

# Математичне моделювання екологічної безпеки на основі баз даних колективного дистанційного доступу: на прикладі зсувних ділянок Середнього Придніпров'я

Вячеслав Приходько

Міжнародна Академія Екології  
бульвар Лепсе 79-Г, оф.57, Київ, Україна, 03126  
[ehs.management.kiyv@gmail.com](mailto:ehs.management.kiyv@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9311-1863>

Отримано 14.05.2021, прийнято 19.05.2021  
<https://doi.org/10.32347/tit2141.0209>

## ВСТУП

Створено математичну модель для розрахунку основних показників екологічної безпеки на прикладі зсувних ділянок Середньої Наддніпрянщини. Модель з даними режимних спостережень системи екологічного моніторингу, дає можливість оцінити ситуацію за досліджуваній період, визначити основні небезпечні показники і по ним зробити прогноз (у вигляді діагностики математичної моделі на зміну величин параметрів входять даних в модель - калібрування системи рівнянь). Також оцінити екологічні ризики для прийняття зважених управлінських рішень з контролю якості навколишнього середовища.

## МЕТА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є:

– розробка методики розрахунку для набуття практичного досвіду по впровадженню теоретичних знань з основних дисциплін і математичних методів, що застосовуються при обробці інженерно-екологічних, інженерно-геологічних, геолого-геохімічних та інших даних, одержуваних на різних стадіях еко-геологічних досліджень;

– вивчення і пошук оптимальних методів математичного моделювання властивостей геологічних об'єктів і зсувних процесів, при вирішенні виробничо-технічних, прикладних та наукових завдань з екологічної безпеки, в різних областях народно-господарського комплексу в залежності від спеціалізації і виробничо управлінських рішень або надзвичайних ситуацій, зі створенням і використанням баз даних колективного дистанційного доступу.

ренням і використанням баз даних колективного дистанційного доступу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Системний підхід до вирішення завдань з оцінки екологічної безпеки дає можливість своєчасно реагувати на зміни навколишнього середовища.

Сучасні інформаційні технології дають можливість скорочувати час виконуваних дій, збільшують обсяг даних і кількість обчислень, дають можливість аналізу і своєчасного звітування за період. Загалом інфраструктуру математичного моделювання можна представити таким чином (Рис. 1).



Рис.1. Інфраструктура математичного моделювання

Розроблену математичну систему рівнянь, представлено в Табл.2 На прикладі контролю зсувних ділянок з прив'язкою до території Середньої Наддніпрянщини (Київська та Черкаська область). Тут:

1. Отримання якісних статистичних даних системи екологічного моніторингу.
2. Зберігання великих обсягів даних (оцифрована звітна документація, проект-

но-технічна документація, геоінформаційні пакети картографічних документів, фото та відео матеріали, дані лабораторних досліджень і т.д.).

3. Постановка завдань для математичних обчислень (Таблиця 1).

4. Система рівнянь (Таблиця 2 Приклад). Складається під кожну задачу.

5. Хмарний сервіс. З поняттям хмарних обчислень часто пов'язують такі сервіс-надають (Everything as a service) технології, як:

– «Інфраструктура як сервіс» ("Infrastructure as a Service" або "IaaS");

– «Платформа як сервіс» ("Platform as a Service" або "PaaS");

– «Програмне забезпечення як сервіс» ("Software as a Service" або "SaaS").

Під хмарними обчисленнями ми розуміємо програмно-апаратне забезпечення доступне користувачеві через Інтернет або локальну мережу у вигляді сервісу, що дозволяє використовувати зручний інтерфейс для віддаленого доступу до виділених ресурсів (обчислювальних ресурсів, програм і даних).

6 Гібридний доступ до даних (відкриті бази даних для всіх користувачів). Можливе використання Штучного інженерного інтелекту для спрощення виконання робіт.

7 Громадський доступ до даних (не захищених інформаційний ресурс, мережа з локальних фізичних або віртуальних комп'ютерів). На даний момент більшість хмарних інфраструктур розгорнуто на серверах датацентров, використовуючи технології віртуалізації, що фактично дозволяє будь-якому призначеному для користувача додатком використовувати обчислювальні потужності, абсолютно не замислюючись про технологічні аспекти. Тоді можна розуміти «хмара» як єдиний доступ до обчислень з боку користувача.

8 Приватний доступ до даних (захист авторських прав, локальний фізичний або віртуальний комп'ютер, локальні робочі місця можуть з'єднуватися в мережу під тематичні завдання або проекти).

9 Корпоративний доступ до даних (захищений через ключ доступу інформаційний ресурс). Часто використовується юри-

дичними особами будь-якої економічної діяльності.

10 Суперкомп'ютер – локальна або віртуальна (дистанційна) мережа технічних засобів з великим запасом потенціалу для вирішення складних математичних задач, що вимагають величезних обчислень і обробки великого масиву інформації. Наприклад рішення системи рівнянь з 100 рівнянь від 1000 невідомих взаємозалежних параметрів динамічних змінних величин. Завдання – зміна стану навколишнього середовища через зміну клімату, аналіз стану і математичний прогноз різних сценаріїв подій. Небагато людей можуть поставити задачу для суперкомп'ютера.

Хороший програмний комплекс для розрахунків (з методом середніх квадратів) є Matlab, де можна вносити будь-які формули і дані.

У будівельній і інженерно-технічній документації не використовується теорія ймовірності. Так як прямий контакт з безпекою життєдіяльності. Потрібні статичні дані, що змінюються.

Точні розрахункові дані математичної моделі – результат моделювання на зрозумілих математичних рівняннях із застосуванням якісних даних. Якщо ми говоримо про екологічну безпеку, то про дані багаторічних спостережень (спутникових, польових, кадастрових, лабораторних, аналітичних) мінімум за останні 20...50 років. В країні існує спеціалізація відомчих підприємств за видами діяльності. За екологічний моніторинг в Україні відповідає Мінприроди, до складу якої входить Державна геологічна служба, яка має по всій країні представництва компанії, які відповідають за області або кілька областей.

Система екологічного моніторингу складається з декількох видів діяльності: польові роботи, лабораторні роботи, аналітична проектна робота, контроль показників стану навколишнього середовища - он-лайн, математичні розрахунки, лабораторні, архівні статистичні, адміністрування управління екологічною безпекою (згідно з повноваженнями).

За екологічний моніторинг, що включає польові та інженерно-геологічні дослід-

дження з бурінням свердловин в Київській, Житомирській, Чернігівській області відповідає ПДРГП Північукргеологія, яка знаходиться в Бортничах. Все зсуви класифіковані і введені в кадастр. На кожен зсув існує кадастровий номер і набір інженерно-екологічної інформації.

За зберігання екологічної та геологічної інформації відповідають архіви підприємств Геологічної служби. Централізовано зберігає інформацію Державна компанія «Геоінформ» і копія у Комісії по запасах корисних копалин. Також існують міжвідомчі універсальні бази даних в Україні:

– База даних УІАС НС (Універсальна інформаційна аналітична система надзвичайних ситуацій) - все інженерна геологія, гідрогеологія, всі небезпечні екзогенні процеси з прив'язкою до місцевості, система моніторингу Мінприроди і МНС. Результат багаторічних п'ятирічних комплексних програм;

– База даних ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА (інженерно-технічна інформація на понад 10000 виробничих підприємств України з

описом і кресленнями) МНС України. Результат праць міжвідомчої комісії з техногенної безпеки при МНС.

Умови застосування багатовимірних статистичних моделей: матриці коефіцієнтів парної кореляції, коефіцієнти приватної і множинної кореляції. Рівняння множинної регресії. Застосування багатовимірного кореляційного аналізу і рівнянь множинної регресії для перевірки геологічних гіпотез і передбачення властивостей геологічних об'єктів і процесів. Завдання класифікації та розпізнавання образів в геології. Кластерний і факторний аналізи. Лінійні дискримінантні функції. Оцінка інформативності геологічних ознак.

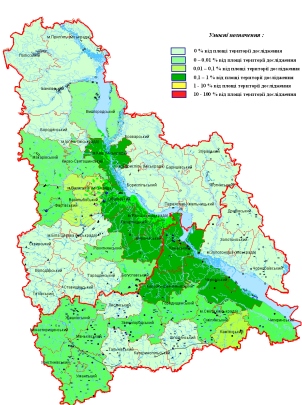
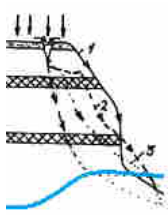
Розроблено завдання для математичних обчислень зсувних процесів (Табл. 1)

Створено математичну модель для аналізу зсувної діяльності (Табл. 2)

Результати розрахунків зведено до звітної таблиці (Табл. 3)

Таблиця 1

Завдання для математичних розрахунків зсуву

| Територіальні межі аналізу  | Для контролю екологічної безпеки необхідно вирішення питань:  |   | Розріз змін стану зсуву  |
|---|---|---|--|
|   | Рівняння  | Параметри   |  |
|  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Інженерна екологія</li> <li>2. Інженерна геологія</li> <li>3. Петрологія</li> <li>4. Механіка ґрунтів</li> <li>5. Гідрологія</li> <li>6. Гідрогеологія</li> <li>7. Вища математика</li> <li>8. Геодезія</li> <li>9. Геохімія</li> <li>10. Картографування</li> <li>11. ГІС Mapinfo</li> </ol> | <p>Дані моніторингу<br/>Розрізи по зсувам<br/>Властивості ґрунту<br/>Напружений стан<br/>Підпор<br/>Крива фільтрації<br/>Система рівнянь<br/>Прив'язки<br/>Хімічні властивості<br/>Площі враження<br/>Пошарово дані</p> |  <p>Де: 1 – Стадія тріщина сколювання.<br/>2 – Активний зсув.<br/>3 – Тимчасово стабілізований.</p> |
| Території найбільшого враження зсувами (темно-зелені площі) [1] більше 300          | За переліком беруться формули та показники для розрахунку   | По кожному параметру може бути кілька показників  | Інженерно геологічні розрізи для кожної зсувної ділянки за даними буріння свердловин.  |

Таблиця 2

## Математична модель

| Нестійкість екосистеми об'ємна   | Математичне моделювання ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА  |                                    |                           | Стійкість екосистеми об'ємна   |
|--|---|------------------------------------|---------------------------|--|
| Опис   | ЗАВДАННЯ для створення системи рівнянь:   |                                    |                           | Опис   |
| Формула $He_i = H \cdot S = m/\rho$ , м <sup>3</sup><br>$He_i = (\int f(l) dl) / \rho_r$ ,<br>межі інтегралу (від ГДК до Сі); Н – висота, м; S – площа розподілу, м <sup>2</sup> ; Сі – концентрація речовини, г/м <sup>3</sup> ;<br>$\rho_r$ - густина, г/м <sup>3</sup> ; l - довжина, м   | Значення нестійкості для контролю   | Універсальний коефіцієнт стійкості | Значення запасу стійкості | Формула $C_i = H \cdot S = m/\rho$ , м <sup>3</sup> ,<br>$C_i = (\int f(l) dl) / \rho_r$ ,<br>межі інтегралу (від 0 (або Сі) до ГДК); Н-висота, м; S – площа розподілу, м <sup>2</sup> ; Сі – концентрація речовини, г/м <sup>3</sup> ; $\rho_r$ - густина, г/м <sup>3</sup> ; l - довжина, м  |
| Фізична нестійкість  | $He_f$  | $Kst_f = He_f / C_f \geq 1$        | $C_f$                     | Фізична стійкість  |
| Хімічна нестійкість  | $He_h$  | $Kst_h = He_h / C_h \geq 1$        | $C_h$                     | Хімічна стійкість  |
| Біологічна нестійкість   | $He_b$  | $Kst_b = He_b / C_b \geq 1$        | $C_b$                     | Біологічна стійкість   |
| Радіоактивна нестійкість   | $He_r$  | $Kst_r = He_r / C_r \geq 1$        | $C_r$                     | Радіоактивна стійкість   |
| <b>Комплексна математична модель існування екосистеми (© В'ячеслав Приходько 2001)</b>   |   |                                    |                           |  |
| Щільність протікання процесів<br>$\rho_{\Phi i} = \Sigma \rho_{\Phi in} / n$ ;<br>$\rho_{X i} = \Sigma \rho_{X in} / n$ ;<br>$\rho_{B i} = \Sigma \rho_{B in} / n$ ;<br>$\rho_{P i} = \Sigma \rho_{P in} / n$ ;<br>де $\rho_{\Phi in}$ , $\rho_{X in}$ , $\rho_{B in}$ , $\rho_{P in}$ – умови протікання процесів екосистеми (показники стану, таблиця природної градації стійкості). | $\rho_{\Phi B} \cdot X_1 + \rho_{\Phi G} \cdot X_2 + \rho_{\Phi P} \cdot X_3 + \rho_{\Phi B} \cdot X_4 = C_f - He_f$ ;<br>$\rho_{XB} \cdot X_1 + \rho_{XG} \cdot X_2 + \rho_{XP} \cdot X_3 + \rho_{XB} \cdot X_4 = C_h - He_h$ ;<br>$\rho_{BB} \cdot X_1 + \rho_{BG} \cdot X_2 + \rho_{BP} \cdot X_3 + \rho_{BB} \cdot X_4 = C_b - He_b$ ;<br>$\rho_{PB} \cdot X_1 + \rho_{PG} \cdot X_2 + \rho_{PP} \cdot X_3 + \rho_{PB} \cdot X_4 = C_r - He_r$ ;<br><br>система рівнянь з чотирьма невідомими об'ємами мас екологічної стійкості (чи не) та безпечних (чи ні) для життя людей та живих організмів<br>Безпечний об'єм екосистеми $V = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$ |                                    |                           | $\rho_{\Phi B}$ , $\rho_{\Phi G}$ , $\rho_{\Phi P}$ , $\rho_{\Phi B}$ – середня щільність протікання фізичних процесів (у водних, ґрунтових, повітряних, біологічних масах – відповідно), безрозмірний;<br>$\rho_{XB}$ , $\rho_{XG}$ , $\rho_{XP}$ , $\rho_{XB}$ – хімічних;<br>$\rho_{BB}$ , $\rho_{BG}$ , $\rho_{BP}$ , $\rho_{BB}$ – біологічних;<br>$\rho_{PB}$ , $\rho_{PG}$ , $\rho_{PP}$ , $\rho_{PB}$ – радіоактивних, де і - маси |
| <b>Прогноз нерівноваги</b>   | <b>Результати</b>   | <b>Аналіз</b>                      | <b>Висновки</b>           | <b>Прогноз рівноваги</b>   |
|  | <b>X1 =</b>   | маси придатні (чи ні)              |                           |  |
|  | <b>X2 =</b>   | маси придатні (чи ні)              |                           |  |
|  | <b>X3 =</b>   | маси придатні (чи ні)              |                           |  |
|  | <b>X4 =</b>   | маси придатні (чи ні)              |                           |  |

Таблиця 3

Дослідження механічних складових ґрунтового комплексу зсувних ділянок (більше 2000 зсувів в Київській та Черкаській областях ) Середнього Придніпров'я [1]

| <p>Механічні властивості порід знаходяться в безпосередній залежності від їхнього складу і водно балансового стану, а методика вивчення деформаційного поведіння ґрунтів у стані природних і порушених структур дозволяє прогнозувати екологічну безпеку зсувів в описаних породах і може бути рекомендована при вивченні порід інших зсувних районах</p>  |                                   |                             |                                |                       |       |                       |                            |
|--|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------|-----------------------|----------------------------|
| <p><b>Коефіцієнт запасу стійкості</b> зсувного тіла за методом Маслова-Берера з врахуванням фільтраційного тиску визначається за таким виразом:</p> $k = \frac{\sum_{i=1}^n P_i [tg\alpha_i - tg(\alpha_i - \varphi_i)]}{\sum_{i=1}^n P_i tg\alpha_i}$ <p>де <math>tg\alpha_i = tg\varphi_i + C_i \cdot L_i / (P_i \cdot \cos\alpha_i)</math></p> <p><math>P_i</math> - вага блоку, т; <math>C_i</math> - питоме зчеплення, т/м<sup>2</sup>;<br/> <math>\alpha_i</math> - кут нахилу площини ковзання, град.; <math>L_i</math> - довжина поверхні ковзання, м;<br/> <math>\varphi_i</math> - кут внутрішнього тертя, град.; <math>k</math> - коефіцієнт стійкості схилу.</p> |                                   |                             |                                |                       |       |                       |                            |
| № п/п  | Порода                            | Нижня границя текучості, Вт | Нижня границя пластичності, Wp | Число пластичності, Ф | tgγ   | Кут нахилу схилу γ, ° | Зчеплення ґрунту С, кг/см2 |
| 1  | Льос                              | 30,5                        | 17,5                           | 10,5                  | 0,499 | 26,5                  | 0,295                      |
| 2  | морені суглинки                   | 23,5                        | 12,5                           | 11                    | 0,439 | 22,55                 | 0,497                      |
| 3  | прісноводні суглинки              | 32                          | 17                             | 15                    | 0,546 | 28,58                 | 0,17                       |
| 4  | глини                             | 49,5                        | 26                             | 28,5                  | 0,323 | 17,92                 | 0,536                      |
| 5  | строкаті глини                    | 58,5                        | 23                             | 35                    | 0,339 | 19,18                 | 0,647                      |
| 6  | піщано-пилуваті ґрунти            | 44                          | 20,5                           | 21,5                  | 0,481 | 25,52                 | 0,336                      |
| 7  | глина пилувата, тіло зсуву        | 51                          | 22,5                           | 28,5                  | 0,392 | 21,13                 | 0,391                      |
| 8  | глина високопластична, тіло зсуву | 20                          | 51                             | 31,5                  | 0,25  | 14,13                 | 0,739                      |

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Мінімальний ступінь екологічної небезпеки можна оцінити, розв'язавши транспортну задачу лінійного програмування, або задачу геометричного нелінійного програмування, з вірною постановкою умов задач.

2. Геоінформаційна система ГІС MapInfo, чудово зарекомендувала себе для

збереження геоданих. В неї легко інтегруються файли Excel з даними режимних спостережень на прив'язуються до картографічних основ (тематичних шарів візуалізації інформації)

3. Результати розрахунку вказують на існуючий стан ґрунтових комплексів зсувів. При будівництві на тілі стабілізованого зсуву необхідно проводити додаткові вишукування.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Prikhodko V.V., Nikitash A.P. (2012) Engineering geodynamics of Ukraine and Moldova. In 2t.-Chernivtsi: Bukrek, T.1.
2. Гуськов О.И., Кушнарев П. И. Таранов С.М. (1991) Математические методы в геологии. Сборник задач. М., Недра.
3. Каждан А.Б., Гуськов О.И. (1990) Математические методы в геологии. Учебник для вузов. М., Недра.
4. Шестаков Ю.С. (1988) Математические методы в геологии: учеб. для вузов. Красноярск, КИЦМ.
5. Аронов В.И. (1977) Методы математической обработки геологических данных на ЭВМ. М., Недра.
6. Белов Б.Н. и др. (1973) Математические модели в геологии и геостатистика. М., Наука.
7. Беус А.А. и др. (1965) Руководство по предварительной математической обработке геохимических данных при поисковых работах. М., МГУ.
8. Вистелиус А.С. (1980) Основы математической геологии. Л., Наука.
9. Давид М. (1980) Геостатистические методы при оценке запасов руд. М., Недра.
10. Девид Дж. (1977) Статистика и анализ геологических данных. М., Мир.
11. Дубов Р.И. (1976) Математическая обработка данных в поисковой геохимии. Новосибирск, Наука.
12. Йереског К.Г. и др. (1980) Геологический факторный анализ. Л., Недра.
13. Ким Дж. и др. (1989) Факторный, дискриминантный и кластерный анализы. М., Финансы и статистика.
14. Коган Р.И. и др. (1983) Статистические ранговые критерии в геологии. М., Недра.
15. Наумов Б.Н. и др. (1987) ЭВМ массового применения. М., Наука.
16. Павлинов В.Н., Соколовский А.К. (1990) Структурная геология и геологическое картирование с основами геотектоники, часть 2. М., Недра.
17. Родионов Д.А., Коган Р.И., Голубева В.А. и др. (1987) Справочник по математическим методам в геологии. М., Наука.
18. Смирнов Б.И. (1977) Статистические методы в геологии. Львов.
19. Соловов А.П. (1978) Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., МГУ.
20. Фигурнов В.Э. (1995) IBM PC для пользователя. М., Финансы и статистика.