

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-189-191

**ОБ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛАНДШАФТОВ
НА ОСНОВЕ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ****ON THE ESTIMATION OF THE ECOLOGICAL CONDITION
OF LANDSCAPES THROUGH MULTIFRACTAL DYNAMICS****Кульнев В.В.¹, Насонов А.Н.²**Kul'nev V.V.¹, Nasonov A.N.²

e-mail: kulnev@grn36.ru

¹Центрально-Черноземное межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования²Московский государственный университет геодезии и картографии¹Central Black Earth Interregional Department Federal Service for Supervision in the Use of Natural Resources²Moscow State University of Geodesy and Cartography

Аннотация. В настоящее время методический арсенал, обеспечивающий сопровождение прикладного ландшафтоведения, достаточно широк. Вместе с тем, для некоторых ландшафтов, особенно расположенных в северных широтах, свойственна низкая степень устойчивости к техногенному воздействию. Приведенная методика может быть использована как при биотестировании, так и при биологической индикации состояния отдельных элементов ландшафтов. Отличительной чертой представленного подхода является высокая эффективность при сравнительно низких экономических затратах.

Abstract. At the moment, the methodological arsenal providing support for applied landscape science is quite extensive. Nevertheless, some landscapes, particularly those located in northern latitudes, are characterized by a low degree of resistance to anthropogenic impact. The presented methodology can be used both for biotesting and for biological indication of the condition of individual landscape elements. A distinctive aspect of the presented approach is its high efficiency at relatively low economic expenses.

Ключевые слова: биоиндикация, биотестирование, бистабильность, оценка состояния ландшафтов, техногенное воздействие, фрактал.

Keywords: bioindication, biotesting, bistability, landscape assessment, anthropogenic impact, fractal.

Проблематика оценки экологического состояния ландшафтов является стержневой природоохранной задачей, решение которой подразумевает перманентный поиск все новых способов достижения указанной цели. В существующих реалиях именно экономическая целесообразность применимости того или иного методологического подхода является определяющим фактором.

Известно, что биота является вершиной экологической пирамиды. Структура любого отдельно взятого природного ландшафта в независимости от его географического расположения также имеет пирамидальную форму. В условиях всё возрастающего техногенного воздействия природные ландшафты испытывают перманентно усиливающееся неблагоприятное влияние техногенных факторов, подкрепленное кумулятивным эффектом от загрязнения. В основаниях, как экологической пирамиды, так и фигурального выражения структуры техногенно нагруженного ландшафта находится почвенный покров. Однако на вершине вместо биоты имеется техногенная составляющая.

Практика осуществления природоохранной деятельности показывает, что в решении разноплановых инвайроментальных задач необходимо придерживаться биотоцентричной концепции, в том числе, и с помощью новых методологических подходов. Ведь определение качества атмосферного воздуха, природных вод, почвенного покрова, измерение физических факторов (шум, вибрация, радиоактивность) носит констатирующий характер для конкретной среды.

Использование методов биологической индикации и биотестирования позволяет определить кумулятивный отклик объектов животного и растительного мира на абиотические факторы техногенно измененной среды.

Аналитический обзор некоторых опубликованных результатов проведения оценки состояния техногенно нагруженных территорий, выполненной отечественными и зарубежными исследователями показывает следующее.

Так, в работе, выполненной в Поморском государственном университете им. М.В. Ломоносова [5], приведены методы экспертных оценок состояния окружающей природной среды, в том числе ландшафтов. Подробно освещены вопросы проведения опросов экспертов, критериев оценки их работы и нахождения весовых коэффициентов влияющих факторов. Приведены примеры реализации экспертных методов на практике – в геоэкологическом картографировании.

Так, на конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем», группой авторов из Института озераведения Российской академии наук была озвучена комплексная оценка состояния реки, протекающей в границах урбанистического ландшафта, основанная на биологической индикации по трем сообществам живых организмов [1].

Так, исследование [3] посвящено комплексной оценке состояния воздушного бассейна населенных мест экологически кризисного региона. Авторами выявлены закономерности распределения некоторых аэрополлютантов в городах и сельских районах Донецкой Народной Республики.

Так, московскими учеными было проведено исследование ландшафтов методом ландшафтно-геохимического профилирования по площадкам катен, заложенным в направлении потока вещества от

автономных позиций к подчиненным. Показано, что техногенное воздействие способно изменить как направленность потоков вещества, так и радиальные связи, осуществляющиеся через талые весенние, поверхностные воды, почвы и биогенную миграцию элементов [13].

Так, проблематике оптимизации ландшафтно-экологической обстановки в муниципалитетах Воронежской области посвящена научная статья Владимира Борисовича Михно [9].

В отличие от вышеприведенных способов в работе [8] разработана новая модель, повышающая информативность, как биологической индикации, так и биотестирования почв как компонента ландшафтов за счет описания самоорганизации как переходного процесса. В этом случае мера фрактальности объекта является, в некотором роде, характеристикой динамики его развития. В проведенном исследовании определялась зависимость фрактальных характеристик листовой пластины березы с помощью программного обеспечения «Gwyddon» в зависимости от места ее прорастания.

Как известно, любая динамическая система, к которой, безапелляционно, в полной мере, относится экологическая система любого уровня, равно как и техно-природная система, обладают открытостью и функционируют в уникальных лимитах достаточности действующих факторов. Благодаря саморегуляции состояний поддерживается гомеостаз экосистемы, под которым понимается ее способность поддерживать устойчивое динамическое равновесие в изменяющихся условиях внешней среды [12].

Механизм саморегуляции экологических систем всех типов, описываемый фракталом, задает такой строй ценозов, который поддерживается за счет сальдо между поступающими и исходящими токами вещества и энергии [2].

Следовательно, фрактальность отражает меру самоподобия техногенной и природной взаимодействующих составляющих в рамках одной, отдельно взятой системы [7, 10].

$$N(\delta) = \mu\delta^{1-D} \quad (1)$$

где: $N(\delta)$ – структура (размер) ландшафта, $\mu\delta$ – шаг масштабирования, D – фрактальная мера самоподобия техноприродных процессов.

Для связи фрактальности экосистемы с ее жизнеспособностью введем непрерывную функцию фрактальной «температуры» техногенных процессов на интервале $D \in (1; 2)$ следующим образом [10]:

$$T_f = a \cdot \left(\frac{1}{(n-D)} - \frac{1}{n} \right) \quad (2)$$

где: D – фрактальный показатель ландшафта, n – размерность пространства, в которое вложен фрактальный объект, a – поправочный коэффициент, выбираемый индивидуально (в нашем случае $n = 2$, $a = 1$).

На основании изложенного материала, мультифрактальную динамику природно-техногенных процессов можно представить следующей моделью:

$$D = \sum_{j=1}^2 a_{ij} F_j(D)/2; 1,2 \leq D \leq 1,7 \quad (3)$$

где: D – фрактальная мера техногенного преобразования ландшафта. $F_j(D)$ – факторные нагрузки экосистемы, a_{ij} – коэффициенты действующих факторов [11].

Решениям $D \rightarrow 1,5$; $R_e \rightarrow 0$ соответствует наиболее благоприятная динамика состояния ландшафта, при которой загрязнение утилизируется без затрат биоресурса. В этом состоянии обеспечивается наиболее продуктивный метаболизм, определяющий максимальную развитость структуры при минимизации экологических рисков [4].

Решениям $1,2 < D < 1,7$; $0 < R_e < 1$ соответствует саморегулируемая динамика состояния ландшафта, при которой обеспечивается утилизация загрязнений с частичными затратами биоресурса, восстанавливаемыми естественным образом после снятия нагрузки.

Решениям $D \rightarrow (1,2 \vee 1,7)$; $R_e \rightarrow 1$ соответствует неустойчивая динамика (бистабильность) состояния ландшафта, при которой утрачиваются свойства резистентности (саморегуляции состояний) в результате истощения биоресурса. В этом состоянии ресурса экологической системы явно недостаточно, чтобы запустить саморегуляцию, а, значит, утилизировать поступающие извне загрязнения [14].

Решениям $D > 1,7$; $R_e = 1$ соответствует наиболее неблагоприятная, кризисная динамика, при которой наблюдаются необратимые качественные изменения состояния ландшафта, несмотря на снятие внешней нагрузки [12].

В ходе серии исследований на различных техногенных объектах установлено, что значение фрактальной размерности увеличивается по мере приближения к источникам техногенного воздействия. Равно при удалении от указанных объектов негативного воздействия, значения фрактального показателя листовой пластины березы снижается. Здесь важно отметить, что компьютерная программа «Gwyddon» распознает изображение листа березы как объемный объект. Поэтому в ходе исследования установлено, что для корректной интерпретации результатов, которая согласуется с приведенным ранжированием, необходимо из полученных значений вычесть единицу (двумя метрическими характеристиками обладает плоский геометрический объект) [6]. Значения фрактальной размерности, с учетом приведенной поправки, находились в интервале от 1,0 до 1,7. Приведенный интервал значений фрактальной размерности ли-

стовой пластины березы свидетельствует о саморегулируемой динамике состояния почвы.

То есть почва как компонент ландшафта является способной к самовосстановлению при условии снижения уровня нагрузки. Определение фрактальных характеристик листовых пластин березы с помощью специального программного обеспечения является наименее ресурсоемким, и одновременно, адекватным и математически достоверным способом оценки текущего состояния техногенно измененных ландшафтов.

Благодарности. Авторский коллектив выражает благодарность действительному члену Российской академии наук Владимиру Николаевичу Большакову за стимул к проведению исследований.

Литературы

1. Беляков В.П., Станиславская Е.В., Капустина Л.Л. Оценка экологического состояния реки в урбанистическом ландшафте на основании комплексной оценки биотических показателей трех биологических сообществ // Сборник тезисов докладов II Международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем», Санкт-Петербург, 10–14 октября 2011 года / Институт озерадения РАН. – Санкт-Петербург. Типография Любавич, 2011. С. 40.
2. Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н., Солнцев Л.А. Фрактальные аспекты структурной устойчивости биотических сообществ // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера», 2013, Т.5. №2. С. 143-159.
3. Грищенко С.В., Грищенко И.И., Басенко И.Н. Комплексная гигиеническая оценка современного состояния воздушной среды техногенного региона и степени ее опасности для здоровья населения // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2022. Т. 26. №1. С. 20-28.
4. Здоровцов В.А., Пендюрин Е.А. Определение антропогенной нагрузки на особо охраняемые природные территории государственного природного заповедника «Белогорье» // Вектор ГеоНаук. Белгород. 2018. Т.1. №1. С. 87-92.
5. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии: монография. Архангельск. Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2008. 236 с.
6. Кульнев В.В. Оценка экологического состояния территории с помощью определения фрактальных характеристик листьев березы субарктической (*Betula subarctica*) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022. № 19. С. 187-189. <https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.034>.
7. Кульнев В.В., Насонов А.Н., Цветков И.В., и др. Оценка техногенной нагруженности Нижнетагильского городского пруда и управление геоэкологическими рисками на основе мультифрактальной динамики // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21. № 1. С. 4-11. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-1-4-11>.
8. Кульнев В.В., Насонов А.Н., Цветков И.В. и др. Биотестирование почв на основе фрактальных характеристик растений // Принципы экологии. 2020а. № 4(38). С. 40-53. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2020.10662>.
9. Михно В.Б. Современные проблемы оптимизации ландшафтно-экологической обстановки муниципальных образований Центрального Черноземья // Материалы V Всероссийской межведомственной научно-практической конференции с международным участием «Муниципальные образования регионов России: проблемы исследования, развития и управления», Воронеж, 10–12 ноября 2022 года / Под общей редакцией Р.Е. Рогозиной. Воронеж. Цифровая полиграфия, 2022. С. 265-268.
10. Насонов А.Н., Цветков И.В., Жогин И.М., Кульнев В.В., Репина Е.М., Кириосов С.Л., Звягинцева А.В., Базарский О.В. Фракталы в науках о Земле: учебное пособие. Воронеж. Издательство «Ковчег». 2018. 82 с.
11. Розенберг Г.С. Введение в теоретическую экологию. В 2-х томах. Тольятти: «Кассандра». 2013. Т.1 564 с. Т.2 445 с.
12. Трубецков Д.И. Феномен математической модели Лотки-Вольтерры и сходных с ней. Известия Вузов «ПНД» т.19. №2. 2011. С. 69-88.
13. Хрусталева М.А., Суслов С.В., Бойценюк Л.И. Влияние антропогенеза на формирование ландшафтов с оценкой их экологического состояния // Проблемы региональной экологии. Москва. 2020. № 6. С. 51-55. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2020-6-51-55>.
14. P. Turchin Evolution in population dynamics. Nature. 424. 257-258 (17 July. 2003).