

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ  
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ ТЕКТОНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ  
ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО РОССИИ  
ФЦП "ИНТЕГРАЦИЯ"

**ТЕКТОНИКА И  
ГЕОДИНАМИКА  
КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ  
ЛИТОСФЕРЫ**

**Материалы**

**XXXVI Тектонического совещания**

**Том 1**

МОСКВА  
ГЕОС  
2003

## **Аккреционная тектоника и фрактальные характеристики террейнов**

**Введение.** Изучение современных и палеоактивных окраин континентов приводит к более ясному пониманию процессов поглощения океанической и формирования континентальной коры. В зависимости от соотношения скоростей этих процессов континентальная активная окраина может как наращиваться, так и сокращаться. Поэтому представляет интерес попытка количественной характеристики аккреционной тектоники как сложного геологического явления. В данной работе для этого применяется анализ фрактальных свойств совокупности террейнов.

**Что такое террейны?** Геологическими исследованиями установлено, что активные окраины представляют собой нагромождение (коллаж) блоков, надвинутых на край континента. Эти блоки называют "террейнами". Несмотря на широкое употребление термина "террейн", не существует его однозначного определения.

Террейнами называют, в общем случае, геологические тела, отделенные четкой тектонической границей от соседних тел и имеющие отличное от них литолого-стратиграфическое строение. Террейны имеют различный генезис и собственную историю. Некоторые из них представляют собой неоднородности океанической коры, другие сформировались в процессе субдукции. Следует подчеркнуть условность разграничения понятий "микроконтиненты" и "террейны".

В известной мере, неопределенность термина "террейн" отражает сложность и разнообразие процесса формирования активных континентальных окраин. Во многих областях науки для изучения подобных процессов оказывается плодотворным подход с использованием понятий фрактальной геометрии [1, 4].

---

<sup>1</sup> Геологический факультет Московского государственного университета (МГУ), Москва, Россия

**Самоподобие и фрактальная размерность множества террейнов.** В наиболее общем виде фракталом можно назвать объект, состоящий из частей, которые в каком-то смысле подобны целому – *самоподобны*, – причем это подобие может быть как геометрическим, так и статистическим [1,4]. Является ли множество форм террейнов фрактальным и какова его фрактальная размерность?

Для получения ответа воспользуемся соотношением  $S=S_0 \cdot P^E$ , где  $P$  – длина контура (периметр объекта);  $S$  – площадь, заключенная внутри контура;  $S_0$  – постоянная. Показатель степени  $E$  связан с фрактальной размерностью  $d$  контура соотношением  $E=2/d$  [1, 4]. Если существует самоподобие объектов самых разных размеров, показатель степени  $E$  является константой, а  $d$  определяет фрактальную размерность всего множества.

Для анализа использовались наборы данных о террейнах, сопровождающие цифровые геологические карты северо-востока России и северо-запада Северной Америки [2, 3]. В этих наборах данных для каждого террейна рассчитаны его площадь, периметр и указаны геологические и тектонические характеристики и времена образования и причленения.

Для множества террейнов зависимость площади от периметра в двойном логарифмическом масштабе хорошо аппроксимируется прямой линией, что свидетельствует о самоподобии форм террейнов. Определенная по всему множеству ( $n=12586$ ) террейнов северо-востока России (рис. 1) фрактальная размерность  $d$  имеет значение 1.377, коэффициент корреляции  $r = 0.977$  и статистическую значимость по критерию Стьюдента  $t = 183$ , что существенно превышает пороговое значение, равное 3. Аналогичная зависимость установлена для множества ( $n=2693$ ) террейнов северо-запада Северной Америки: фрактальная размерность  $d = 1.202$ , коэффициент корреляции  $r=0.998$ ,  $t = 82$ . Различие фрактальных размерностей террейнов северо-востока России и северо-запада Северной Америки может быть связано с различием строения океанического дна в западной и восточной частях Палеопацифики. Были определены фрактальные размерности для множеств террейнов разного типа, варьирующие от 1.286 до 1.517.

**Обсуждение.** Степенной закон распределения множества террейнов в зависимости от размеров охватывают несколько порядков по величинам площадей и периметров. Такие характеристики распределения свидетельствуют *об отсутствии* каких-либо выделенных *характерных размеров* в совокупности объектов.

На рис.2 показаны вариации фрактальной размерности множеств террейнов в зависимости от возраста причленения по данным для северо-востока России. Аналогичная зависимость получена и для запада Северной Америки. Можно ожидать, что вариации фрактальной размерности со временем отражают различные этапы формирования активной окраины. Однако изменение фрактальной размерности множеств террейнов в зависимости от возраста не соответствует выделенным геолога-

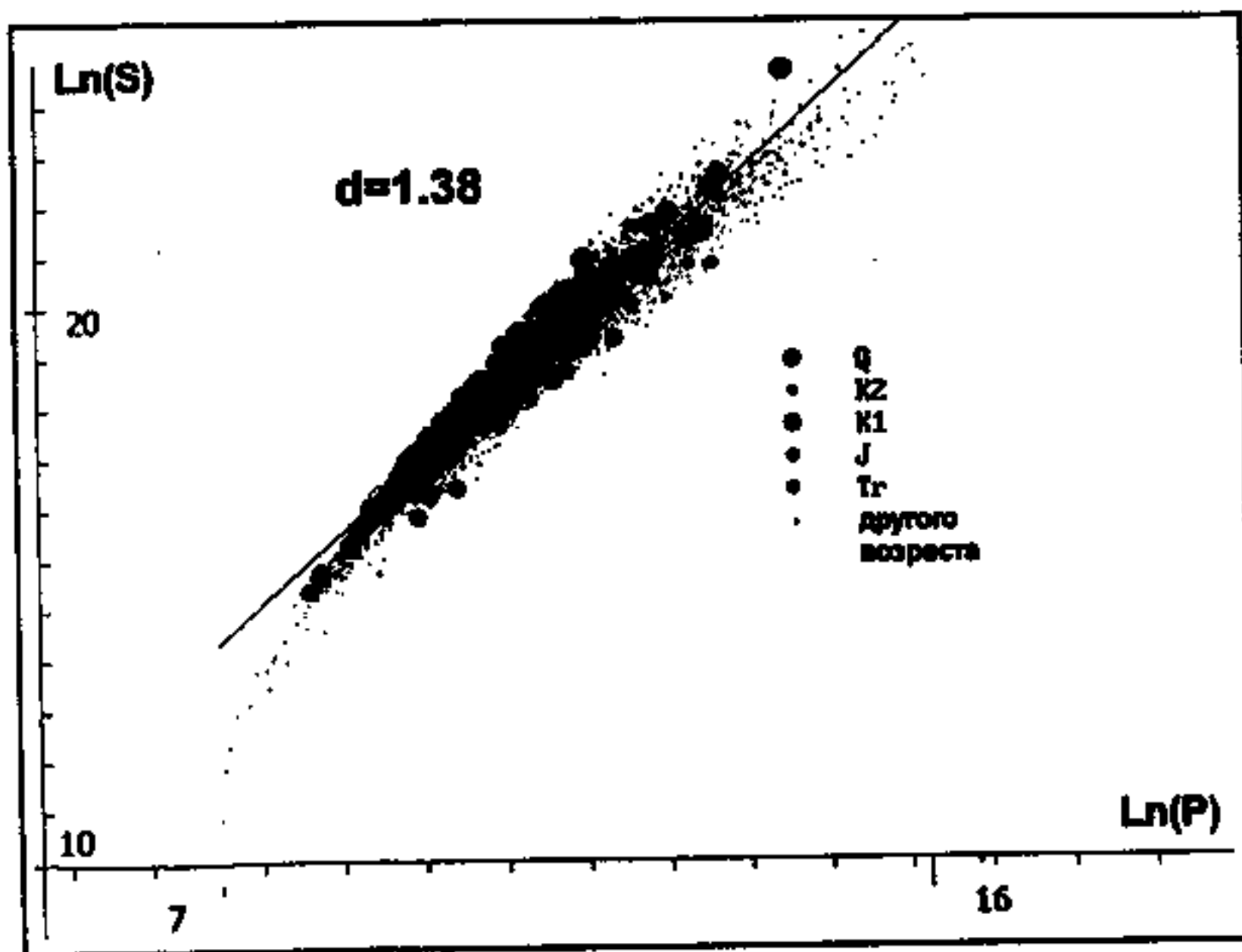


Рис.1. Зависимость площадь–периметр в двойном логарифмическом масштабе для множества террейнов северо-востока России

ми временным рубежам. От возраста сильно зависит количество при-  
члененных террейнов.

Малая вариация фрактальной размерности в зависимости от возраста свидетельствует, по-видимому, об относительно малой деформации террейнов после их при-  
членения. Это означает, что террейны ведут себя подобно жестким блокам. Это наводит на мысль о независимости при-  
членения нового террейна к совокупности террейнов уже образовавшейся континентальной окраины. Предварительное изучение взаимного по-  
ложения разновозрастных террейнов показало анизотропию марковско-  
го свойства по различным направлениям. Береговая линия растущей ак-  
тивной окраины также является фракталом.

С этой же точки зрения были проанализированы цифровые данные ко-  
ординат береговых линий континентов и островов, по которым рассчиты-  
вались периметры и площади. Фрактальная размерность множества со-  
временных континентов и островов равна  $d=1.220$ ,  $r=0.983$ ,  $t=50$ . Таким  
образом, установлено самоподобие форм различных геологических тел в  
огромном диапазоне размеров – от километров до тысяч километров. По-  
видимому, не существует объективных критериев классификации геоло-  
гических объектов по размерам, поэтому Австралия называется конти-  
нентом, а Гренландия – островом. Могло быть и наоборот.

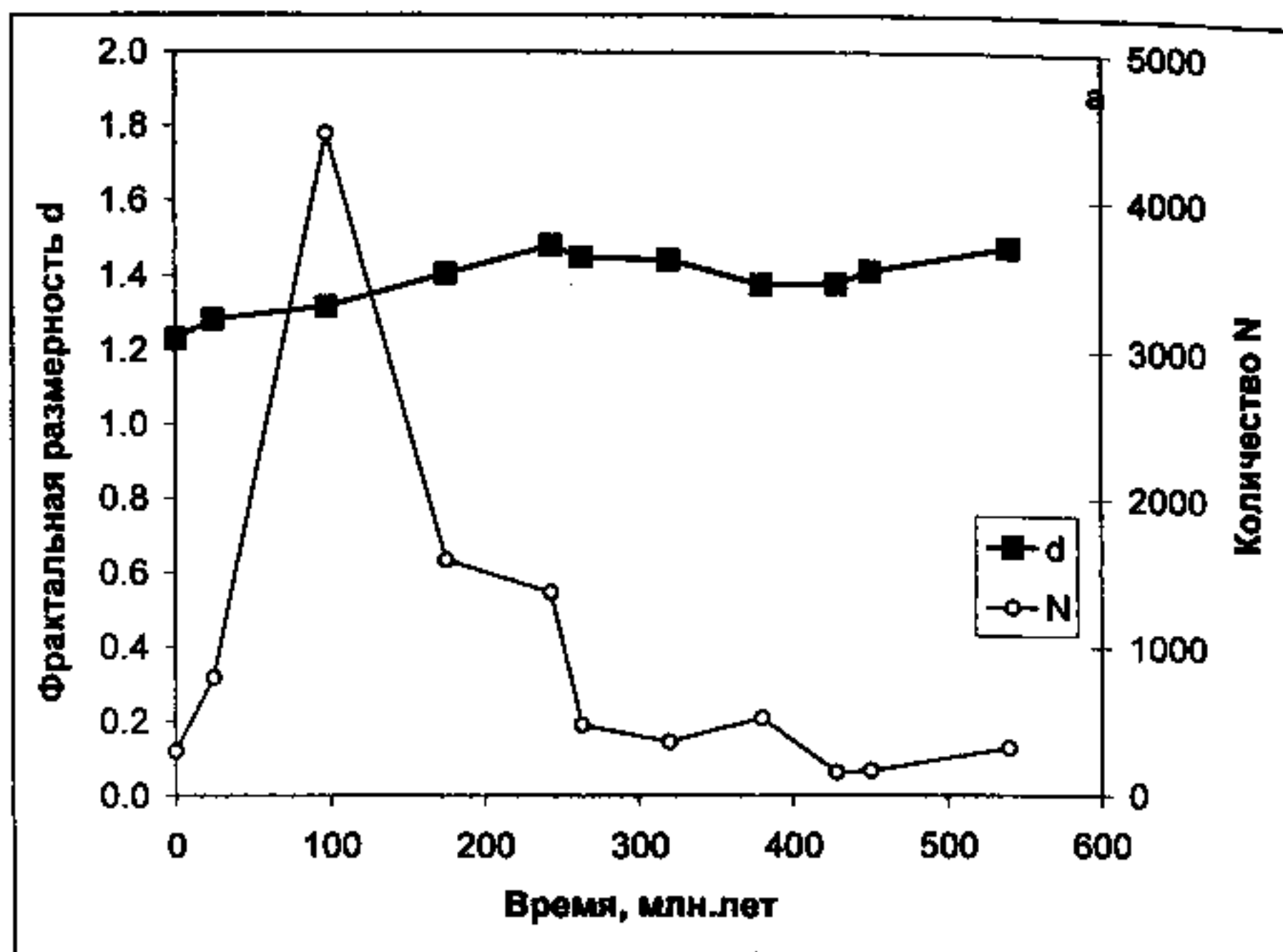


Рис. 2. Зависимость фрактальной размерности от возраста для множества террейнов северо-востока России

Это позволяет сделать вывод и о подобии процессов их формирования: объединение континентов в суперконтинент происходит подобно присоединению террейнов на активной окраине – вследствие уничтожения океанической литосферы. При таком механизме формирования линия растущего фронта (береговая линия) также является фракталом [1,4].

Современная активность по границам аккрецированных блоков выявляется по сейсмическим и геодезическим наблюдениям. Примечательным является приуроченность землетрясений к границам блоков, соседствующих друг с другом много миллионов лет и тем не менее перемещающихся друг относительно друга, порождая землетрясения. Другим прямым свидетельством относительного смещения блоков служат измерения GPS, глобальные и региональные, выявляющие большие горизонтальные градиенты скоростей смещения.

**Выводы.** 1. Установлено самоподобие форм террейнов в огромном диапазоне размеров. 2. Определена фрактальная размерность множества террейнов северо-востока России ( $d=1.377$ ) и западной части Аляски ( $d=1.202$ ), а также множества континентов и островов ( $d=1.220$ ). 3. Наличие степенного закона распределения площадей и периметров множества террейнов и вычисленная фрактальная размерность свидетельству-

ют об отсутствии каких-либо выделенных характерных размеров геологических тел в диапазоне размеров от первых километров до тысяч километров (континенты).

### Литература

1. *Шредер М.* Фракталы, хаос, степенные законы. Ижевск, 2001. С. 302–305.
2. Geographic Information System (GIS) Compilation of Geophysical, Geologic and Tectonic Data for Circum-North Pacific. USGS, Open-File Report 99-422, Version 1.0, 1999, (CD).
3. Summary terrane, mineral deposit, and metallogenic belt maps of the Russian Far East, Alaska and Canadian Cordillera. USGS Open-File Report 98-136, 1998, (CD).
4. *Turcotte D.L.* Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge, 1997. 398 p.