		9,416			
2,4	10,202					
2,5	9,377					

Таблиця Е.2 - Концентрації з врахуванням фонових

1	2	3	4	5	6
30	30	30	30	30	30
29,17	22,72	28,11	27,16	25,37	27,16
28,35	20,04	26,75	25,94	23,44	25,95
27,52	17,66	25,49	24,75	21,63	24,75
26,7	15,52	24,29	23,58	19,93	23,58
25,87	13,63	23,14	22,44	18,35	22,44
25,05	11,95	22,04	21,33	16,87	21,34
24,22	10,46	20,99	20,25	15,5	20,26
23,4	10	19,99	19,21	14,22	19,22
22,57	10	19,03	18,21	13,04	18,22
21,75	10	18,11	17,25	11,94	17,25
20,93	10	17,24	16,32	10,93	16,33
20,1	10	16,4	15,43	10	15,44
19,28	10	15,61	14,58	10	14,59
18,45	10	14,85	13,76	10	13,77
17,63	10	14,12	12,99	10	13
16,8	10	13,43	12,24	10	12,26
15,98	10	12,77	11,54	10	11,55
15,15	10	12,14	10,87	10	10,88
14,33	10	11,54	10,23	10	10,24
13,5	10	10,97	10	10	10
12,68	10	10,43	10	10	10
11,85	10	10	10	10	10
11,03	10	10	10	10	10
10,2	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10

Перерахунок концентрацій забруднення з врахуванням ефективності
очищення ґрунтів

Таблиця Е.3 - Нижній рівень

	1	2	3	4	5	6
	0,1	0	0,05	0,07	0,07	0,5
0	3,00	0,00	1,50	2,10	2,10	15,00
1	2,92	0,00	1,41	1,90	1,78	13,58
2	2,83	0,00	1,34	1,82	1,64	12,97
3	2,75	0,00	1,27	1,73	1,51	12,38
4	2,67	0,00	1,21	1,65	1,40	11,79
5	2,59	0,00	1,16	1,57	1,28	11,22
6	2,50	0,00	1,10	1,49	1,18	10,67
7	2,42	0,00	1,05	1,42	1,08	10,13
8	2,34	0,00	1,00	1,35	1,00	9,61
9	2,26	0,00	0,95	1,27	0,91	9,11
10	2,17	0,00	0,91	1,21	0,84	8,63
11	2,09	0,00	0,86	1,14	0,77	8,16
12	2,01	0,00	0,82	1,08	0,70	7,72
13	1,93	0,00	0,78	1,02	0,70	7,29
14	1,85	0,00	0,74	0,96	0,70	6,89
15	1,76	0,00	0,71	0,91	0,70	6,50
16	1,68	0,00	0,67	0,86	0,70	6,13
17	1,60	0,00	0,64	0,81	0,70	5,78
18	1,52	0,00	0,61	0,76	0,70	5,44
19	1,43	0,00	0,58	0,72	0,70	5,12
20	1,35	0,00	0,55	0,70	0,70	5,00
21	1,27	0,00	0,52	0,70	0,70	5,00
22	1,19	0,00	0,50	0,70	0,70	5,00
23	1,10	0,00	0,50	0,70	0,70	5,00
24	1,02	0,00	0,50	0,70	0,70	5,00
25	1,00	0,00	0,50	0,70	0,70	5,00

Таблиця Е.4 – Верхній рівень

1	2	3	4	5	6
0,2	0	0,1	0,13	0,15	0,6
6,00	0,00	3,00	3,90	4,50	18,00
5,83	0,00	2,81	3,53	3,81	16,30
5,67	0,00	2,67	3,37	3,52	15,57
5,50	0,00	2,55	3,22	3,24	14,85
5,34	0,00	2,43	3,07	2,99	14,15
5,17	0,00	2,31	2,92	2,75	13,47
5,01	0,00	2,20	2,77	2,53	12,80
4,84	0,00	2,10	2,63	2,32	12,16
4,68	0,00	2,00	2,50	2,13	11,53
4,51	0,00	1,90	2,37	1,96	10,93
4,35	0,00	1,81	2,24	1,79	10,35
4,19	0,00	1,72	2,12	1,64	9,80
4,02	0,00	1,64	2,01	1,50	9,26
3,86	0,00	1,56	1,89	1,50	8,75
3,69	0,00	1,48	1,79	1,50	8,26
3,53	0,00	1,41	1,69	1,50	7,80
3,36	0,00	1,34	1,59	1,50	7,35
3,20	0,00	1,28	1,50	1,50	6,93
3,03	0,00	1,21	1,41	1,50	6,53
2,87	0,00	1,15	1,33	1,50	6,15
2,70	0,00	1,10	1,30	1,50	6,00
2,54	0,00	1,04	1,30	1,50	6,00
2,37	0,00	1,00	1,30	1,50	6,00
2,21	0,00	1,00	1,30	1,50	6,00
2,04	0,00	1,00	1,30	1,50	6,00
2,00	0,00	1,00	1,30	1,50	6,00

Таблиця Е.5 - Ступень очищення

	нижня границя	верхня границя
0,1	0,310	0,4634
0,2	0,325	0,4854
0,3	0,341	0,5089
0,4	0,357	0,5341
0,5	0,376	0,5611
0,6	0,395	0,59
0,7	0,416	0,6209
0,8	0,438	0,654
0,9	0,461	0,6894
1	0,487	0,7272
1,1	0,514	0,7677
1,2	0,543	0,8111
1,3	0,569	0,8531
1,4	0,598	0,8979
1,5	0,628	0,9455
1,6	0,660	0,9963
1,7	0,694	1
1,8	0,731	1
1,9	0,769	1
2	0,794	1
2,1	0,808	1
2,2	0,822	1
2,3	0,833	1
2,4	0,845	1
2,5	0,847	1

глибина	ступень очистки	Градація прийнятності
0,1	0	Безумовно неприйнятний
0,2	0	Безумовно неприйнятний
0,3	0	Безумовно неприйнятний
0,4	0	Безумовно неприйнятний
0,5	0	Безумовно неприйнятний
0,6	0	Безумовно неприйнятний
0,7	0	Безумовно неприйнятний
0,8	0	Безумовно неприйнятний
0,9	0	Безумовно неприйнятний
1	0	Безумовно неприйнятний
1,1	0	Безумовно неприйнятний
1,2	0	Безумовно неприйнятний
1,3	0	Безумовно неприйнятний
1,4	0	Безумовно неприйнятний
1,5	0	Безумовно неприйнятний
1,6	0	Безумовно неприйнятний
1,7	0,0001	Безумовно неприйнятний
1,8	0,0141	Безумовно неприйнятний
1,9	0,1055	Безумовно неприйнятний
2	0,2308	Неприйнятний
2,1	0,3168	Неприйнятний
2,2	0,4107	Умовно прийнятний
2,3	0,494	Умовно прийнятний
2,4	0,5871	Прийнятний
2,5	0,6086	Прийнятний

Графічні залежності результатів

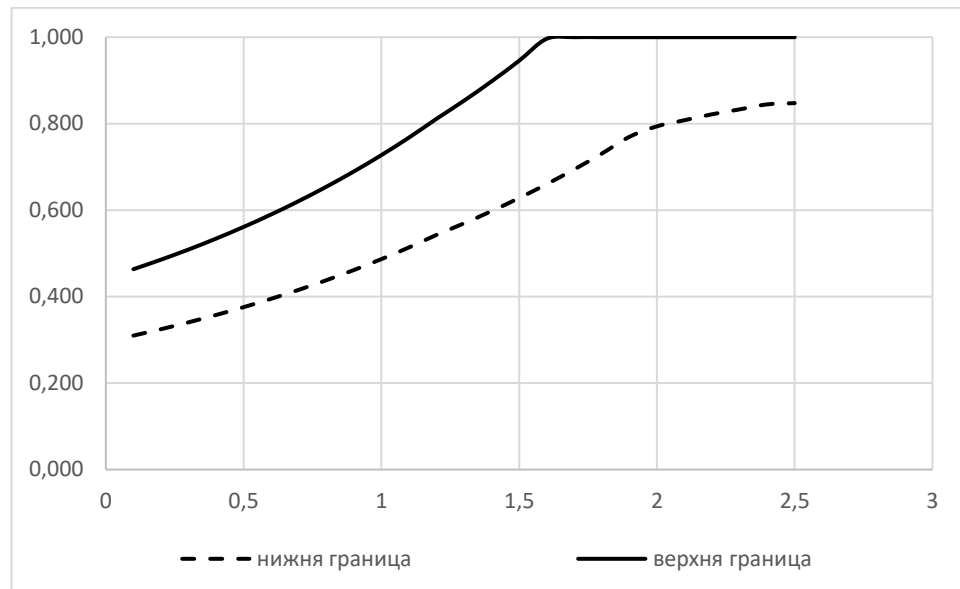


Рисунок Е.1 - Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

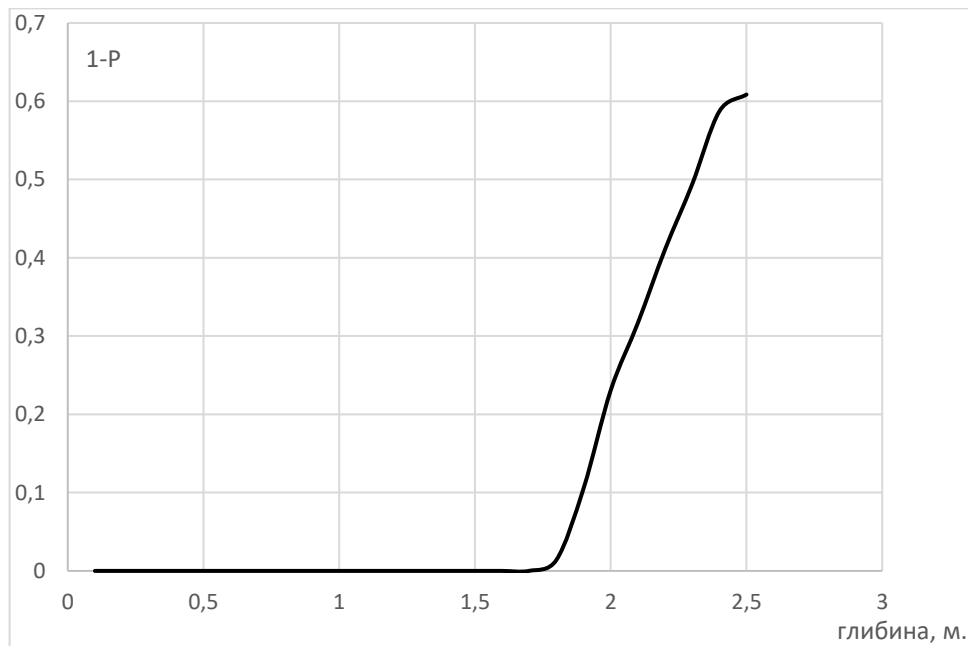


Рисунок Е.2 - Залежності верхньої та нижньої границі ступеня очищення від глибини фільтрації

Додаток Ж

**Результати імітаційного експерименту для аналізу впливу
теплоелектростанції на ґрунтовий шар по миш'яку**

Таблиця Ж.1 - Початкові
концентрації

	1	2	3	4	5	6
0,0	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
0,1	9,615	9,617	9,178	9,579	9,61	9,627
0,2	9,543	9,541	8,826	9,469	9,526	9,558
0,3	9,471	9,465	8,488	9,36	9,443	9,491
0,4	9,399	9,39	8,166	9,253	9,36	9,423
0,5	9,327	9,315	7,858	9,147	9,279	9,357
0,6	9,255	9,241	7,563	9,042	9,198	9,29
0,7	9,182	9,167	7,281	8,938	9,117	9,225
0,8	9,11	9,094	7,012	8,835	9,038	9,159
0,9	9,038	9,021	6,755	8,734	8,959	9,095
1,0	8,966	8,949	6,51	8,634	8,88	9,03
1,1	8,894	8,877	6,276	8,534	8,803	8,967
1,2	8,822	8,805	6,052	8,437	8,726	8,903
1,3	8,749	8,734	5,839	8,34	8,65	8,84
1,4	8,677	8,664		8,244	8,574	8,778
1,5	8,605	8,593		8,149	8,652	8,716
1,6	8,533	8,524		8,056	8,737	8,655
1,7	8,461	8,454		7,963	8,681	8,594
1,8	8,389	8,385		7,872	8,624	8,534
1,9	8,316	8,317		7,781	8,569	8,474
2,0	8,244	8,249		7,692	8,513	8,414
2,1	8,172	7,522		7,604	8,458	8,355
2,2	8,1	7,432		7,516	8,403	8,296
2,3	8,028	7,343		7,43	8,348	8,238
2,4	7,956	7,255		7,345	8,294	8,181
2,5	7,883	7,168		7,26	8,24	8,123
2,6	7,811	7,082		7,177	8,186	8,067
2,7	7,739	6,997		7,094	8,133	8,01

Таблиця Ж.2 - Концентрації з
врахуванням фонових

1	2	3	4	5	6
9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
9,615	9,617	9,178	9,579	9,61	9,627
9,543	9,541	8,826	9,469	9,526	9,558
9,471	9,465	8,488	9,36	9,443	9,491
9,399	9,39	8,166	9,253	9,36	9,423
9,327	9,315	7,858	9,147	9,279	9,357
9,255	9,241	7,563	9,042	9,198	9,29
9,182	9,167	7,281	8,938	9,117	9,225
9,11	9,094	7,012	8,835	9,038	9,159
9,038	9,021	6,755	8,734	8,959	9,095
8,966	8,949	6,51	8,634	8,88	9,03
8,894	8,877	6,276	8,534	8,803	8,967
8,822	8,805	6,052	8,437	8,726	8,903
8,749	8,734	5,9	8,34	8,65	8,84
8,677	8,664	5,9	8,244	8,574	8,778
8,605	8,593	5,9	8,149	8,652	8,716
8,533	8,524	5,9	8,056	8,737	8,655
8,461	8,454	5,9	7,963	8,681	8,594
8,389	8,385	5,9	7,872	8,624	8,534
8,316	8,317	5,9	7,781	8,569	8,474
8,244	8,249	5,9	7,692	8,513	8,414
8,172	7,522	5,9	7,604	8,458	8,355
8,1	7,432	5,9	7,516	8,403	8,296
8,028	7,343	5,9	7,43	8,348	8,238
7,956	7,255	5,9	7,345	8,294	8,181
7,883	7,168	5,9	7,26	8,24	8,123
7,811	7,082	5,9	7,177	8,186	8,067
7,739	6,997	5,9	7,094	8,133	8,01

2,8	7,667	6,913		7,013	8,08	7,954
2,9	7,595	6,83		6,932	8,027	7,899
3,0	7,523	6,748		6,853	7,974	7,843
3,1	7,45	6,667		6,774	7,922	7,789
3,2	7,378	6,587		6,696	7,87	7,735
3,3	7,306	6,508		6,619	7,819	7,681
3,4	7,234	6,43		6,543	7,767	7,627
3,5	7,162	6,353		6,468	7,716	7,574
3,6	7,09	6,276		6,394	7,665	7,522
3,7	7,017	6,201		6,32	7,615	7,469
3,8	6,945	6,127		6,248	7,565	7,417
3,9	6,873	6,053		6,176	7,515	7,366
4,0	6,801	5,98		6,105	7,465	7,315
4,1	6,729	5,909		6,035	7,416	7,264
4,2	6,657	5,838		5,965	7,367	7,214
4,3	6,584			5,897	7,318	7,164
4,4	6,512				7,27	7,115
4,5	6,44				7,221	7,066
4,6	6,368				7,173	7,017
4,7	6,296				7,126	6,968
4,8	6,224				7,078	6,92
4,9	6,151				7,031	6,873
5,0	6,079				6,984	6,825
5,1	6,007				6,938	6,779
5,2	5,935				6,892	6,732
5,3	5,863				6,846	6,686
5,4					6,8	6,64
5,5					6,754	6,594
5,6					6,709	6,549
5,7					6,664	6,505
5,8					6,62	6,46
5,9					6,575	6,416
6,0					6,531	6,372
6,1					6,487	6,329
6,2					6,444	6,286
6,3					6,4	6,243
6,4					6,357	6,2

7,667	6,913	5,9	7,013	8,08	7,954
7,595	6,83	5,9	6,932	8,027	7,899
7,523	6,748	5,9	6,853	7,974	7,843
7,45	6,667	5,9	6,774	7,922	7,789
7,378	6,587	5,9	6,696	7,87	7,735
7,306	6,508	5,9	6,619	7,819	7,681
7,234	6,43	5,9	6,543	7,767	7,627
7,162	6,353	5,9	6,468	7,716	7,574
7,09	6,276	5,9	6,394	7,665	7,522
7,017	6,201	5,9	6,32	7,615	7,469
6,945	6,127	5,9	6,248	7,565	7,417
6,873	6,053	5,9	6,176	7,515	7,366
6,801	5,98	5,9	6,105	7,465	7,315
6,729	5,909	5,9	6,035	7,416	7,264
6,657	5,9	5,9	5,965	7,367	7,214
6,584	5,9	5,9	5,9	7,318	7,164
6,512	5,9	5,9	5,9	7,27	7,115
6,44	5,9	5,9	5,9	7,221	7,066
6,368	5,9	5,9	5,9	7,173	7,017
6,296	5,9	5,9	5,9	7,126	6,968
6,224	5,9	5,9	5,9	7,078	6,92
6,151	5,9	5,9	5,9	7,031	6,873
6,079	5,9	5,9	5,9	6,984	6,825
6,007	5,9	5,9	5,9	6,938	6,779
5,935	5,9	5,9	5,9	6,892	6,732
5,9	5,9	5,9	5,9	6,846	6,686
5,9	5,9	5,9	5,9	6,8	6,64
5,9	5,9	5,9	5,9	6,754	6,594
5,9	5,9	5,9	5,9	6,709	6,549
5,9	5,9	5,9	5,9	6,664	6,505
5,9	5,9	5,9	5,9	6,62	6,46
5,9	5,9	5,9	5,9	6,575	6,416
5,9	5,9	5,9	5,9	6,531	6,372
5,9	5,9	5,9	5,9	6,487	6,329
5,9	5,9	5,9	5,9	6,444	6,286
5,9	5,9	5,9	5,9	6,4	6,243
5,9	5,9	5,9	5,9	6,357	6,2

6,5					6,314	6,158
6,6					6,272	6,116
6,7					6,229	6,075
6,8					6,187	6,034
6,9					6,145	5,993
7,0					6,104	5,952
7,1					6,062	5,912
7,2					6,021	5,872
7,3					5,981	
7,4					5,94	
7,5					5,9	

5,9	5,9	5,9	5,9	6,314	6,158
5,9	5,9	5,9	5,9	6,272	6,116
5,9	5,9	5,9	5,9	6,229	6,075
5,9	5,9	5,9	5,9	6,187	6,034
5,9	5,9	5,9	5,9	6,145	5,993
5,9	5,9	5,9	5,9	6,104	5,952
5,9	5,9	5,9	5,9	6,062	5,912
5,9	5,9	5,9	5,9	6,021	5,9
5,9	5,9	5,9	5,9	5,981	5,9
5,9	5,9	5,9	5,9	5,94	5,9
5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9

Перерахунок концентрацій забруднення з врахуванням ефективності очищення ґрунтів

Таблиця Ж.3 - Нижній рівень

	1	2	3	4	5	6
	0,3	0,2	0,1	0,1	0,05	0
0	2,91	1,94	0,97	0,97	0,49	0,00
0,1	2,88	1,92	0,92	0,96	0,48	0,00
0,2	2,86	1,91	0,88	0,95	0,48	0,00
0,3	2,84	1,89	0,85	0,94	0,47	0,00
0,4	2,82	1,88	0,82	0,93	0,47	0,00
0,5	2,80	1,86	0,79	0,91	0,46	0,00
0,6	2,78	1,85	0,76	0,90	0,46	0,00
0,7	2,75	1,83	0,73	0,89	0,46	0,00
0,8	2,73	1,82	0,70	0,88	0,45	0,00
0,9	2,71	1,80	0,68	0,87	0,45	0,00
1	2,69	1,79	0,65	0,86	0,44	0,00
1,1	2,67	1,78	0,63	0,85	0,44	0,00
1,2	2,65	1,76	0,61	0,84	0,44	0,00
1,3	2,62	1,75	0,59	0,83	0,43	0,00
1,4	2,60	1,73	0,59	0,82	0,43	0,00

Таблиця Ж.4 - Верхній рівень

	1	2	3	4	5	6
0,75	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,05
	3,88	2,91	1,94	1,46	0,97	0,49
	3,85	2,88	1,84	1,44	0,96	0,48
	3,82	2,86	1,77	1,42	0,95	0,48
	3,79	2,84	1,70	1,40	0,94	0,47
	3,76	2,82	1,63	1,39	0,94	0,47
	3,73	2,79	1,57	1,37	0,93	0,47
	3,70	2,77	1,51	1,36	0,92	0,46
	3,67	2,75	1,46	1,34	0,91	0,46
	3,64	2,73	1,40	1,33	0,90	0,46
	3,62	2,71	1,35	1,31	0,90	0,45
	3,59	2,68	1,30	1,30	0,89	0,45
	3,56	2,66	1,26	1,28	0,88	0,45
	3,53	2,64	1,21	1,27	0,87	0,45
	3,50	2,62	1,18	1,25	0,86	0,44
	3,47	2,60	1,18	1,24	0,86	0,44

1,5	2,58	1,72	0,59	0,81	0,43	0,00
1,6	2,56	1,70	0,59	0,81	0,44	0,00
1,7	2,54	1,69	0,59	0,80	0,43	0,00
1,8	2,52	1,68	0,59	0,79	0,43	0,00
1,9	2,49	1,66	0,59	0,78	0,43	0,00
2	2,47	1,65	0,59	0,77	0,43	0,00
2,1	2,45	1,50	0,59	0,76	0,42	0,00
2,2	2,43	1,49	0,59	0,75	0,42	0,00
2,3	2,41	1,47	0,59	0,74	0,42	0,00
2,4	2,39	1,45	0,59	0,73	0,41	0,00
2,5	2,37	1,43	0,59	0,73	0,41	0,00
2,6	2,34	1,42	0,59	0,72	0,41	0,00
2,7	2,32	1,40	0,59	0,71	0,41	0,00
2,8	2,30	1,38	0,59	0,70	0,40	0,00
2,9	2,28	1,37	0,59	0,69	0,40	0,00
3	2,26	1,35	0,59	0,69	0,40	0,00
3,1	2,24	1,33	0,59	0,68	0,40	0,00
3,2	2,21	1,32	0,59	0,67	0,39	0,00
3,3	2,19	1,30	0,59	0,66	0,39	0,00
3,4	2,17	1,29	0,59	0,65	0,39	0,00
3,5	2,15	1,27	0,59	0,65	0,39	0,00
3,6	2,13	1,26	0,59	0,64	0,38	0,00
3,7	2,11	1,24	0,59	0,63	0,38	0,00
3,8	2,08	1,23	0,59	0,62	0,38	0,00
3,9	2,06	1,21	0,59	0,62	0,38	0,00
4	2,04	1,20	0,59	0,61	0,37	0,00
4,1	2,02	1,18	0,59	0,60	0,37	0,00
4,2	2,00	1,18	0,59	0,60	0,37	0,00
4,3	1,98	1,18	0,59	0,59	0,37	0,00
4,4	1,95	1,18	0,59	0,59	0,36	0,00
4,5	1,93	1,18	0,59	0,59	0,36	0,00
4,6	1,91	1,18	0,59	0,59	0,36	0,00
4,7	1,89	1,18	0,59	0,59	0,36	0,00
4,8	1,87	1,18	0,59	0,59	0,35	0,00
4,9	1,85	1,18	0,59	0,59	0,35	0,00
5	1,82	1,18	0,59	0,59	0,35	0,00
5,1	1,80	1,18	0,59	0,59	0,35	0,00

3,44	2,58	1,18	1,22	0,87	0,44
3,41	2,56	1,18	1,21	0,87	0,43
3,38	2,54	1,18	1,19	0,87	0,43
3,36	2,52	1,18	1,18	0,86	0,43
3,33	2,50	1,18	1,17	0,86	0,42
3,30	2,47	1,18	1,15	0,85	0,42
3,27	2,26	1,18	1,14	0,85	0,42
3,24	2,23	1,18	1,13	0,84	0,41
3,21	2,20	1,18	1,11	0,83	0,41
3,18	2,18	1,18	1,10	0,83	0,41
3,15	2,15	1,18	1,09	0,82	0,41
3,12	2,12	1,18	1,08	0,82	0,40
3,10	2,10	1,18	1,06	0,81	0,40
3,07	2,07	1,18	1,05	0,81	0,40
3,04	2,05	1,18	1,04	0,80	0,39
3,01	2,02	1,18	1,03	0,80	0,39
2,98	2,00	1,18	1,02	0,79	0,39
2,95	1,98	1,18	1,00	0,79	0,39
2,92	1,95	1,18	0,99	0,78	0,38
2,89	1,93	1,18	0,98	0,78	0,38
2,86	1,91	1,18	0,97	0,77	0,38
2,84	1,88	1,18	0,96	0,77	0,38
2,81	1,86	1,18	0,95	0,76	0,37
2,78	1,84	1,18	0,94	0,76	0,37
2,75	1,82	1,18	0,93	0,75	0,37
2,72	1,79	1,18	0,92	0,75	0,37
2,69	1,77	1,18	0,91	0,74	0,36
2,66	1,77	1,18	0,89	0,74	0,36
2,63	1,77	1,18	0,89	0,73	0,36
2,60	1,77	1,18	0,89	0,73	0,36
2,58	1,77	1,18	0,89	0,72	0,35
2,55	1,77	1,18	0,89	0,72	0,35
2,52	1,77	1,18	0,89	0,71	0,35
2,49	1,77	1,18	0,89	0,71	0,35
2,46	1,77	1,18	0,89	0,70	0,34
2,43	1,77	1,18	0,89	0,70	0,34
2,40	1,77	1,18	0,89	0,69	0,34

5,2	1,78	1,18	0,59	0,59	0,34	0,00	2,37	1,77	1,18	0,89	0,69	0,34
5,3	1,77	1,18	0,59	0,59	0,34	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,68	0,33
5,4	1,77	1,18	0,59	0,59	0,34	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,68	0,33
5,5	1,77	1,18	0,59	0,59	0,34	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,68	0,33
5,6	1,77	1,18	0,59	0,59	0,34	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,67	0,33
5,7	1,77	1,18	0,59	0,59	0,33	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,67	0,33
5,8	1,77	1,18	0,59	0,59	0,33	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,66	0,32
5,9	1,77	1,18	0,59	0,59	0,33	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,66	0,32
6	1,77	1,18	0,59	0,59	0,33	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,65	0,32
6,1	1,77	1,18	0,59	0,59	0,32	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,65	0,32
6,2	1,77	1,18	0,59	0,59	0,32	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,64	0,31
6,3	1,77	1,18	0,59	0,59	0,32	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,64	0,31
6,4	1,77	1,18	0,59	0,59	0,32	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,64	0,31
6,5	1,77	1,18	0,59	0,59	0,32	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,63	0,31
6,6	1,77	1,18	0,59	0,59	0,31	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,63	0,31
6,7	1,77	1,18	0,59	0,59	0,31	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,62	0,30
6,8	1,77	1,18	0,59	0,59	0,31	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,62	0,30
6,9	1,77	1,18	0,59	0,59	0,31	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,61	0,30
7	1,77	1,18	0,59	0,59	0,31	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,61	0,30
7,1	1,77	1,18	0,59	0,59	0,30	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,61	0,30
7,2	1,77	1,18	0,59	0,59	0,30	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,60	0,30
7,3	1,77	1,18	0,59	0,59	0,30	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,60	0,30
7,4	1,77	1,18	0,59	0,59	0,30	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,59	0,30
7,5	1,77	1,18	0,59	0,59	0,30	0,00	2,36	1,77	1,18	0,89	0,59	0,30

Таблица Ж.5 - Степень очищения

глубина	нижня граница	верхня граница
0	0,365	0,4226
0,1	0,372	0,4321
0,2	0,380	0,4417
0,3	0,387	0,4512
0,4	0,395	0,4608
0,5	0,402	0,4703
0,6	0,410	0,4799
0,7	0,417	0,4894

глубина	Степень очищения
0	0
0,1	0
0,2	0
0,3	0
0,4	0
0,5	0
0,6	0
0,7	0

0,8	0,425	0,499
0,9	0,432	0,5085
1	0,440	0,518
1,1	0,447	0,5276
1,2	0,455	0,5371
1,3	0,462	0,5467
1,4	0,470	0,5562
1,5	0,477	0,5658
1,6	0,485	0,5753
1,7	0,492	0,5849
1,8	0,500	0,5944
1,9	0,507	0,604
2	0,515	0,6135
2,1	0,522	0,6231
2,2	0,530	0,6326
2,3	0,537	0,6422
2,4	0,545	0,6517
2,5	0,552	0,6613
2,6	0,560	0,6708
2,7	0,567	0,6803
2,8	0,575	0,6899
2,9	0,582	0,6994
3	0,590	0,709
3,1	0,597	0,7185
3,2	0,605	0,7281
3,3	0,612	0,7376
3,4	0,620	0,7472
3,5	0,627	0,7567
3,6	0,635	0,7663
3,7	0,642	0,7758
3,8	0,650	0,7854
3,9	0,657	0,7949
4	0,665	0,8045
4,1	0,672	0,814
4,2	0,680	0,8235
4,3	0,687	0,8337
4,4	0,695	0,8439

0,8	0
0,9	0
1	0
1,1	0
1,2	0
1,3	0
1,4	0
1,5	0
1,6	0
1,7	0
1,8	0
1,9	0
2	0
2,1	0
2,2	0
2,3	0
2,4	0,0004
2,5	0,0007
2,6	0,0013
2,7	0,0023
2,8	0,0032
2,9	0,006
3	0,0083
3,1	0,013
3,2	0,0181
3,3	0,0268
3,4	0,0379
3,5	0,0513
3,6	0,07
3,7	0,0956
3,8	0,1214
3,9	0,1522
4	0,1919
4,1	0,224
4,2	0,2568
4,3	0,2854
4,4	0,3176

4,5	0,702	0,8541
4,6	0,710	0,8644
4,7	0,717	0,8747
4,8	0,725	0,8851
4,9	0,732	0,8955
5	0,740	0,9059
5,1	0,747	0,9164
5,2	0,755	0,927
5,3	0,762	0,9376
5,4	0,770	0,9473
5,5	0,777	0,9549
5,6	0,785	0,9613
5,7	0,792	0,9677
5,8	0,800	0,9753
5,9	0,805	0,983
6	0,811	0,9908
6,1	0,816	0,9987
6,2	0,822	1
6,3	0,827	1
6,4	0,833	1
6,5	0,838	1
6,6	0,844	1
6,7	0,849	1
6,8	0,855	1
6,9	0,860	1
7	0,866	1
7,1	0,871	1
7,2	0,877	1
7,3	0,882	1
7,4	0,888	1

4,5	0,3477
4,6	0,3782
4,7	0,4105
4,8	0,4417
4,9	0,4732
5	0,5076
5,1	0,5395
5,2	0,5591
5,3	0,5651
5,4	0,57
5,5	0,5743
5,6	0,5806
5,7	0,5865
5,8	0,5912
5,9	0,5968
6	0,602
6,1	0,6083
6,2	0,6131
6,3	0,6166
6,4	0,6211
6,5	0,6252
6,6	0,6285
6,7	0,6331
6,8	0,6385
6,9	0,643
7	0,6485
7,1	0,6533
7,2	0,6562
7,3	0,6593
7,4	0,6621

Графічні залежності результатів

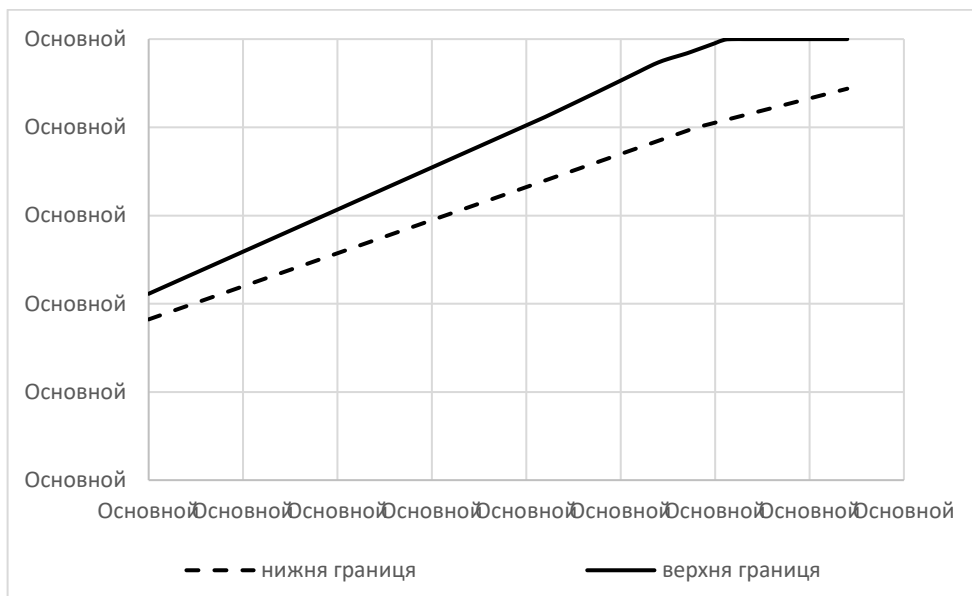


Рисунок Ж.1 - Залежності верхньої та нижньої границі ступеня очищення від глибини фільтрації

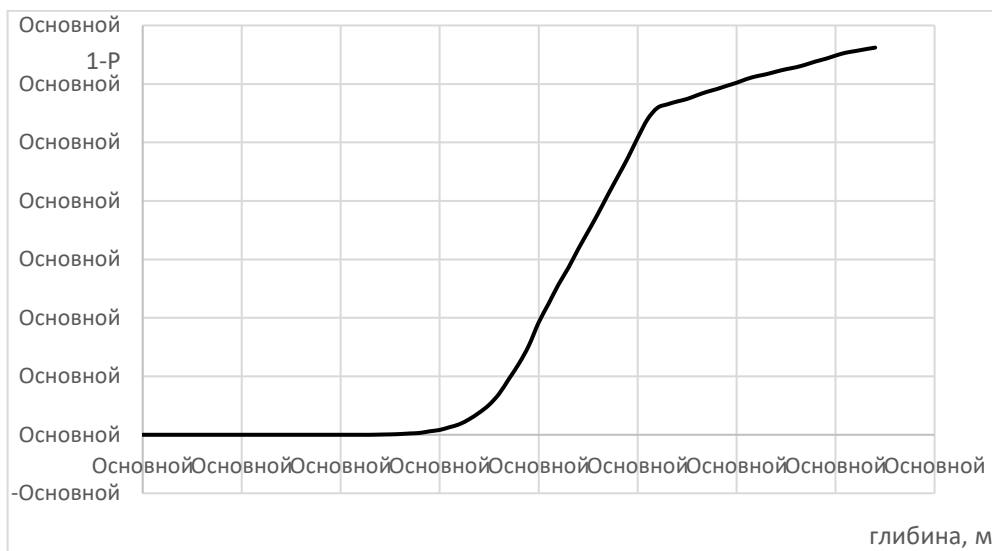


Рисунок Ж.2 - Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

**Результати імітаційного експерименту для аналізу впливу
Миронівської теплоелектростанції на ґрунтовий шар по міді**

Таблиця Ж.6 - Початкові
концентрації

	1	2	3	4	5	6
0,0	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7
0,1	39,601	39,36	39,09	39,21	39,33	39,38
0,2	39,479	39,05	38,55	38,76	38,99	39,09
0,3	39,356	38,74	38,03	38,31	38,65	38,79
0,4	39,234	38,43	37,51	37,87	38,31	38,5
0,5	39,111	38,13	37	37,44	37,98	38,21
0,6	38,989	37,82	36,49	37,01	37,64	37,92
0,7	38,866	37,52	36	36,58	37,31	37,64
0,8	38,744	37,22	35,51	36,16	36,99	37,36
0,9	38,621	36,92	35,02	35,75	36,67	37,08
1,0	38,499	36,63	34,55	35,34	36,35	36,8
1,1	38,376	36,33	34,08	34,93	36,03	36,52
1,2	38,254	36,04	33,62	34,53	35,71	36,25
1,3	38,132	35,75	33,17	34,13	35,4	35,98
1,4	38,009	35,46	32,72	33,74	35,09	35,71
1,5	37,887	35,17	32,28	33,35	35,41	35,44
1,6	37,764	34,88	31,84	32,97	35,76	35,17
1,7	37,642	34,6	31,42	32,59	35,53	34,91
1,8	37,519	34,32	30,99	32,22	35,3	34,65
1,9	37,397	34,04	30,58	31,85	35,07	34,39
2,0	37,274	33,76	30,17	31,48	34,84	34,13
2,1	37,152	30,79	29,77	31,12	34,62	33,87
2,2	37,029	30,42		30,76	34,39	33,62
2,3	36,907	30,05		30,41	34,17	33,37
2,4	36,784	29,69		30,06	33,95	33,12
2,5	36,662			29,71	33,72	32,87
2,6	36,54				33,5	32,62
2,7	36,417				33,29	32,38
2,8	36,295				33,07	32,13
2,9	36,172				32,85	31,89
3,0	36,05				32,64	31,66

Таблиця Ж.7 - Концентрації з
врахуванням фонових

	1	2	3	4	5	6
39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7
39,6	39,36	39,09	39,21	39,33	39,38	39,38
39,48	39,05	38,55	38,76	38,99	39,09	39,09
39,36	38,74	38,03	38,31	38,65	38,79	38,79
39,23	38,43	37,51	37,87	38,31	38,5	38,5
39,11	38,13	37	37,44	37,98	38,21	38,21
38,99	37,82	36,49	37,01	37,64	37,92	37,92
38,87	37,52	36	36,58	37,31	37,64	37,64
38,74	37,22	35,51	36,16	36,99	37,36	37,36
38,62	36,92	35,02	35,75	36,67	37,08	37,08
38,5	36,63	34,55	35,34	36,35	36,8	36,8
38,38	36,33	34,08	34,93	36,03	36,52	36,52
38,25	36,04	33,62	34,53	35,71	36,25	36,25
38,13	35,75	33,17	34,13	35,4	35,98	35,98
38,01	35,46	32,72	33,74	35,09	35,71	35,71
37,89	35,17	32,28	33,35	35,41	35,44	35,44
37,76	34,88	31,84	32,97	35,76	35,17	35,17
37,64	34,6	31,42	32,59	35,53	34,91	34,91
37,52	34,32	30,99	32,22	35,3	34,65	34,65
37,4	34,04	30,58	31,85	35,07	34,39	34,39
37,27	33,76	30,17	31,48	34,84	34,13	34,13
37,15	30,79	30	31,12	34,62	33,87	33,87
37,03	30,42	30	30,76	34,39	33,62	33,62
36,91	30,05	30	30,41	34,17	33,37	33,37
36,78	30	30	30,06	33,95	33,12	33,12
36,66	30	30	30	33,72	32,87	32,87
36,54	30	30	30	33,5	32,62	32,62
36,42	30	30	30	33,29	32,38	32,38
36,29	30	30	30	33,07	32,13	32,13
36,17	30	30	30	32,85	31,89	31,89
36,05	30	30	30	32,64	31,66	31,66

3,1	35,927				32,42	31,42
3,2	35,805				32,21	31,18
3,3	35,682				32	30,95
3,4	35,56				31,79	30,72
3,5	35,437				31,58	30,49
3,6	35,315				31,37	30,26
3,7	35,192				31,17	30,03
3,8	35,07				30,96	
3,9	34,948				30,76	
4,0	34,825				30,55	
4,1	34,703				30,35	
4,2	34,58				30,15	
4,3	34,458				29,95	
4,4	34,335					
4,5	34,213					
4,6	34,09					
4,7	33,968					
4,8	33,845					
4,9	33,723					
5,0	33,6					
5,1	33,478					
5,2	33,356					
5,3	33,233					
5,4	33,111					
5,5	32,988					
5,6	32,866					
5,7	32,743					
5,8	32,621					
5,9	32,498					
6,0	32,376					
6,1	32,253					
6,2	32,131					
6,3	32,008					
6,4	31,886					
6,5	31,763					
6,6	31,641					
6,7	31,519					

35,93	30	30	30	32,42	31,42
35,8	30	30	30	32,21	31,18
35,68	30	30	30	32	30,95
35,56	30	30	30	31,79	30,72
35,44	30	30	30	31,58	30,49
35,31	30	30	30	31,37	30,26
35,19	30	30	30	31,17	30,03
35,07	30	30	30	30,96	30
34,95	30	30	30	30,76	30
34,83	30	30	30	30,55	30
34,7	30	30	30	30,35	30
34,58	30	30	30	30,15	30
34,46	30	30	30	30	30
34,34	30	30	30	30	30
34,21	30	30	30	30	30
34,09	30	30	30	30	30
33,97	30	30	30	30	30
33,85	30	30	30	30	30
33,72	30	30	30	30	30
33,6	30	30	30	30	30
33,48	30	30	30	30	30
33,36	30	30	30	30	30
33,23	30	30	30	30	30
33,11	30	30	30	30	30
32,99	30	30	30	30	30
32,87	30	30	30	30	30
32,74	30	30	30	30	30
32,62	30	30	30	30	30
32,5	30	30	30	30	30
32,38	30	30	30	30	30
32,25	30	30	30	30	30
32,13	30	30	30	30	30
32,01	30	30	30	30	30
31,89	30	30	30	30	30
31,76	30	30	30	30	30
31,64	30	30	30	30	30
31,52	30	30	30	30	30

6,8	31,396					
6,9	31,274					
7,0	31,151					
7,1	31,029					
7,2	30,906					
7,3	30,784					
7,4	30,661					
7,5	30,539					
7,6	30,416					
7,7	30,294					
7,8	30,171					
7,9	30,049					
8,0	29,927					

31,4	30	30	30	30	30
31,27	30	30	30	30	30
31,15	30	30	30	30	30
31,03	30	30	30	30	30
30,91	30	30	30	30	30
30,78	30	30	30	30	30
30,66	30	30	30	30	30
30,54	30	30	30	30	30
30,42	30	30	30	30	30
30,29	30	30	30	30	30
30,17	30	30	30	30	30
30,05	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	30

Перерахунок концентрацій забруднення з врахуванням ефективності очищення ґрунтів

Таблиця Ж.8 - Нижній рівень

1	2	3	4	5	6
0,15	0,35	0,1	0,01	0,05	0,05
5,96	13,90	3,97	0,40	1,99	1,99
5,94	13,78	3,91	0,39	1,97	1,97
5,92	13,67	3,86	0,39	1,95	1,95
5,90	13,56	3,80	0,38	1,93	1,94
5,89	13,45	3,75	0,38	1,92	1,93
5,87	13,34	3,70	0,37	1,90	1,91
5,85	13,24	3,65	0,37	1,88	1,90
5,83	13,13	3,60	0,37	1,87	1,88
5,81	13,03	3,55	0,36	1,85	1,87
5,79	12,92	3,50	0,36	1,83	1,85
5,77	12,82	3,46	0,35	1,82	1,84
5,76	12,72	3,41	0,35	1,80	1,83
5,74	12,61	3,36	0,35	1,79	1,81
5,72	12,51	3,32	0,34	1,77	1,80

Таблиця Ж.9 - Верхній рівень

1	2	3	4	5	6
0,2	0,4	0,25	0,2	0,1	0,1
7,94	15,88	9,93	7,94	3,97	3,97
7,92	15,74	9,77	7,84	3,93	3,94
7,90	15,62	9,64	7,75	3,90	3,91
7,87	15,50	9,51	7,66	3,86	3,88
7,85	15,37	9,38	7,57	3,83	3,85
7,82	15,25	9,25	7,49	3,80	3,82
7,80	15,13	9,12	7,40	3,76	3,79
7,77	15,01	9,00	7,32	3,73	3,76
7,75	14,89	8,88	7,23	3,70	3,74
7,72	14,77	8,76	7,15	3,67	3,71
7,70	14,65	8,64	7,07	3,63	3,68
7,68	14,53	8,52	6,99	3,60	3,65
7,65	14,42	8,41	6,91	3,57	3,62
7,63	14,30	8,29	6,83	3,54	3,60

5,70	12,41	3,27	0,34	1,75	1,79
5,68	12,31	3,23	0,33	1,77	1,77
5,66	12,21	3,18	0,33	1,79	1,76
5,65	12,11	3,14	0,33	1,78	1,75
5,63	12,01	3,10	0,32	1,76	1,73
5,61	11,91	3,06	0,32	1,75	1,72
5,59	11,82	3,02	0,31	1,74	1,71
5,57	10,78	3,00	0,31	1,73	1,69
5,55	10,65	3,00	0,31	1,72	1,68
5,54	10,52	3,00	0,30	1,71	1,67
5,52	10,50	3,00	0,30	1,70	1,66
5,50	10,50	3,00	0,30	1,69	1,64
5,48	10,50	3,00	0,30	1,68	1,63
5,46	10,50	3,00	0,30	1,66	1,62
5,44	10,50	3,00	0,30	1,65	1,61
5,43	10,50	3,00	0,30	1,64	1,59
5,41	10,50	3,00	0,30	1,63	1,58
5,39	10,50	3,00	0,30	1,62	1,57
5,37	10,50	3,00	0,30	1,61	1,56
5,35	10,50	3,00	0,30	1,60	1,55
5,33	10,50	3,00	0,30	1,59	1,54
5,32	10,50	3,00	0,30	1,58	1,52
5,30	10,50	3,00	0,30	1,57	1,51
5,28	10,50	3,00	0,30	1,56	1,50
5,26	10,50	3,00	0,30	1,55	1,50
5,24	10,50	3,00	0,30	1,54	1,50
5,22	10,50	3,00	0,30	1,53	1,50
5,21	10,50	3,00	0,30	1,52	1,50
5,19	10,50	3,00	0,30	1,51	1,50
5,17	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
5,15	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
5,13	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
5,11	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
5,10	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
5,08	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
5,06	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
5,04	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50

7,60	14,18	8,18	6,75	3,51	3,57
7,58	14,07	8,07	6,67	3,54	3,54
7,55	13,95	7,96	6,59	3,58	3,52
7,53	13,84	7,85	6,52	3,55	3,49
7,50	13,73	7,75	6,44	3,53	3,46
7,48	13,62	7,64	6,37	3,51	3,44
7,45	13,50	7,54	6,30	3,48	3,41
7,43	12,31	7,50	6,22	3,46	3,39
7,41	12,17	7,50	6,15	3,44	3,36
7,38	12,02	7,50	6,08	3,42	3,34
7,36	12,00	7,50	6,01	3,39	3,31
7,33	12,00	7,50	6,00	3,37	3,29
7,31	12,00	7,50	6,00	3,35	3,26
7,28	12,00	7,50	6,00	3,33	3,24
7,26	12,00	7,50	6,00	3,31	3,21
7,23	12,00	7,50	6,00	3,29	3,19
7,21	12,00	7,50	6,00	3,26	3,17
7,19	12,00	7,50	6,00	3,24	3,14
7,16	12,00	7,50	6,00	3,22	3,12
7,14	12,00	7,50	6,00	3,20	3,09
7,11	12,00	7,50	6,00	3,18	3,07
7,09	12,00	7,50	6,00	3,16	3,05
7,06	12,00	7,50	6,00	3,14	3,03
7,04	12,00	7,50	6,00	3,12	3,00
7,01	12,00	7,50	6,00	3,10	3,00
6,99	12,00	7,50	6,00	3,08	3,00
6,97	12,00	7,50	6,00	3,06	3,00
6,94	12,00	7,50	6,00	3,04	3,00
6,92	12,00	7,50	6,00	3,02	3,00
6,89	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,87	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,84	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,82	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,79	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,77	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,74	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,72	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00

5,02	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
5,00	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,98	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,97	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,95	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,93	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,91	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,89	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,87	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,86	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,84	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,82	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,80	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,78	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,76	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,75	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,73	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,71	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,69	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,67	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,65	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,64	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,62	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,60	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,58	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,56	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,54	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,53	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,51	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50
4,50	10,50	3,00	0,30	1,50	1,50

6,70	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,67	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,65	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,62	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,60	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,57	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,55	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,52	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,50	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,48	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,45	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,43	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,40	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,38	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,35	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,33	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,30	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,28	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,25	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,23	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,21	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,18	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,16	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,13	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,11	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,08	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,06	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,03	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,01	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00
6,00	12,00	7,50	6,00	3,00	3,00

Таблица Ж.10 - Степень очищения

глубина	нижня граница	верхня граница	глубина	Степень очищения
0	0,265	0,4226	0	0
0,1	0,270	0,4321	0,1	0
0,2	0,275	0,4417	0,2	0
0,3	0,280	0,4512	0,3	0
0,4	0,285	0,4608	0,4	0
0,5	0,290	0,4703	0,5	0
0,6	0,295	0,4799	0,6	0
0,7	0,300	0,4894	0,7	0
0,8	0,305	0,499	0,8	0
0,9	0,310	0,5085	0,9	0,0001
1	0,315	0,518	1	0,0003
1,1	0,320	0,5276	1,1	0,001
1,2	0,325	0,5371	1,2	0,0023
1,3	0,330	0,5467	1,3	0,005
1,4	0,335	0,5562	1,4	0,0083
1,5	0,340	0,5658	1,5	0,0118
1,6	0,345	0,5753	1,6	0,0182
1,7	0,350	0,5849	1,7	0,0257
1,8	0,355	0,5944	1,8	0,0346
1,9	0,360	0,604	1,9	0,0502
2	0,365	0,6135	2	0,1739
2,1	0,370	0,6231	2,1	0,2092
2,2	0,375	0,6326	2,2	0,2438
2,3	0,380	0,6422	2,3	0,2645
2,4	0,385	0,6517	2,4	0,2739
2,5	0,390	0,6613	2,5	0,2817
2,6	0,395	0,6708	2,6	0,2909
2,7	0,400	0,6803	2,7	0,2997
2,8	0,405	0,6899	2,8	0,3078
2,9	0,410	0,6994	2,9	0,3159
3	0,415	0,709	3	0,3241
3,1	0,420	0,7185	3,1	0,3333
3,2	0,425	0,7281	3,2	0,3414
3,3	0,430	0,7376	3,3	0,3502

3,4	0,435	0,7472
3,5	0,440	0,7567
3,6	0,445	0,7663
3,7	0,450	0,7758
3,8	0,455	0,7854
3,9	0,460	0,7949
4	0,465	0,8045
4,1	0,470	0,814
4,2	0,475	0,8235
4,3	0,480	0,8337
4,4	0,485	0,8439
4,5	0,490	0,8541
4,6	0,495	0,8644
4,7	0,500	0,8747
4,8	0,505	0,8851
4,9	0,510	0,8955
5	0,515	0,9059
5,1	0,520	0,9164
5,2	0,525	0,927
5,3	0,530	0,9376
5,4	0,535	0,9473
5,5	0,540	0,9549
5,6	0,545	0,986
5,7	0,550	1
5,8	0,555	1
5,9	0,560	1
6	0,565	1
6,1	0,570	1
6,2	0,575	1
6,3	0,580	1
6,4	0,585	1
6,5	0,590	1
6,6	0,595	1
6,7	0,600	1
6,8	0,605	1
6,9	0,610	1
7	0,615	1

3,4	0,3593
3,5	0,3677
3,6	0,3762
3,7	0,3848
3,8	0,3933
3,9	0,4013
4	0,409
4,1	0,4177
4,2	0,4253
4,3	0,431
4,4	0,4352
4,5	0,4395
4,6	0,4452
4,7	0,4503
4,8	0,4538
4,9	0,4583
5	0,4631
5,1	0,4679
5,2	0,4744
5,3	0,4802
5,4	0,4849
5,5	0,4893
5,6	0,4943
5,7	0,5006
5,8	0,5052
5,9	0,51
6	0,5165
6,1	0,522
6,2	0,5266
6,3	0,5316
6,4	0,5354
6,5	0,5403
6,6	0,544
6,7	0,5487
6,8	0,5539
6,9	0,558
7	0,5625

7,1	0,620	1
7,2	0,625	1
7,3	0,630	1
7,4	0,635	1
7,5	0,640	1
7,6	0,645	1
7,7	0,650	1
7,8	0,655	1
7,9	0,660	1

7,1	0,5679
7,2	0,5749
7,3	0,5811
7,4	0,5852
7,5	0,5895
7,6	0,5939
7,7	0,5991
7,8	0,6034
7,9	0,6054

Графічні залежності результатів

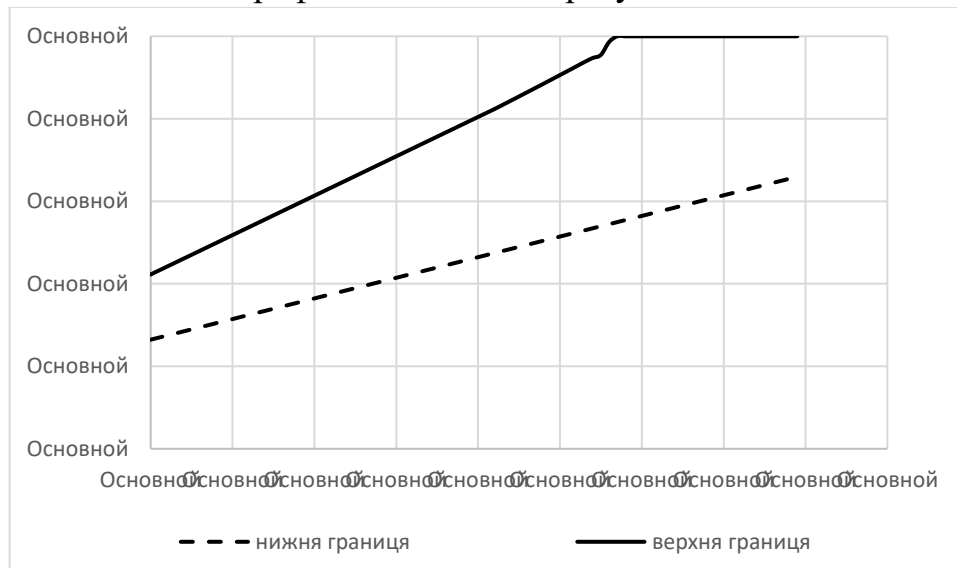


Рисунок Ж.3 - Залежності верхньої та нижньої границі ступеня очищення від глибини фільтрації

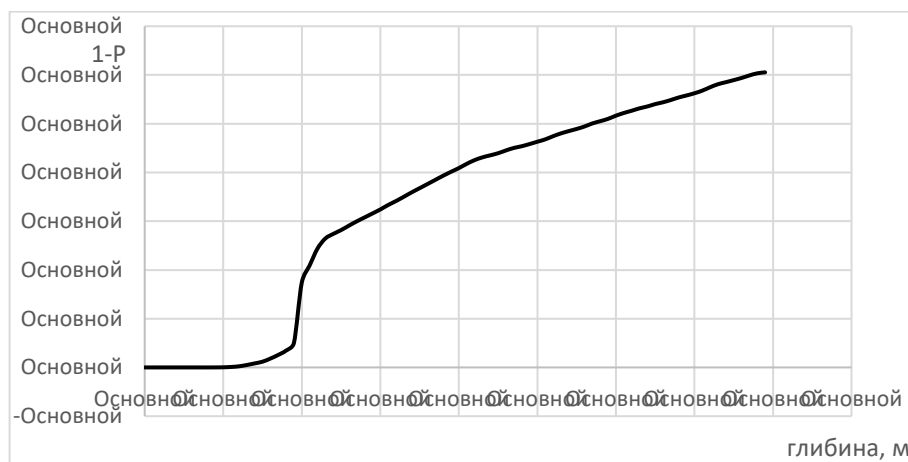


Рисунок Ж.4 - Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

**Результати імітаційного експерименту для аналізу впливу
Миронівською теплоелектростанції на ґрунтовий шар по барію**

Таблиця Ж.11 - Початкові
концентрації

	1	2	3	4	5	6
	1	2	3,1	3,2	3,3	3,4
0,0	507	507	507	507	507	507
0,1	503,8	500,1	498,1	497,5	496	493,3
0,2	499,8	494,1	490,4	489,1	486,4	481,3
0,3	495,9	488,2	482,8	480,9	476,9	469,7
0,4	491,9	482,3	475,3	472,8	467,7	458,3
0,5	488	476,5	467,9	464,8	458,6	447,2
0,6	484	470,7	460,6	457	449,7	436,3
0,7	480	465	453,4	449,2	441	425,7
0,8	476,1	459,3	446,3	441,7	432,4	415,4
0,9	472,1	453,7	439,4	434,2	424	405,3
1,0	468,2	448,1	432,5	426,9	415,8	395,5
1,1	464,2	442,6	425,7	419,7	407,7	385,9
1,2	460,2	437,2	419,1	412,6	399,8	376,5
1,3	456,3	431,8	412,5	405,7	392	367,4
1,4	452,3	426,4	406	398,8	384,4	358,5
1,5	448,3	421,1	399,6	392,1	392,1	100,4
1,6	444,4	415,9	393,3	385,5	400,3	
1,7	440,4	410,7	387,2	379	394,4	
1,8	436,5	405,5	381,1	372,6	388,7	
1,9	432,5	400,5	375,1	366,3	383	
2,0	428,5	395,4	369,1	360,1	377,3	
2,1	424,6	345,6	363,3		371,8	
2,2	420,6				366,3	
2,3	416,7				360,9	
2,4	412,7					
2,5	408,7					
2,6	404,8					
2,7	400,8					
2,8	396,8					

Таблиця Ж.12 - Концентрації
з врахуванням фонових

	1	2	3	4	5	6
	1	2	3,1	3,2	3,3	3,4
507	507	507	507	507	507	507
503,8	500,1	498,1	497,5	496	493,3	
499,8	494,1	490,4	489,1	486,4	481,3	
495,9	488,2	482,8	480,9	476,9	469,7	
491,9	482,3	475,3	472,8	467,7	458,3	
488	476,5	467,9	464,8	458,6	447,2	
484	470,7	460,6	457	449,7	436,3	
480	465	453,4	449,2	441	425,7	
476,1	459,3	446,3	441,7	432,4	415,4	
472,1	453,7	439,4	434,2	424	405,3	
468,2	448,1	432,5	426,9	415,8	395,5	
464,2	442,6	425,7	419,7	407,7	385,9	
460,2	437,2	419,1	412,6	399,8	376,5	
456,3	431,8	412,5	405,7	392	367,4	
452,3	426,4	406	398,8	384,4	366	
448,3	421,1	399,6	392,1	392,1	366	
444,4	415,9	393,3	385,5	400,3	366	
440,4	410,7	387,2	379	394,4	366	
436,5	405,5	381,1	372,6	388,7	366	
432,5	400,5	375,1	366,3	383	366	
428,5	395,4	369,1	366	377,3	366	
424,6	366	366	366	371,8	366	
420,6	366	366	366	366,3	366	
416,7	366	366	366	366	366	
412,7	366	366	366	366	366	
408,7	366	366	366	366	366	
404,8	366	366	366	366	366	
400,8	366	366	366	366	366	
396,8	366	366	366	366	366	

2,9	392,9					
3,0	388,9					
3,1	385					
3,2	381					
3,3	377					
3,4	373,1					
3,5	369,1					
3,6	365,2					

392,9	366	366	366	366	366
388,9	366	366	366	366	366
385	366	366	366	366	366
381	366	366	366	366	366
377	366	366	366	366	366
373,1	366	366	366	366	366
369,1	366	366	366	366	366
366	366	366	366	366	366

Перерахунок концентрацій забруднення з врахуванням ефективності
очищення ґрунтів

Таблиця Ж.13 - Нижній
рівень

1	2	3	4	5	6
0,15	0,3	0,16	0,07	0,08	0,05
76,05	152,10	81,12	35,49	40,56	25,35
75,57	150,04	79,70	34,83	39,68	24,67
74,98	148,24	78,46	34,24	38,91	24,07
74,38	146,46	77,25	33,66	38,15	23,48
73,79	144,69	76,05	33,09	37,41	22,91
73,19	142,94	74,86	32,54	36,69	22,36
72,60	141,21	73,70	31,99	35,97	21,82
72,01	139,49	72,55	31,45	35,28	21,29
71,41	137,79	71,41	30,92	34,59	20,77
70,82	136,11	70,30	30,40	33,92	20,27
70,22	134,44	69,20	29,88	33,26	19,77
69,63	132,79	68,12	29,38	32,62	19,29
69,03	131,15	67,05	28,88	31,98	18,83
68,44	129,53	66,00	28,40	31,36	18,37
67,85	127,93	64,96	27,92	30,75	18,30
67,25	126,34	63,94	27,45	31,37	18,30
66,66	124,76	62,94	26,98	32,02	18,30
66,06	123,21	61,95	26,53	31,56	18,30

Таблиця Ж.14 - Нижній
рівень

1	2	3	4	5	6
0,2	0,35	0,25	0,12	0,16	0,05
101,40	177,45	126,75	60,84	81,12	25,35
100,76	175,04	124,53	59,70	79,36	24,67
99,97	172,94	122,60	58,69	77,82	24,07
99,18	170,87	120,70	57,70	76,31	23,48
98,38	168,81	118,82	56,73	74,83	22,91
97,59	166,77	116,97	55,78	73,37	22,36
96,80	164,75	115,15	54,83	71,95	21,82
96,01	162,74	113,35	53,91	70,55	21,29
95,21	160,76	111,59	53,00	69,18	20,77
94,42	158,79	109,84	52,11	67,84	20,27
93,63	156,85	108,12	51,23	66,52	19,77
92,84	154,92	106,43	50,36	65,23	19,29
92,05	153,01	104,76	49,51	63,96	18,83
91,25	151,12	103,12	48,68	62,72	18,37
90,46	149,25	101,50	47,86	61,51	18,30
89,67	147,39	99,91	47,05	62,73	18,30
88,88	145,56	98,34	46,26	64,05	18,30
88,08	143,74	96,79	45,48	63,11	18,30

65,47	121,66	60,97	26,08	31,09	18,30
64,87	120,14	60,01	25,64	30,64	18,30
64,28	118,63	59,06	25,62	30,19	18,30
63,69	109,80	58,56	25,62	29,74	18,30
63,09	109,80	58,56	25,62	29,30	18,30
62,50	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
61,90	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
61,31	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
60,72	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
60,12	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
59,53	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
58,93	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
58,34	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
57,74	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
57,15	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
56,56	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
55,96	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
55,37	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30
54,90	109,80	58,56	25,62	29,28	18,30

87,29	141,94	95,27	44,71	62,19	18,30
86,50	140,16	93,76	43,96	61,27	18,30
85,71	138,40	92,28	43,92	60,37	18,30
84,92	128,10	91,50	43,92	59,48	18,30
84,12	128,10	91,50	43,92	58,61	18,30
83,33	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
82,54	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
81,75	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
80,95	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
80,16	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
79,37	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
78,58	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
77,79	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
76,99	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
76,20	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
75,41	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
74,62	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
73,82	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30
73,20	128,10	91,50	43,92	58,56	18,30

Таблица Ж.15 - Степень очищения

глубина	нижня граница	верхня граница
0	0,722	0,9049
0,1	0,722	0,9175
0,2	0,722	0,9304
0,3	0,722	0,9434
0,4	0,722	0,9567
0,5	0,722	0,9701
0,6	0,722	0,9837
0,7	0,722	0,9976
0,8	0,727	1
0,9	0,738	1
1	0,748	1
1,1	0,759	1
1,2	0,770	1
1,3	0,781	1

глубина	Степень очищения
0	0
0,1	0
0,2	0
0,3	0
0,4	0
0,5	0
0,6	0
0,7	0
0,8	0,0001
0,9	0,0001
1	0,0007
1,1	0,0018
1,2	0,0057
1,3	0,0135

1,4	0,787	1
1,5	0,793	1
1,6	0,804	1
1,7	0,814	1
1,8	0,824	1
1,9	0,834	1
2	0,859	1
2,1	0,862	1
2,2	0,864	1
2,3	0,865	1
2,4	0,867	1
2,5	0,869	1
2,6	0,870	1
2,7	0,872	1
2,8	0,874	1
2,9	0,875	1
3	0,877	1
3,1	0,879	1
3,2	0,880	1
3,3	0,882	1
3,4	0,884	1
3,5	0,885	1

1,4	0,0236
1,5	0,0388
1,6	0,0698
1,7	0,1171
1,8	0,1814
1,9	0,2493
2	0,5054
2,1	0,5381
2,2	0,5569
2,3	0,5752
2,4	0,5928
2,5	0,6085
2,6	0,6225
2,7	0,638
2,8	0,6545
2,9	0,6682
3	0,6811
3,1	0,6968
3,2	0,7106
3,3	0,7261
3,4	0,7409
3,5	0,7508

Графічні залежності результатів

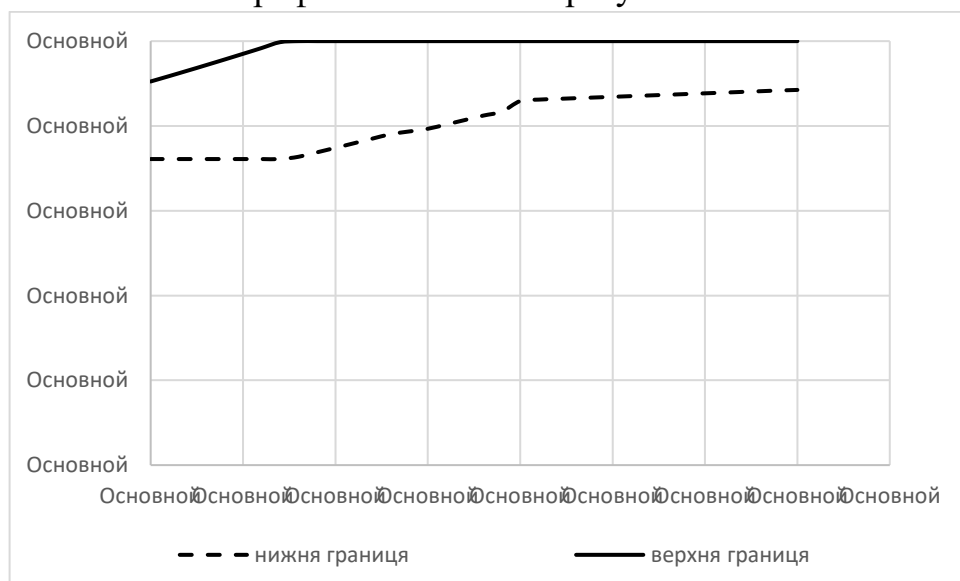


Рисунок Ж.5 - Залежності верхньої та нижньої границі ступеня очищення від глибини фільтрації

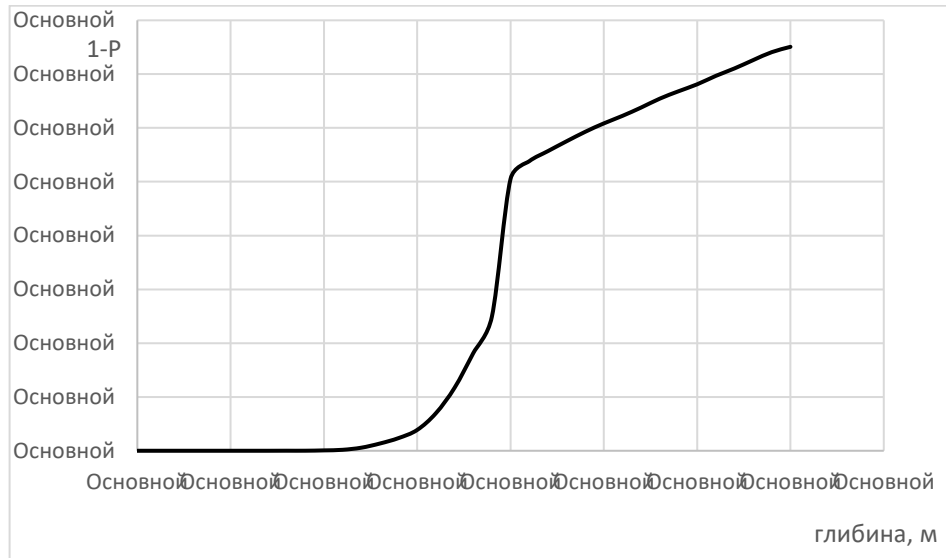


Рисунок Ж.6 - Ймовірність повного очищення стічних вод в залежності від глибини

Додаток 3

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Генеральний директор
ДП «УкрНДПНТВ»

Соколов В.А.

«15» грудня 2014 р.

АКТ

про впровадження методики визначення впливу промислових об'єктів на стан ґрунтового шару та програмного комплексу оцінювання стану ґрунтового шару.

Комісія у складі директора, к.т.н. Соколова В.А. та зам. директора з ОВНС д.т.н. Абрамова І.Б. та від Державного підприємства «УкрНДПНТВ» та декана хіміко-технологічного факультету д.т.н., проф. Астреліна І.М., виконувача обов'язків завідувача кафедрою КХТП к.т.н., доц. Бойко Т.В. і асистента кафедри КХТП Запорожець Ю.А. від НТУУ «КПІ» акт про те, що методику визначення впливу промислових об'єктів на стан ґрунтового шару та програмного комплексу оцінювання стану ґрунтового шару STAN_GRUNTIV, що розроблено у дисертаційній роботі здобувача вченого ступеню кандидата технічних наук Запорожець Ю.А., впроваджено у дослідно-промислову експлуатацію.

Від НТУУ «КПІ»
Декан ХТФ НТУУ «КПІ»

д.т.н., проф. І.М. Астрелін

Від ДП «УкрНДПНТВ»

В. о. зав. кафедри КХТП НТУУ «КПІ»

к.т.н., доцент Т.В. Бойко

Асистент кафедри КХТП НТУУ «КПІ»

ас. Ю.А. Запорожець
д.т.н., зам. Директора
ДП «УкрНДПНТВ»

Додаток І

«Затверджую»
 Голова Методичної комісії ХТФ
 Доцент, канд. тех. наук
 О.В. Сангінова
 «09» листопада 2019

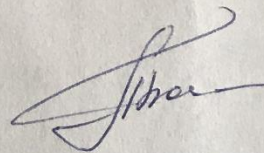
«Погоджено»
 Декан ХТФ
 Професор, д.т.н
 І.М. Астрелін
 «11» листопада 2019

Акт

Про впровадження методики визначення впливу промислового об'єкта на стан ґрунтового шару та програмного комплексу оцінювання стану ґрунтового шару.

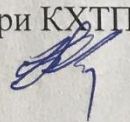
Чинний акт полягає у тому, що програмний комплекс оцінювання стану ґрунтового шару STAN_GRUNTIV призначений для аналізу впливу промислового об'єкта на стан ґрунтового шару, що розроблено в рамках дисертаційного дослідження Запорожець Ю.А. «Метод оцінки екологічної безпеки забруднення ґрунтів промисловим підприємством». Програмний комплекс оцінювання стану ґрунтового шару STAN_GRUNTIV впроваджено в навчальний процес на кафедрі кібернетики хіміко-технологічних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Програмний комплекс STAN_GRUNTIV використовують у лабораторному практикумі з кредитного модуля «Комп'ютерне моделювання процесів і систем 2 Моделювання об'єктів і систем у галузі».

в.о. зав. кафедри КХТП
 доцент, к.т.н



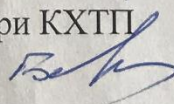
Т.В. Бойко

відповідальний за методичну роботу кафедри КХТП
 доцент, к.т.н



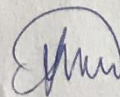
Д.М. Складанний

відповідальний за наукову роботу кафедри КХТП
 доцент, к.т.н



Ю.О. Безносик

вчений секретар кафедри КХТП
 доцент, к.т.н



А.М. Шахновський

розробник ст. викладач кафедри КХТП



Ю.А. Запорожець