2. Grinfeld G.I., Harchenko A.P. Comparative tests of fragments of autoclaved aerated concrete masonry with different designs of the masonry joint. *Housing construction*. 2013. No. 11, pp. 30–34. (In Russian).
3. Technical report on the possibility of using polyurethane foam adhesive «TYTAN PROFESSIONAL. Adhesive for masonry of aerated concrete and ceramic blocks» for masonry of walls made of autoclaved aerated concrete blocks and other masonry materials with smooth surfaces in the conditions of Russia / O.I. Ponomarev [et al.]. Moscow: TsNIISK named after V.A. Kucherenko, 2016. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

GAVRILENKO Alexey Vladimirovich – Senior Teacher of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *GavrilenkoAV@tstu.tver.ru*
LEVIKOV Alexander Valeryevich – Ph.D., Associate Professor of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *leviksa@mail.ru*
BARKAYA Temur Raufovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *btrs@list.ru*
HANYGIN Dmitry Aleksandrovich – Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *mityay1980@yandex.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Gavrilenko A.V., Levikov A.V., Barkaya T.R., Hanygin D.A. Experimental study of punching shear of unbonded post-tensioned reinforced concrete slabs // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 26–32.

УДК 615.035.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Н.П. Курбатов
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Курбатов Н.П., 2021

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме применения математического аппарата для решения задач градостроительства и сельского хозяйства. Использование фрактальной теории позволяет разработать методы экспресс-прогнозирования и районирования осушительных и оросительных мелиораций.

Ключевые слова: фрактал, градостроительный анализ, экспресс-прогнозирование.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-32-37

При определенной агротехнике сельскохозяйственные земли оцениваются по степени засушливости через соотношение между потребностью данной культуры в воде на транспирацию растений плюс испарение почвы за вегетационный период и наличием естественных ресурсов влаги [1].

Деградация почв выражается уменьшением продуктивности, ухудшением физических, химических или биологических их свойств из-за ветровой или водной эрозии, долговременной утратой природной биоты. Деградация земель происходит в результате нарушения экологического баланса.

Рекомендованный коэффициент увлажнения К. Торнтвейта [6] представляет собой отношение ресурсов влаги к потребности в воде, определяемой через испаряемость:

$$\text{КУТ} = \frac{P_{\text{год}}}{E_{0\text{год}}},$$

где $P_{\text{год}}$ – годовая сумма осадков, мм; $E_{0\text{год}}$ – испаряемость за год, мм.

На карте России изолиния КУТ, равная 0,65, соответствует границе засушливых земель (северной границе сухих субгумидных) [5]. Эта граница проходит в пределах как типично степных, так и сухостепных ландшафтов. Границей между сухими субгумидными и полузасушливыми землями служит изолиния 0,50. Полузасушливые земли представлены отчасти сухостепными, большей частью – полупустынными и иногда пустынными ландшафтами.

С увеличением засушливости местности возрастает потребность культуры в воде. В результате возникает дефицит необходимой влаги и появляется необходимость в орошении.

Фрактальная теория, основанная на целостном представлении объекта как совокупности элементов, может быть использована для районирования территории.

Фракталы являются сугубо математическим понятием. В 1967 г. Б. Мандельброт [2] связал свойство природных объектов с фракталами. Он предложил новую характеристику их протяженности – фрактальную размерность (фрактал означает «фрагментированный» и представляет собой бесконечно самоподобную геометрическую фигуру). Использование фрактальной теории, основанной на целостном представлении объекта как совокупности элементов, взаимосвязь которых порождает свойство самоподобия, весьма эффективно как для описания морфологии рельефа, так и для выявления закономерностей динамики геоморфосистем, в том числе развития эрозии и увеличения эродированных сельскохозяйственных земель.

Охарактеризовать природный объект с помощью фрактальной размерности можно традиционным способом: исследуемый объект покрывают сеткой с размером ячейки ε и подсчитывают количество ячеек сетки $N(\varepsilon)$, покрывающих изучаемый объект. С уменьшением размера ε ячейки сетки количество таких ячеек $N(\varepsilon)$ увеличивается. Емкостная (фрактальная) размерность объекта определяется как

$$D = -\lim \frac{\lg N(\varepsilon)}{\lg \varepsilon}. \quad (1)$$

У природного фрактала интервал самоподобия ограничен размером ячейки покрытия. Все фракталы, обладающие хотя бы какими-нибудь признаками симметрии, самоподобны, т.е. некоторые фрагменты их структуры строго повторяются через определенные пространственные промежутки. Эти объекты могут иметь любую природу, причем их вид и форма остаются неизменными независимо от масштаба. Его размер может варьироваться в определенном диапазоне, максимальное значение которого определяется размерами объекта, а минимальное – его элементарным структурным элементом (размерами оцифрованной карты и минимальным элементом изображения – пикселем).

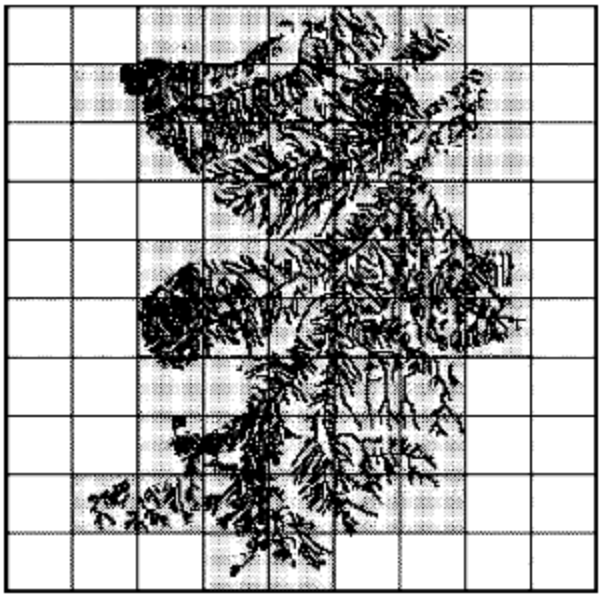
Формула (1) не всегда применима, и для оценки фрактальной размерности необходимо применение численного алгоритма, который заключается в получении зависимости числа ячеек покрытия фрактала от размера ячейки, выделении на ней линейного участка и аппроксимации зависимости на этом участке линейной функцией [3].

Фрактальный подход был впервые применен в градостроительном анализе для оценки размера, однородности, разнообразия и степени плотности планировочных элементов. Он считается более эффективным по сравнению с традиционными методами градостроительного анализа.

Будучи количественной характеристикой структуры объекта, фрактальная размерность (D) позволяет, например, находить параметры площади или периметр городской застройки с заданным уровнем приближения и независимо от единиц измерения. Согласно теоретическим положениям, фрактальная размерность на двумерном изображении варьируется от высоких значений ($D \to 2$), при которых структура объекта более однородна, полностью заполнена, до низких значений ($D \to 1$), присущих более фрагментарной («рваной») структуре, например городской планировке, характеризующейся наличием неосвоенных пространств либо естественных или искусственных ограничений.

Оценку фрактальной размерности методом плотности заполнения городской территории для разных городов П. Франкхаузер в 1998 г. предложил выполнять двумя способами: с помощью метода сетки и с помощью концентрических окружностей. Эти два метода могут быть комбинированы.

Теория фракталов была использована для изучения овражно-балочной сети (ОБС) на территории г. Саратова. Анализ показал, что значения фрактальной размерности D находятся в некотором интервале значений размерности, зависящей от выбора участков: D = 1,59–1,66 (рисунок) [3]. При исследовании Елшанского ландшафтного района была получена следующая зависимость числа ячеек покрытия от размера ячейки: D = 1,61. Отрезок, используемый для вычисления величины фрактальной размерности, характеризуется двумя числами: максимальным и минимальным размерами ячеек покрытия (ε_{max} и ε_{min} соответственно).



Структура ОБС Елашанского ландшафтного района (г. Саратов) [3]

Значение фрактальной размерности отражает энергетическую напряженность ОБС как геолого-геоморфологической системы на анализируемом участке. Овражно-балочная сеть, развивающаяся в более жестком, гетерогенном по вещественному составу горных пород геологическом субстрате, характеризуется более низким значением фрактальной размерности *D*. Например, ОБС Лысогорского ландшафтного района, плато которого сложено наиболее разновозрастными, разнофациальными отложениями, имеет наименьший показатель $D = 1{,}54$.

Потребность сельскохозяйственных культур в воде оценивается с помощью КУТ. Чем больше его значение, тем больше потребность сельскохозяйственных культур в воде. Она варьируется для одной и той же культуры не только в различных районах, но и в разные годы в одном и том же районе.

Для оценки и районирования территорий под орошение с помощью фрактальной размерности можно использовать следующую методику:

а) карта района разбивается на клетки, часть которых будет иметь площади под орошение, а часть будут пустыми (строения, дороги, леса, озера, скверы и т.п.); размер квадратов в сетке можно варьировать;

б) большой размер квадрата, охватывающий весь район, фрактальная размерность равна 2, если уменьшить размер квадрата до 20–50 м, то размерность уменьшится. При уменьшении размера квадрата (итерации) изменяются количество подсчитанных элементов – квадратов (N) и размер исследуемой площади (r);

в) фрактальная размерность подсчитывается по формуле

$$D = \lg N(r) / \lg(1/r), \qquad (2)$$

где r – коэффициент (т.е., например, если предыдущая клетка дробится на 16 клеток, то $r = 4$, если на 9, то $r = 3$). За N принимаем количество земельных квадратов, нуждающихся в орошении на анализируемом масштабе, т.е. если площадь под орошение имеется в 9 квадратах из 9, то $D = 2$, если в 4 квадратах из 9, то $D = 1{,}26$, и т.д.;

г) проводится следующая итерация и подсчитывается размерность на более мелкой сетке, т.е. идет поэтапное сокращение размера сетки элементов от крупно- к мелкозернистому;

д) на клетки разбиваются только площади под орошение, и проводится детализация по степени засушливости территории. По показателю фрактальности (*D*) можно подсчитать потребность в воде.

По количеству клеток и фрактальной размерности (*D*) устанавливаются:

отношение орошаемых площадей к общей площади района;

расстояния от полей орошения до дорог и между полями орошения;

формы и структуры сельскохозяйственных площадей с дефицитом влаги;

необходимое количество воды на орошение той или иной сельскохозяйственной культуры;

системы размещения механизмов для орошения и их привязка к транспортным сетям;

плотность населения и места приложения труда.

Фрактальное моделирование позволяет представить и классифицировать направления потенциального освоения площадей под производство сельскохозяйственных культур. Фрактал выглядит одинаково независимо от масштаба.

Методы фрактального анализа могут быть использованы для экспресс-прогнозирования и районирования осушительных и оросительных мелиораций. Однако располагая только внешним видом объекта и не используя никакой дополнительной информации, истинный его размер оценить невозможно.

Прикладной аспект фрактальной теории может быть использован при классификации территорий сельскохозяйственного назначения различных масштабов. Применение фрактального подхода позволяет выполнять качественную оценку сельскохозяйственных площадей с дефицитом или с недостатком влаги вне зависимости от их масштаба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз. 1960. 662 с.
2. Мандельброт Бенуа. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьют. исслед. 2002. 656 с.
3. Иванов А.В., Короновский А.А., Минюхин И.М., Яшков И.А. Определение фрактальной размерности овражно-балочной сети города Саратова // *Известия вузов «ПНД»*. Т. 14. № 2. 2006.
4. Гущина Е.С., Смогунов В.В. Фрактальная размерность в оценке планировочной структуры крупного города // *Современные научные исследования и инновации*. 2016. № 2 (58). С. 110–116.
5. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. Площадь засушливых земель равнин России // *Аридные экосистемы*. 2009. Т. 15. № 1 (37). С. 5–12.
6. United Nations Convention to Combat Desertification. 1994. https://www.state.gov/wp-content/uploads/2019/02/01-215-Multilateral-Environ-Desertification.pdf (дата обращения: 19.10.2021).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

КУРБАТОВ Николай Павлович – канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, теплотехники и гидропривода, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *kurbatov.nikolai@rambler.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Курбатов Н.П. Использование фрактальной теории при оценке сельскохозяйственных территорий // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии. 2021. № 4 (12). С. 32–37.

USE OF FRACTAL THEORY IN THE ASSESSMENT OF AGRICULTURAL AREAS

N.P. Kurbatov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article is devoted to the actual problem of using mathematical apparatus to solve problems of urban planning and agriculture. The use of fractal theory makes it possible to develop methods of express forecasting and zoning of drainage and irrigation reclamation.

Keywords: fractal, urban planning analysis, express forecasting.

REFERENCES

1. Kostyakov A.N. Osnovy melioracii [Basics of land reclamation]. Moscow: Sel'hozgiz. 1960. 662 p.
2. Mandel'brot Benua. Fraktal'naya geometriya prirody [Fractal geometry of nature]. Moscow: In-t komp'yut. issled. 2002. 656 p.
3. Ivanov A.V., Koronovskij A.A., Minyuhin I.M., Yashkov I.A. Determination of the fractal dimension of the gully-beam network of the city of Saratov / *Izvestiya vuzov «PND»*. Vol. 14. No. 2. 2006. (In Russian).
4. Gushchina E.S., Smogunov V.V. Fractal dimension in estimation of a large city planning structure. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. No. 2 (58), pp. 110–116. (In Russian).
5. Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A. The area of the arid lands of the plains of Russia. *Aridnye ekosistemy*. 2009. Vol. 15. No. 1 (37), pp. 5–12. (In Russian).
6. United Nations Convention to Combat Desertification. 1994. https://www.state.gov/wp-content/uploads/2019/02/01-215-Multilateral-Environ-Desertification.pdf (date of access: 19.10.2021).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

KURBATOV Nikolai Pavlovich – Ph.D., Associate Professor of the Department of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *kurbatov.nikolai@rambler.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Kurbatov N.P. Use of fractal theory in the assessment of agricultural areas // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 32–37.