

УДК 556.55: 51 (470.22)

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНФИГУРАЦИИ ОЗЕР КАРЕЛИИ

В. В. Меншуткин

Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН

Рассмотрено использование методов фрактального анализа применительно к озерам Карелии, для которых имеется надежный и высококачественный фактический материал. Показано, что наиболее надежные статистические связи существуют между фрактальной размерностью и коэффициентом развития береговой линии.

Ключевые слова: озера; береговая линия; фракталы.

V. V. Menshutkin. FRACTAL ANALYSIS OF CONFIGURATION OF LAKES IN KARELIA

The application of fractal analysis methods for studying the lakes in Karelia for which we possess reliable and high-quality factual evidence is considered in the paper. It is indicated that the most reliable correlations exist between a fractal dimension and coastline development coefficient.

Keywords: lakes; coastline; fractals.

Введение

Методы фрактального анализа в последнее время получают широкое распространение в географических [Пузаченко, 1997; Яцевич и др., 2004; Мельник, 2007] и экологических [Галашвили и др., 2007] исследованиях. В основополагающей работе Бенуа Мандельброта [2002] в качестве примера приводилось исследование фрактальной структуры береговой линии Великобритании и Норвегии. В настоящей работе развито именно это приложение применительно к озерам Карелии, для которых имеется надежный и высококачественный фактический материал [Озера..., 2013].

Методы и результаты

Для вычисления фрактальной размерности разработана компьютерная программа с графическим вводом, которая определяет

фрактальную размерность методом наложения сеток [Федер, 1994]. Применение более сложного программного обеспечения [например Громов и др., 2002; Пшеничников, 2004] в данном случае нецелесообразно. На рис. 1 показано, как с увеличением масштаба измерения сокращается число квадратов сетки, необходимое для покрытия исследуемой линии контура берегов озера. Угол наклона этой регрессии в логарифмических координатах и определяет величину фрактальной размерности.

На рис. 2 представлены контуры береговой линии некоторых исследованных озер в том виде, в котором они вводились в компьютерную программу.

В таблице показаны результаты определения фрактальной размерности береговой линии 23 озер Карелии по данным картографического материала, приведенного в справочнике «Озера Карелии» [2013]. Из рассмотренных водоемов наименьшую фрактальную размерность

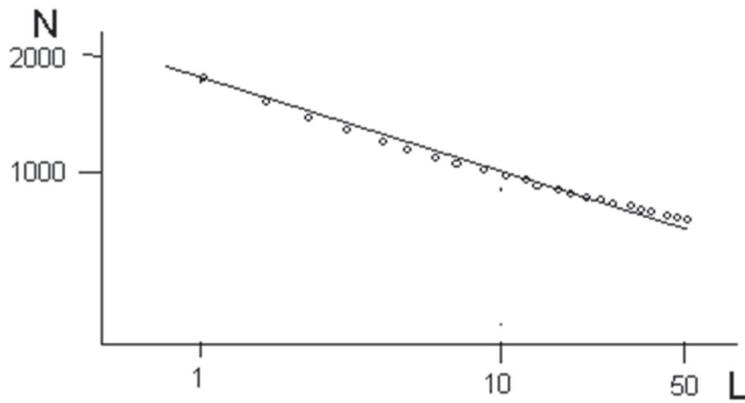


Рис. 1. Зависимость между масштабом измерения (L) и длиной береговой линии озера (N) в логарифмических координатах (по данным для озера Кереть)

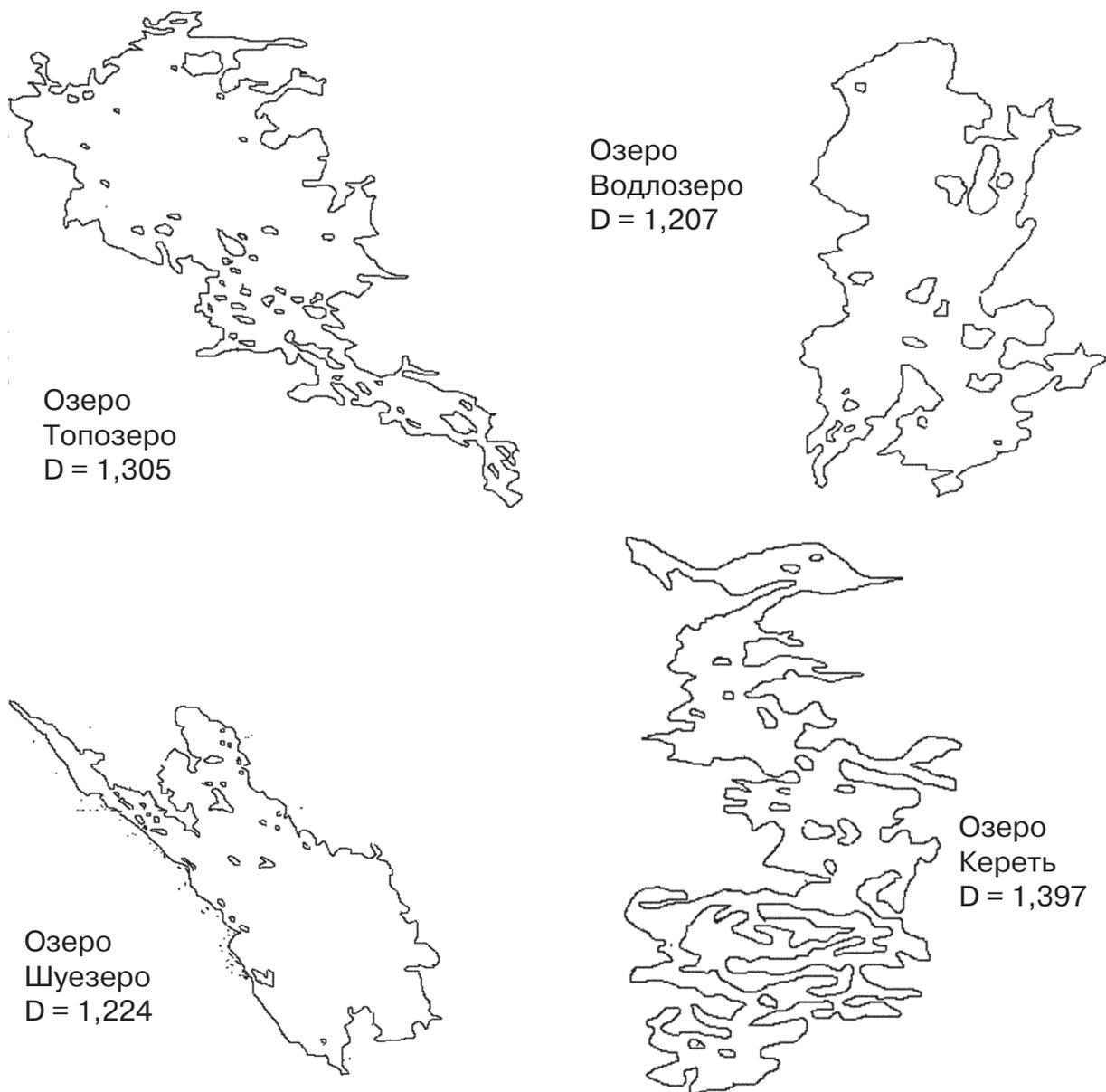


Рис. 2. Примеры контуров береговой линии озер, которые использовались при определении их фрактальной размерности

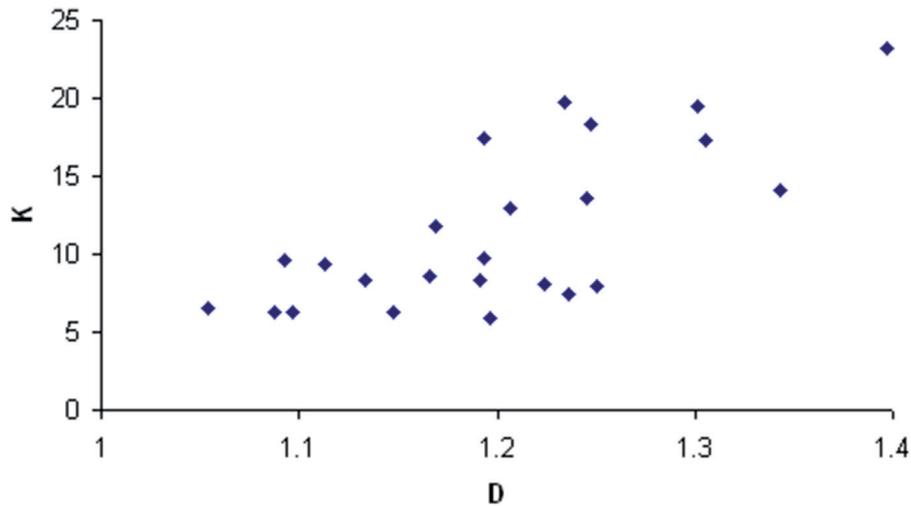


Рис. 3. Соотношение между фрактальной размерностью береговой линии озер и коэффициентом развития береговой линии, вычисленным по площади (S) и длине береговой линии (L)

Характеристики некоторых озер Карелии

	D	P	B	F	K
Пелдожское	1,054	118	0,3	2	6,53
Пряжинское	1,088	156	3,34	3	6,27
Укшозеро	1,093	47	9,7	4	9,64
Шотозеро	1,097	27	0,43	9	6,30
Янисъярви	1,113	24	0,92	7	9,40
Ведлозеро	1,133	50	2,15	12	8,30
Логмозеро	1,148	43	4,37	10	6,23
Святозеро	1,166	159	2,9	5	8,58
Ладога	1,169	76	3,2	12	11,80
Пяозеро	1,191	18	1,25	10,6	8,34
Сегозеро	1,193	16	0,41	6	9,74
Нюозеро	1,193	23	0,49	3	17,43
Лижемское	1,196	14	0,81	2	5,96
Водлозеро	1,207	64	4,6	8	12,93
Шуезеро	1,224	25	2,24	2	8,06
Каменное	1,234	13	0,74	7	19,80
Сула	1,236	16	0,71	5	7,49
Мунозеро	1,245	21	5,8	6	13,54
Онего	1,247	15	6,6	10	18,36
Каскеснаволоок	1,250	21	1,21	2	7,97
Выгозеро	1,301	26	1,21	3	19,49
Топозеро	1,305	24	0,72	8	17,27
Тикшеозеро	1,343	10	0,36	6	14,04
Кереть	1,397	62	0,3	7	23,17

Примечание. D – фрактальная размерность; P – первичная продукция в гС м² год⁻¹; B – биомасса макрозообентоса в г м⁻²; F – рыбопродуктивность в кг га⁻¹; K – развитие береговой линии, $K = L / \sqrt{S}$, где L – длина береговой линии, S – площадь озера

имеет оз. Пелдожское, а наибольшую – оз. Кереть. Попытки установить статистические связи между фрактальной размерностью и некоторыми другими характеристиками озер показали, что наиболее надежная связь существует с коэффициентом развития береговой линии (рис. 3). Подобная связь (коэффициент линейной корреляции 0,745) вполне оправдывается самим понятием фрактальности как меры

плотности заполнения площади фигуры ее бесконечно усложняющимся контуром.

Связи фрактальной размерности с другими характеристиками озер оказались менее значимыми, чем в случае с коэффициентом развития береговой линии. Например, с ростом фрактальной размерности первичная продукция фитопланктона озера сокращается, а рыбопродуктивность остается статистически не

зависимой от исследуемой величины. Однако такие исследования выходят за рамки данного сообщения, цель которого заключается только в том, чтобы обратить внимание на возможность определения еще одной морфометрической характеристики озера. Эта характеристика может быть использована при классификации озер Карелии, поскольку учитывает такие свойства конфигурации озера, которые невозможно учесть другими средствами.

Выводы

В статье представлены результаты использования методов фрактального анализа на примере ряда типичных озер Карелии, по которым имеется достоверная база данных [Озера..., 2013]. Расчеты показали, что наиболее тесные статистические связи существуют между фрактальной размерностью озер и коэффициентом развития береговой линии. Отметим, что для больших озер, таких как Ладожское и Онежское, имеющих сложную морфометрию, обладающих большим разнообразием характера берегов (сравните, например, шхерный северный берег Ладоги и южный берег того же озера), вычисление общей фрактальной размерности для всего озера вряд ли целесообразно, и поэтому для таких озер предварительно следует провести классификационные исследования очертания берегов.

References

- Feder E. Fraktaly [Fractals]. Moscow.: Mir, 1994. 354 p.
- Galashvili D. B., Pukhnareva D. A., Iudin D. I. Strukturnaya organizatsiya i fraktal'naya priroda makrozoobentosa mal'kh gorodskikh vodoemov [Structural organization and fractal nature of macrozoobenthos of small urban water bodies]. *Privolzhskii ekologicheskii zhurnal [Privolzhskiy Journal of Ecology]*. 2007. No 1. P. 3–15.
- Gromov Yu. Yu., Zemskoi N. A., Ivanova O. G., Lagutin A. V., Tyutyunik V. M. Fraktal'nyi analiz i protsessy v komp'yuternoii seti [Fractal analysis and processes in computer networks]. Tambov: Tambovsk. un-t, 2002. 106 p.
- Mandel'brot B. Fraktal'naya geometriya prirody [The fractal geometry of nature]. Moscow: In-t komp'yuternykh issledovaniy, 2002. 646 p.
- Mel'nik M. A. Fraktal'nyi analiz izvilistosti rek (na primere Tomskoi oblasti) [Fractal analysis of river sinuosity (example of Tomsk Region)]. 2007. URL: <http://sun.tsu.ru/mminfo/00063155> (accessed 25.12.2014).

Литература

- Галашвили Д. Б., Пухнарева Д. А., Иудин Д. И. Структурная организация и фрактальная природа макрозообентоса малых городских водоемов // *Приволжский экологический журнал*, 2007, № 1. С. 3–15.
- Громов Ю. Ю., Земской Н. А., Иванова О. Г. и др. Фрактальный анализ и процессы в компьютерной сети. Тамбов: Тамбовск. ун-т, 2002. 106 с.
- Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002. 646 с.
- Мельник М. А. Фрактальный анализ извилистости рек (на примере Томской области). 2007. URL: <http://sun.tsu.ru/mminfo/00063155> (дата обращения: 25.12.2014).
- Озера Карелии. Справочник / Ред. Н. Н. Филатов, В. И. Кухарев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
- Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1994. 354 с.
- Пузаченко Ю. Г. Приложение теории фракталов к изучению структуры ландшафта // *Вестник МГУ*, 1997. № 1. Сер. 5.
- Пшеничников А. Е. Автоматизированный морфометрический анализ географических объектов по снимкам и картам при тематической картографии: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2004. 138 с.
- Яцевич С. Е., Иванов В. К., Ефимов В. Б. и др. Фрактальный анализ изображений морских льдов. URL: www.d33.infospace.ru (дата обращения: 25.12.2014).

Поступила в редакцию 18.01.2015

- Ozera Karelii. Spravochnik [Lakes of Karelia. Reference Book]. Eds. N. N. Filatov, V. I. Kukharev. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2013. 464 p.
- Puzachenko Yu. G. Prilozhenie teorii fraktalov k izucheniyu struktury landshafta [Application of fractal theory to the study of landscape structure]. *Vestnik MGU [MSU Herald]*. 1997. No 1, Ser. 5.
- Pshenichnikov A. E. Avtomatizirovanniy morfometricheskii analiz geograficheskikh ob'ektov po snimkam i kartam pri tematicheskoi kartografii [Automated morphometric analysis of geographical objects by images and maps in thematic cartography]: dis. ... kand. geograf. nauk [PhD Diss. (Geogr.)]. Moscow, 2004. 138 p.
- Yatsevich S. E., Ivanov V. K., Efimov V. B., Tsimbal V. N., Pashchenko R. E. Fraktal'nyi analiz izobrazhenii morskikh l'dov [Fractal analysis of sea ices images]. www.d33.infospace.ru (accessed 25.12.2014).

Received January 18, 2015

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:**Меншуткин Владимир Васильевич**

главный научный сотрудник, д. б. н., проф.
Санкт-Петербургский экономико-математический
институт РАН
ул. Сызранская, 28-1, Санкт-Петербург, Россия, 191187
эл. почта: menshutkina. n@gmail.com

CONTRIBUTOR:**Menshutkin, Vladimir**

St. Petersburg Institute for Economics and Mathematics,
Russian Academy of Sciences
28-1 Syzranskaya St., 191187 St. Petersburg, Russia
e-mail: menshutkina. n@gmail.com