

ІТЕРАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПОВЕРХНЕВОГО ЗАБРУДНЕННЯ

О. М. Ткаченко, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: otkachenko@nubip.edu.ua

А. Р. Мироненко, студент магістратури

E-mail: akrqwer@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. *Моделювання і прогнозування забруднення земної поверхні є важливою задачею для дослідників. Складні ландшафти та неоднорідність ґрунтів значно ускладнюють розрахунки. Моделі є ще складнішими для моделювання урбанізованих територій, де поєднуються об'єкти забудови, відкриті ґрунти, паркові зони, дороги, дренажні системи тощо. З огляду на це, актуальним залишається розробка методів і технологій моделювання у зазначеній сфері, які є одночасно і ефективними, і швидкодіючими.*

Метою дослідження є опис структури даних та принципів ітераційної моделі поширення забруднення поверхні території.

Методологічною основою цього дослідження є метод комп'ютерної симуляції, ітераційний підхід, загальнонаукові методи.

Запропоновано ітераційний підхід моделювання поширення забруднення на поверхні землі. В основі підходу задання поверхні у вигляді матриці, елементами якої є об'єкти з такими полями: відносна висота елемента поверхні, масив значень концентрації шкідливих речовин, коефіцієнти поглинання поверхнею відповідних речовин, інші атрибути. Виявлено проблемні моменти, пов'язані з невідповідністю прямокутної форми елементів матриці та радіальної форми поширення забруднення. Запропоновано ітераційний механізм переміщення частини шкідливої речовини на сусідні суміжні клітинки, який не потребує значних обчислень. Матричне задання поверхні з перепадами висот дозволяє вести мову про орієнтований граф, на якому можна виявляти особливі зважені ланцюги, що задають русла водних потоків від опадів та напрями максимального поширення забруднення.

Ключові слова: *забруднення, ландшафт, ітерація, симуляція, моделювання*

Актуальність. *Забруднення ґрунтів є одним з найсерйозніших техногенний впливів на довкілля, оскільки вони фізично пов'язані з іншими складовими середовища – повітрям, водними (у тому числі підземними) ресурсами та*

біосферою. Стан ґрунтів пов'язаний, як мінімум з двома глобальними проблемами – продовольчою та забезпеченістю питною водою. Глобальний симпозіум з проблем забруднення ґрунтів, який відбувся у травні 2018 р. у Римі, окреслив сучасний стан та всі фактори проблеми: від природних до техногенних. У матеріалах симпозіуму відзначено важливість дослідження проблематики на регіональному рівні, враховуючи всі природні особливості територій [1].

Зважаючи на зазначене, зростає важливість розробки методів і технологій моделювання ареалу і швидкості забруднення ґрунтів внаслідок діяльності промислових об'єктів різного типу, зокрема, впливу на якість продукції сільського господарства та прогнозування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій. Окремої дискусії варта окреслена проблема для високоурбанізованих територій.

Аналіз досліджень та публікацій. Перші системні спроби використати комп'ютери для оцінки параметрів ґрунтів були зроблені ще у 1970-х рр. Так, у [2] описано розроблення цифрової комп'ютерної моделі впливу екологічних факторів та управлінських рішень на стан системи "ґрунт-вода-рослинність". Там же досліджено нестационарні хіміко-біологічні та фізичні зміни в ненасичених ґрунтових матрицях та ґрунтових водах.

Важливою складовою сучасною комп'ютерного моделювання процесів на поверхні земного покриву є підсистема, що об'єднує атрибутивну та геопросторову інформацію. Спектр застосувань таких модулів є широким – від підтримки прийняття рішень у сільському господарстві [3] та управлінні довкіллям до урбаністики та сфери національної безпеки. Такі модулі є основою розрахунків та імітаційних випробувань. Найбільш поширеною методологічною основою комп'ютерного моделювання стану забруднення залишаються методи статистичного аналізу. Так, у [4] виявлено кореляції між вмістом важких металів та органічної речовини і глини, застосовано кластерний аналіз встановив різне походження для різних металів. З ростом популярності картографічних сервісів зросло число їх застосувань для дослідження стану ґрунтів. Наприклад, у [5] запропоновано веб-орієнтовану геопросторову систему підтримки оперативного прийняття рішень у

сільському, лісовому господарстві, містобудуванні. До сучасних трендів при моделюванні динаміки забруднення території можна також віднести застосування технологій штучного інтелекту, зокрема, нейронних мереж, як це запропоновано в [6]. Зважаючи на високу ресурсоемність останнього, науковий інтерес також становлять інші, більш продуктивні підходи, до яких можна віднести симуляцію на основі ітераційного підходу.

Мета дослідження – опис структури даних та принципів ітераційної моделі поширення забруднення поверхні території.

Матеріали та методи дослідження. Методологічною основою цього дослідження є метод комп'ютерної симуляції, ітераційний підхід, загальнонаукові методи.

Результати досліджень та їх обговорення. Верхній шар ґрунтової поверхні ландшафту подамо у вигляді прямокутної матриці L , яка складається з квадратів однакового розміру (рис. 1). Зрозуміло, розмір квадрату нерозривно пов'язаний з деталізацією та розміром регіону ландшафту, охопленого матрицею.

	j				
	→				
i	↓	0; 0	0; 1	0; 2	0; 3
		1; 0	1; 1	1; 2	1; 3
		2; 0	2; 1	2; 2	2; 3
		3; 0	3; 1	3; 2	3; 3

Рис. 1. Матричне задання поверхні ландшафту

Кожен $[i, j]$ -й квадрат – об'єкт деякого класу, серед полів якого можна виділити:

- висоту h_{ij} ;

- лінійний масив P_{ij} значень концентрації шкідливих речовин, що отримуються шляхом наземних проб і/або апроксимації на основі показників вибірки; кожен елемент цього масиву відповідає вмісту відповідної речовини у $[i, j]$ -му квадраті;

- лінійний масив A_{ij} коефіцієнтів поглинання ґрунтом відповідних речовин, значення елементів якого отримується/вираховується за типом ґрунту; так, якщо поверхнею є непроникний матеріал (бетон, метал, асфальт), проникнення вглибину можна вважати нульовим, це може бути актуальним для моделювання міських територій;

- інші атрибути.

Значення h_{ij} елементів матриці визначають дискретизовану об'ємну форму ділянки ландшафту, охопленої матрицею (рис. 2).

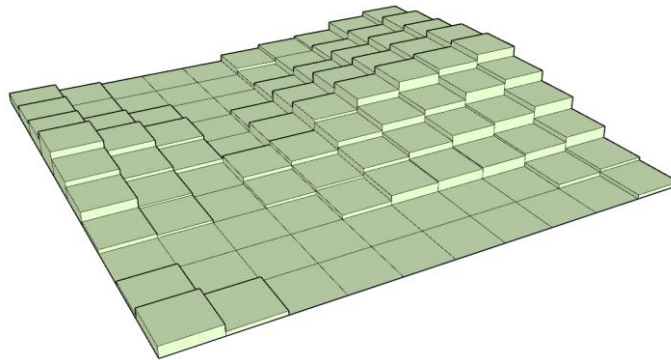


Рис. 2. Дискретизоване об'ємне подання поверхні ландшафту

Розглянемо ітераційний крок поширення деякого об'єму шкідливої речовини як переміщення частини її об'єму на сусідні клітинки (рис. 3).

Для клітинки $[i, j]$ *суміжними* сусідніми називатимемо клітинки, які мають з даною спільне ребро: $[i-1, j]$, $[i, j-1]$, $[i+1, j]$, $[i, j+1]$. Інші сусідні клітинки називатимемо *діагональними* (*кутовими*) *сусідніми*.

Частка перенесеної речовини на поверхню сусідньої клітинки залежить від специфіки самої речовини (в'язкості/текучості, леткості тощо) та її об'єму у $[i, j]$ -й клітинці-джерелі, інтенсивності джерела забруднення (постачальника нового об'єму речовини), швидкості поглинання речовини поверхнею, перепадів висот між

сусідніми клітинками, додаткові фактори поширення, такі як водні потоки від опадів тощо.

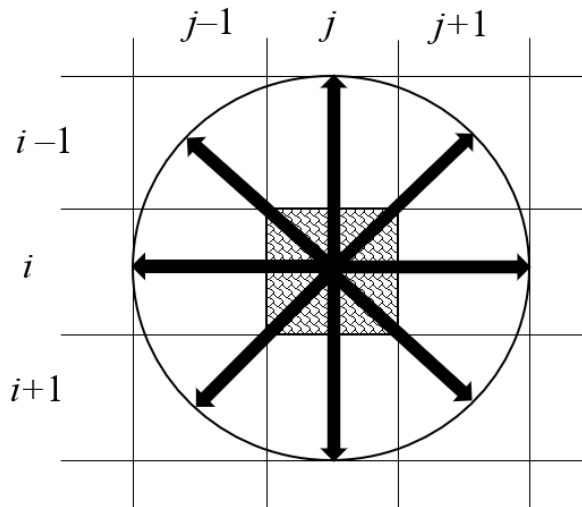


Рис. 3. Перенесення частини шкідливої речовини на сусідні клітинки

При обчисленні кількості та концентрації перенесеної на сусідні клітинки речовини необхідно враховувати радіальність поширення (для випадку однакої висоти сусідніх клітинок) та невідповідність прямокутної і радіальної форми, що обумовлює кілька уточнюючих наслідків. Перший – різною буде *частка* перенесеної речовини на сусідні клітинки. За умови однакої висоти всіх 9 клітинок (див. рис. 3) з клітини-джерела $[i, j]$ більше речовини буде перенесено у суміжні клітинки $[i-1, j]$, $[i, j-1]$, $[i+1, j]$, $[i, j+1]$, менше – у сусідні діагональні. Якщо висоту плями поширення вважати однаковою у всіх її точках, то відношення об'ємів V_1 і V_2 перенесеної речовини можна прирівняти до відношення площ заштрихованих фрагментів клітинок (рис. 4).

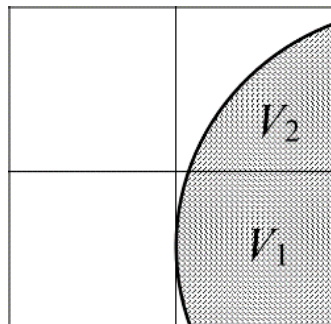


Рис. 4. Нерівномірне перенесення речовини на сусідні клітинки

Другим наслідком є нерівномірність *концентрації* уже перенесеної речовини у різних точках клітинки – чим далі від джерела, тим концентрація нижча (рис. 5).

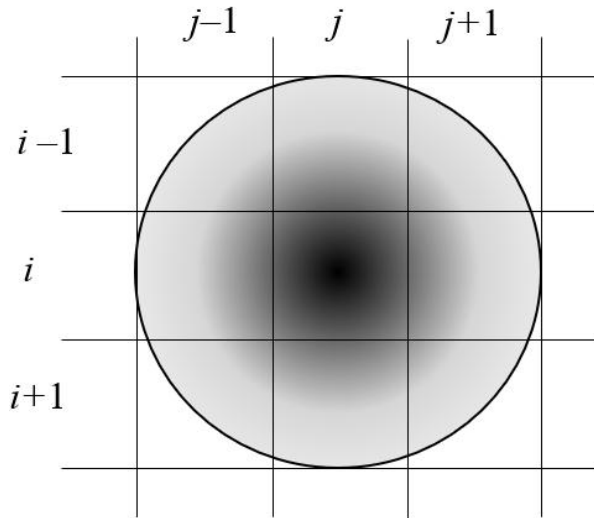


Рис. 5. Нерівномірна концентрація речовини

Третім наслідком є неможливість перенесення речовини на сусідню діагональну клітинку у випадку, коли інші дві суміжні клітинки мають вищу висоту від клітинки-джерела та діагональної (рис. 6).

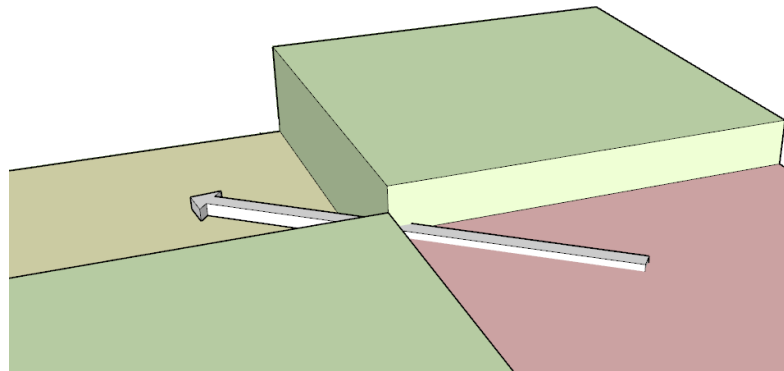


Рис. 6. Блокування сусідньої діагональної клітинки суміжними

У такому випадку перенесення відбувається, коли стовпчик речовини (можливо, з дощовою водою) перевищить висоту нижчої із суміжних блокуючих клітин.

З огляду на зазначене, пропонуємо на кожному кроці ітерації розглядати поширення речовини лише на суміжні клітинки з урахуванням перепадів висот,

поглинання ґрунтом та інших факторів (рис. 7 а). Перенесення на діагональні сусідні клітинки, якщо це дозволяє перепад висот, відбудеться на наступному кроці ітерації, де клітинками-джерелами уже будуть цільові клітинки попереднього кроку ітерації. (рис. 7 б).

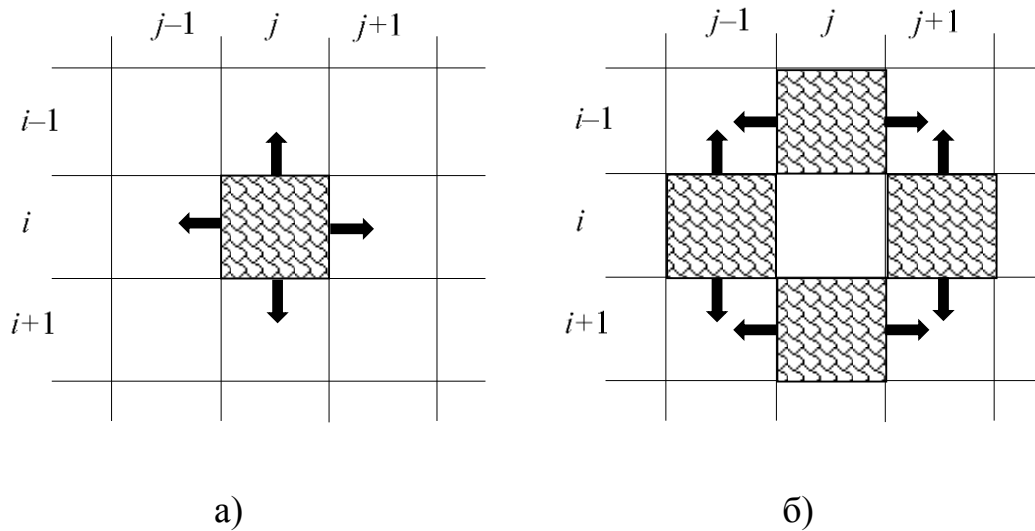


Рис. 7. Перенесення речовини на суміжні сусідні клітинки

Висновки і перспективи. Описаний підхід до моделювання поширення забруднення на ландшафті ґрунтується на поданні ландшафту як матриці об'єктів, що задають характеристики клітин розбиття, та ітераційному принципі перенесення речовини на сусідні суміжні клітинки. Підхід не передбачає надто серйозних навантажень на систему, пов'язаних з інтенсивними обчисленнями, що дозволяє віднести його до швидких. Разом з тим, хороша деталізація ландшафту вимагає досить великого об'єму пам'яті. До переваг описаного підходу також можна віднести можливість передбачення основних потоків поширення забруднення, зокрема, з водою від опадів. Оскільки матриця, яка задає ландшафт, є орієнтованим графом, то русла таких потоків визначаються як шляхи з найбільшою вагою, де під вагою розуміємо як кількість наявної шкідливої речовини (статика), так кількість перенесеної (динаміка), що визначає перспективу подальших досліджень у цьому напрямі.

Список літератури

1. FAO. Proceedings of the Global Symposium on Soil Pollution 2018. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. 976 pp.
2. Dutt G.R., Shaffer M.J., Moore W.J. Computer Simulation Model of Dynamic Bio-Physicochemical Processes in Soils. 1972. 101 pp.
3. Ткаченко О.М. Геопросторова складова інформаційно-аналітичної системи у галузі рослинництва. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2013. №184. Ч.1. Серія "Техніка та енергетика АПК". С.150-157.
4. Dragovića S., Mihailovića N., Gajić B. Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. Chemosphere. 2008. Vol. 72, Issue 3, pp. 491-495.
5. Terribile F., Agrillo A., Bonfante A. and others. A Web-based spatial decision supporting system for land management and soil conservation. Solid Earth, 6, 903–928. doi:10.5194/se-6-903-2015.
6. Tarasov D. A., Medvedev A. N., Sergeev A. P., Shichkin A. V., Buevich A. G. A hybrid method for assessment of soil pollutants spatial distribution. AIP Conference Proceedings. 2017, pp. 050015-1-050015-4. doi:10.1063/1.4992212.

References

1. FAO. (2018). Proceedings of the Global Symposium on Soil Pollution 2018. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 976.
2. Dutt, G.R., Shaffer, M.J., Moore, W.J. (1972). Computer Simulation Model of Dynamic Bio-Physicochemical Processes in Soils, 101.
3. Tkachenko, O. (2013). Geoprostorova skladova informatsiino-analitychnoi systemy u haluzi roslynyystva [Geospatial component of the information-analytical system in crop]. Scientific Journal of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series "Tekhnika ta enerhetyka APK", 184, 150-157.
4. Dragovića, S., Mihailovića, N., Gajić, B. (2008). Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. Chemosphere, 72 (3), 491-495.
5. Terribile, F., Agrillo, A., Bonfante, A., Buscemi, G., Colandrea, M., D'Antonio, A., De Mascellis, R., De Michele, C., Langella, G., Manna, P., Marotta, L., Mileti, F.A., Minieri, Orefice, N., Valentini, S., Vingiani, S., Basile, A. (2015). A Web-based spatial decision supporting system for land management and soil conservation. Solid Earth, 6, 903–928. doi:10.5194/se-6-903-2015.
6. Tarasov, D. A., Medvedev, A. N., Sergeev, A. P., Shichkin, A. V., Buevich, A. G. A hybrid method for assessment of soil pollutants spatial distribution. 2017 AIP Conference Proceedings, 1863, 050015 (2017). doi: 10.1063/1.4992212.

ИТЕРАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А. Н. Ткаченко, А. Р. Мироненко

Моделирование и прогнозирование загрязнения земной поверхности является важной задачей для исследователей. Сложные ландшафты и неоднородность почв значительно усложняют расчеты. Модели становятся еще сложнее для моделирования урбанизированных территорий, где сочетаются объекты застройки, открытая почва, парковые зоны, твердое покрытие, дренажные системы и тому подобное. Учитывая это, актуальным остается разработка методов и технологий моделирования в указанной сфере, которые являются одновременно и эффективными, и быстродействующими.

Целью исследования является описание структуры данных и принципов итерационной модели распространения загрязнения поверхности территории.

Методологической основой данного исследования является метод компьютерной симуляции, итерационный подход, общенаучные методы.

В статье предложен итерационный подход моделирования распространения загрязнения на поверхности земли. В основе подхода задание поверхности в виде матрицы, элементами которой являются объекты с такими полями: относительная высота элемента поверхности, массив значений концентрации вредных веществ, коэффициенты поглощения поверхностью соответствующих веществ, другие атрибуты. Выявлены проблемные моменты, связанные с несоответствием прямоугольной формы элементов матрицы и радиальной формы распространения загрязнения. Предложен итерационный механизм перемещения части вредного вещества на соседние смежные клетки, который не требует значительных вычислений. Матричное задание поверхности с перепадами высот позволяет говорить об ориентированном графе, на котором можно выявлять особые взвешенные цепи, задающие русла водных потоков от осадков и направления максимального распространения загрязнения.

Ключевые слова: *загрязнение, ландшафт, итерация, симуляция, моделирование*

ITERATIVE MODELING OF SURFACE POLLUTION DYNAMICS

O. Tkachenko, A. Myronenko

Abstract. *Modeling and forecasting of the land surface pollution is an important task for researchers. Complex landscapes and soil heterogeneity make calculations more complicate. Models are becoming even more complicate to simulate for urban areas, which combine building objects, open soil, park areas, roads, drainage systems etc. Considering this, it remains relevant to develop methods and technologies for modeling in this field that are efficient and fast.*

The purpose of the study is to describe the data structure and principles of the iterative model of distribution of surface contamination of the territory.

The methodological basis of this study is a computer simulation method, iterative approach, general scientific methods.

The article proposes an iterative approach to modeling the spread of contamination on the land surface. At the base of the approach is giving the surface as a matrix which elements are objects with such fields: relative height of the surface element, array of values of the substances, coefficients of absorption by the surface of the corresponding substances, and other attributes. Problem points associated with the mismatch of the rectangular shape of the matrix elements and the radial direction of the contamination spread have been identified. The iterative mechanism of moving a part of a harmful substance into adjacent cells is proposed, which does not require significant computations. The matrix structure of the surface with altitude differences allows us to speak of an oriented graph, on which we can identify special weighted chains that determine the water channels after rainfall and the direction of maximum spread of contamination.

Key words: *pollution, landscape, iteration, simulation, modeling*