

Оценка экологического состояния территории с помощью определения фрактальных характеристик листьев березы субарктической (*Betula subarctica*)

Кульнев В.В.

Центрально-Черноземное межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, Воронеж, kulneff.vadim@yandex.ru

Аннотация. При всем многообразии методов, применяемых для наблюдения за состоянием окружающей среды на территории горно-обогатительных комбинатов, способов оценки ее качества и прогноза изменения, известные подходы отличаются большой ресурсоемкостью, относительно высокой стоимостью осуществления и сложностью интерпретации результатов исследований, которые ранжируются относительно воздействия на человека. В данной работе сделана попытка разработки оценочной шкалы, с помощью которой можно было бы ранжировать состояние наземных экологических систем в зоне деятельности горно-обогатительного комбината, либо других типов промышленных предприятий. В качестве математического аппарата использовалось явление фрактальности природных объектов. В частности, определялось значение фрактальной размерности листовой пластины березы субарктической с помощью специального программного обеспечения. В работе приведено ранжирование состояния экосистемы в зависимости от значения фрактальной размерности листа березы субарктической. Показано, что по мере удаления от источника техногенного воздействия значение фрактальной размерности уменьшается, что объясняется минимизацией негативного воздействия, и наоборот. Приведенная методика может быть использована при проведении экологического мониторинга на территории деятельности промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Выгодным отличием описанного подхода является низкая ресурсоемкость, относительно малая затратность и высокая эффективность.

Ключевые слова: биотестирование, бистабильность, горнодобывающая промышленность, техногенное воздействие, фрактал, хаос, экологическая система.

Assessing the ecological condition of an area by determining the fractal characteristics of the leaves of the subarctic birch (*Betula subarctica*)

Kulnev V.V.

Central Black Earth Interregional Office of the Federal Service for Supervision of Natural Resources Management, Voronezh, kulneff.vadim@yandex.ru

Abstract. . With all the variety of methods used to monitor the state of the environment in mining areas, assess its quality and forecast changes, the known approaches are highly resource-intensive, relatively expensive to apply, while research results ranked in relation to the impact on humans are difficult to interpret. This work attempts at elaborating a scale, which could be used to rank the state of terrestrial ecological systems in the area of the mining and processing plant or other types of industrial enterprises. The phenomenon of fractality of natural objects was used as a mathematical apparatus. In particular, the value of the fractal dimension of a birch subarctic leaf plate was determined by special software. The paper ranks the ecosystem state depending on the value of the fractal dimension of the subarctic birch leaf. It is shown that the fractal dimension value decreases with distance from the source of anthropogenic influence that can be explained by minimization of negative impact and vice versa. The given method can be used for ecological monitoring in the territory of industrial and agricultural enterprises. The advantageous difference of the described approach is low resource intensity, relatively low cost and high efficiency.

Keywords: biotesting, bistability, mining, anthropogenic impacts, fractal, chaos, ecological system.

Введение

Несомненно, оценка состояния техногенно нагруженных территорий представляет собой одну из стержневых экологических задач, которая, в настоящее время решается различными спосо-

бами. При этом ключевым признаком, согласно которому происходит ранжирование применяемых методических подходов, является их экономическая целесообразность.

В работе (Кульнев и др., 2020 а) предложен метод оценки состояния тест-объекта, основанный на зависимости фрактальных характеристик проростков от места и условий произрастания овса посева. То есть фрактальные параметры позволяют судить о степени развитости растения и о том, насколько благоприятны внешние условия для его роста (Кульнев и др., 2020 а).

В развитие описанного методического подхода, было проведено настоящее исследование, целью которого является повышение эффективности биотестирования почв с помощью определения фрактальных характеристик растений.

Материалы и методы исследования

В исследовании (Кульнев, 2011; Кульнев и др., 2011) приведена геоэкологическая оценка состояния территории деятельности Ковдорского ГОКа, основанная на определении химического состава почв, поверхностных и подземных вод.

Позитивным отличием данного способа биотестирования является отсутствие необходимости выращивания тест-объекта на тестируемой почве. Определение фрактальных характеристик производится по фотографиям листовых пластин, сбор которых осуществляется на исследуемой территории.

В настоящем исследовании в качестве тест-объекта, нами была выбрана береза субарктическая (*Betula subarctica*). Сбор листьев березы субарктической производился по равномерной сети пробоотбора, заложенной на территории деятельности Ковдорского горно-обогатительного комбината. На каждой точке наблюдения производился сбор от 30 до 40 листьев березы субарктической. Определение фрактальных характеристик листовых пластин березы субарктической осуществлялось с помощью программного обеспечения «Gwyddon» (Программное обеспечение Gwyddon).

Результаты и их обсуждение

Определение фрактальных характеристик дало следующие результаты. Значения фрактальной размерности находились в интервале от 2.00 до 2.73.

Здесь важно отметить, что компьютерная программа «Gwyddon» распознает изображение листа березы как потенциально объемный объект. То есть фрактальная размерность такого объекта изменяется в интервале от 2.0 до 3.0. Поэтому в ходе исследования установлено, что для корректной интерпретации результатов, которая согласуется с ранжированием, приведенным в предыдущем разделе настоящей статьи необходимо из полученных значений вычесть единицу (плоский геометрический объект имеет две метрические характеристики).

Учитывая приведенную поправку, получаем, что значение фрактальной размерности колеблется в интервале от 1.0 до 1.7.

Сбор листьев *Betula subarctica* производился по равномерной сети опробования. В ходе исследования путем сопоставления места сбора листьев относительно источника негативного воздействия установлено, что значение фрактальной размерности увеличивается по мере приближения к источникам техногенного воздействия, которые в зоне деятельности горно-обогатительного комбината представлены карьером, терриконами, обогатительной фабрикой и хвостохранилищем. Равно при удалении от указанных объектов негативного воздействия, значения фрактального показателя листовой пластины березы субарктической снижается. Для самых отдаленных точек сбора листьев березы субарктической характерны самые низкие значения определяемого показателя.

Таким образом, на территории деятельности Ковдорского горно-обогатительного комбината имеет место быть саморегулируемая динамика экосистемы в пределах экологической емкости среды, при которой обеспечивается утилизация загрязнений с частичными затратами биоресурса. То есть территория деятельности является способной к самовосстановлению при условии снижения уровня нагрузки.

Заключение

Определение фрактальных характеристик листовых пластин березы субарктической с помощью специального программного обеспечения является наименее ресурсоемким, и одновременно математически достоверным способом оценки текущего состояния компонентов окружающей среды на территории деятельности промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Использование указанного способа повышает эффективность осуществления экологического мониторинга.

Автор выражает глубокую признательность члену Президиума Уральского отделения Российской академии наук Владимиру Николаевичу Большакову за поддержку и стимул к проведению исследований.

Литература

1. 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/10.185000/1819-7663-2021-21-1-4-11>.
2. Кульнев В.В. Структурное управление качеством лентических водных экосистем // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции. Посвящается 85-летию факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ. Воронеж. 2019. С. 431–436.
3. Кульнев В.В. Геоэкологические модели депонирующих сред территории горнодобывающих предприятий: специальность 25.00.36 Геоэкология (по отраслям): автореф. диссертации на соиск. ученой степени к.г. Воронеж. 2011. 20 с. EDN QHJTKN.
4. Кульнев В.В., Базарский О.В. Комплексная методика геоэкологической оценки территории горнодобывающих предприятий // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 2. С. 142–147. EDN NRBERR.
5. Кульнев В.В., Насонов А.Н., Цветков И.В. и др. Биотестирование почв на основе фрактальных характеристик растений // Принципы экологии. 2020 а. № 4(38). С. 40–53. EDN ZJKXOF. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2020.10662>.
6. Программное обеспечение Gwyddon: [Электронный ресурс]. URL: <http://gwyddion.net> (Дата обращения: 30.05.2022).