

О КОНВЕКТИВНЫХ ЯЧЕЙКАХ БЕНАРА В ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ  
СЕЙСМИЧНОСТИ

И.Н. Литовченко<sup>1</sup>, В.М.Сомсиков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт сейсмологии, Алма-Ата, Казахстан, [litovira@rambler.ru](mailto:litovira@rambler.ru),

<sup>2</sup> Институт ионосферы, Алма-Аты, Казахстан, [vmsoms@rambler.ru](mailto:vmsoms@rambler.ru)

*На основе статистического анализа данных сейсмичности на Земле путем применения вычислительного алгоритма выделения фрактальных структур была получена пространственная структура распределения очагов землетрясений на поверхности земли. Выдвигается гипотеза о механизмах формирования конвективных ячеек Бенара в структурах сейсмичности.*

**Введение**

Несмотря на огромные усилия, предпринимаемые по изучению природы сейсмичности Земли с целью предсказания землетрясений, до сих пор эта проблема остается практически нерешенной. Причина заключается как в сложности динамических явлений в земной коре, так и их взаимосвязи со всеми явлениями не только на Земле, но и в космосе [18]. Решение этой проблемы упирается в отсутствие фундаментальных теорий физики эволюции [19]. Действительно, до сих пор отсутствует математический аппарат, позволяющий описывать динамические системы при условии их открытости, какой, к примеру, является Земля. В этой связи приобретает огромное значение использование методов неравновесной динамики для анализа данных наблюдений динамических систем. Именно эти методы позволяют отличить динамический хаос от статистического. Т.е. установить, является ли данный процесс случайным, или он носит сложный, но детерминированный характер. Кроме того, с помощью методов неравновесной динамики удастся определить класс изучаемых динамических явлений и найти пути к построению физической модели изучаемого процесса.

Методы неравновесной динамики с успехом используются в астрофизических и геофизических приложениях для объяснения физических явлений в зонах турбулентности и конвективной неустойчивости Солнца и звезд, природы конвективных структур атмосферы и океана [14]. С их помощью удастся

определить критические значения параметров, при которых происходит потеря устойчивости. Эти значения зависят от скорости релаксационных процессов и запаса энергии на отдельных степенях свободы, то есть от мощности источника, вызывающего неравновесное распределение энергии внутри системы [14]. Кроме того, эти методы позволяют определить пространственно-временные характеристики фрактальных структур, возникающих в открытых неравновесных системах, таких как кора Земли [1-4,7,10]. По мнению ряда авторов, поведение земной коры содержит сильную пространственно-временную стохастическую компоненту, но наряду с ней имеется и организованная структура.

Вопрос о виде пространственно-временном распределении сильных землетрясений в отдельных регионах дебатировался в геофизике и сейсмологии по сей день. Сейсмичность каждого региона Земли обладает своими особенностями. Однако установлено, что существует линейное распределение числа землетрясений по логарифму энергии (закон повторяемости Гуттенберга–Рихтера) на больших территориях. Это позволяет говорить об автомодельности сейсмичности в довольно широком энергетическом интервале [7]. Следовательно, выявляя характер фрактальности сейсмичности на земной поверхности, можно приблизиться к пониманию детерминированных свойств сейсмичности с позиции открытых систем.

Так как знание организованной пространственно-временной структуры коры Земли, ее механизмов образования и развития, открывает широкие возможности в области решения проблем прогноза землетрясений, то ее изучение является чрезвычайно актуальным. В связи с этим мы предприняли попытку с помощью модифицированного метода фрактального анализа статистических данных [5, 6, 9, 10] выявить характер структуризации наблюдаемых на земном шаре (например, Северного Тянь-Шаня, Японии, Европы и других регионов) проявлений сейсмичности.

Таким образом, в нашу задачу входило изучение пространственных структур распределения очагов землетрясений на поверхности земли путем их статистического анализа на отдельных сейсмоактивных регионах на основе применения вычислительного алгоритма выделения фрактальных структур [5,6,9,10].

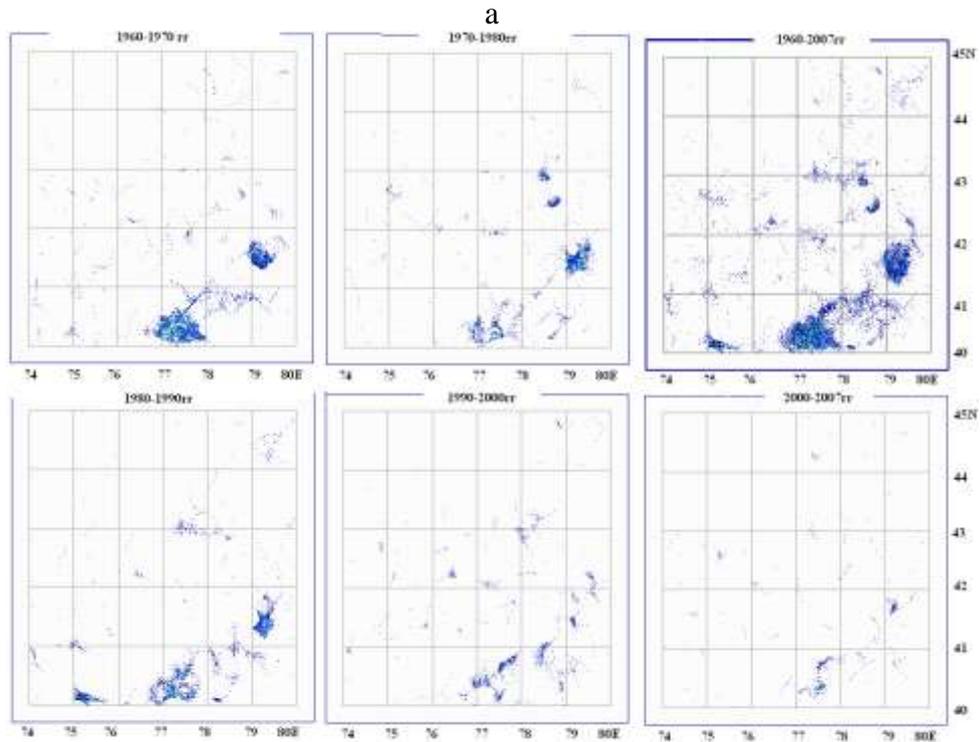
### **Метод исследования**

Суть используемого нами метода исследования заключается в следующем. В сейсмологии мы часто имеем дело с объектами, которые проявляются дискретно, в виде множества. Землетрясения обычно приурочены к разломам, а системы геологических разломов имеют фрактальный характер. Поэтому можно говорить о фрактальности распределения эпицентров землетрясений. В [5,15] показано, что фрактальный характер имеет пространственное распределение эпицентров и гипоцентров землетрясений. Фрактальным закономерностям также подчиняется распределение интервалов между землетрясениями во времени. Поэтому пространственно-временным структурам сейсмичности можно поставить в соответствие фазовое пространство, в котором сейсмичность отображается уравнениями геометрического поля пространственных частот. Вокруг и внутри любых пространственно-временных областей

формируется фазовая гиперкомплексная структура – структура разрешенных информационных (фазовых) направлений отображения статической и динамической конфигурации объектов [16].

В [6, 15] отмечается, что в сейсмологии для статистической обработки данных применяется метод «скользящего окна», то есть динамический алгоритм расчета значений параметров в текущей ячейке,двигающейся по плоскости. Этот **вычислительный алгоритм** позволяет выявлять множество «сгущений» и затем представлять их на плоскости. Как отмечалось ранее, [5,6,15,17], в текущую ячейку размером  $0.25' \times 0.25'$  с шагом 1 минута попадает определенное количество эпицентров (точек). Параметр плотности оценивает их количество в «скользящем окне» (ячейке) и соотносится в центр тяжести эпицентров, попавших в эту ячейку. Полученное множество плотностей следов эпицентров носит фрактальный характер. На нем можно видеть наиболее плотные участки (рис. 1). Границы таких сгущений будут определять аттракторы на фрактальном множестве плотности следов эпицентров. При этом наглядно выделяются «самоподобные структуры», которые свидетельствуют о детерминированности процесса сейсмичности. Так называемое «сканирование плоскости» текущей ячейкой осуществляется одновременно в широтном, затем в долготном направлении с шагом 1 минута. Взаимное пересечение пространственных текущих ячеек с маленьким шагом движения по плоскости, позволяет оценить «роль» каждого эпицентра, а затем представить полученное распределение на плоскости, как показано на рисунке 2.

Результат работы алгоритма продемонстрирован на рисунке 1 (а), 2 (А,В). Данный метод анализа выбран потому, что он не только хорошо подходит для конкретно выбранных объектов, отдельных эпицентров, но и позволяет выявить динамический характер процесса. Метод реализуется таким образом,



b

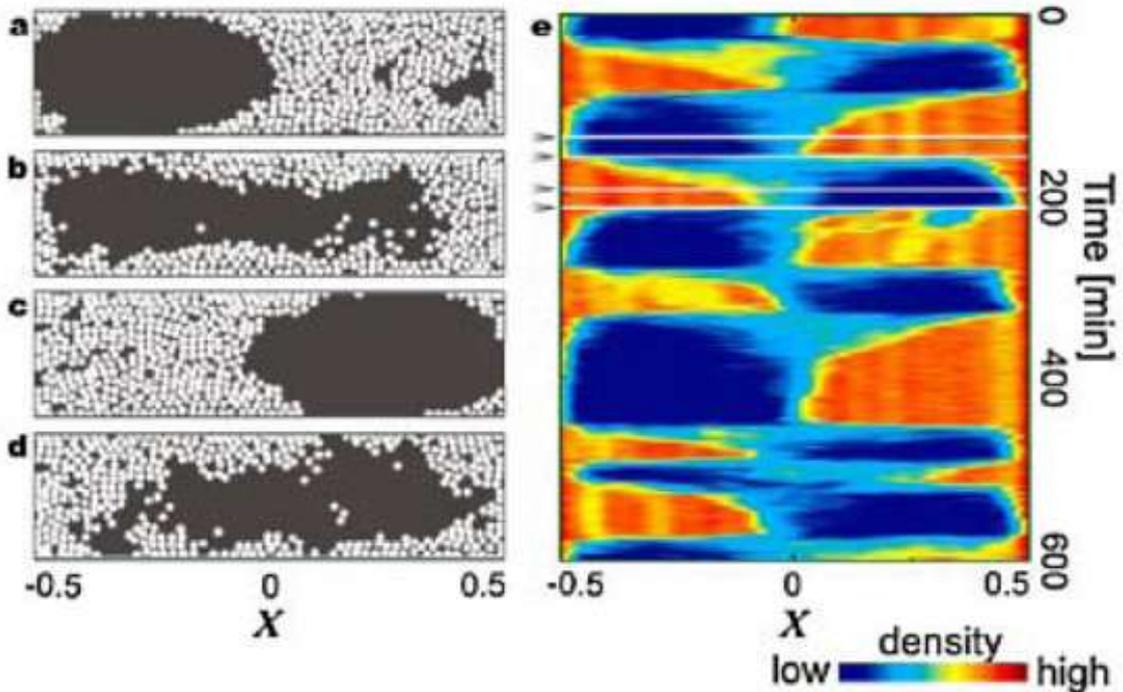


Рис. 1 – Сопоставление результатов вычислений для сейсмичности (а) и эксперимента (b) [13]: а – Фрактальность сейсмичности выделенного региона по годам (74-80E, 40-45N, 1960-2007 гг.,  $K \geq 10.0$ ) [5,6,9,10]; б - Взаимодействие 426 нейлоновых шариков и конвективного потока в жидкости с числом Рэлея  $Ra = 3,2 \cdot 10^9$ . (а)–(d) — 4 последовательных по времени снимка ячейки Рэлея–Бенара, на которых показано перемещения шариков в пределах одного цикла. Снимки (а)–(с) соответствуют моментам времени, когда упаковка шариков соответственно в правой и левой части емкости наиболее плотная. Снимки (b)–(d) показывают промежуточный этап перераспределения шариков из правой части в левую (b) и наоборот (d). Physical Review Letters [13]

что отдельное землетрясение со своими координатами входит в текущую пространственную ячейку, эти координаты учитываются для каждого эпицентра. Затем в ячейке ищется центр тяжести, среди попавших в ячейку точек. Своего рода – координата центра наиболее плотного участка в ячейке. И в координату центра тяжести таких сгущений соотносится значение плотности эпицентров.

Последующее картирование координат центров тяжести и дает «пространственные структуры» на плоскости. Алгоритм пространственного сканирования универсален. Он позволил получить «плотностные сгущения» не только для Северного Тянь-Шаня [5], но и для других сейсмоактивных регионов в разные интервалы времени (рис. 2). Несмотря на привязку к местности, выделенные сейсмические структуры стационарны, хотя пространственно неоднородны и динамичны по времени, так как землетрясения происходят постоянно с интервалом времени.

Проведенные исследования дали возможность сформировать **методику** получения «фрактальных структур» в сейсмичности Земли, для любого сейсмоактивного региона. Она заключается в следующем. Выбираем соответствующий сейсмоактивный регион на поверхности Земли, исходя из мирового каталога землетрясений с магнитудой более 4.0 [17]. Далее, по методу «скользящего окна», применяем вычислительный алгоритм для расчета плотностей эпицентров и координат центров тяжести. После этапа расчета производим картирование следов эпицентров (координат центров тяжести плотностей эпицентров), как «фрактальных рисунков» региона, которые и являются «фрактальными структурами». Такие «фрактальные узоры» подчиняются всем закономерностям, описанным в работах [6, 9, 15, 16]. В последующих этапах именно они являются объектом исследования в выявлении конвективных ячеек Бенара. Скопление эпицентров в текущей ячейке мо-

жет быть очень большим. Поэтому в таком участке (системе) состояние может быть близко к критическому, как раз в самых плотных участках (фрактала).

Центры тяжести, как геометрическое место точек, остаются наиболее устойчивыми. Поэтому, фрактальные структуры, выделенные на основе центров тяжести плотностей эпицентров, попавших в текущие ячейки, являются устойчивыми самоподобными фрактальными структурами во времени, а также в пространстве. Границы этих фракталов могут меняться, то есть образовывать аттракторы, как показано на рисунке 1. Как можно видеть из рисунка 1 а - фрактальность сейсмичности региона за эти годы эволюционировала. На рисунке приведены поэтапные фрактальные структуры 1960-1970 гг, 1970-1980 гг, 1980-1990 гг, 1990-2000 гг и общий контур за все годы 1960-2007гг. Такая фрагментация вполне понятна, так как во времени сейсмичность региона эволюционировала. Формирование фрактальных структур идет постоянно, распределение наиболее плотных участков меняет свое местоположение по времени. Это следует из приведенных рисунков - структуры заполняли пространство постепенно. Эволюция сейсмичности показана четко по десятилетиям.

В результате применения вычислительного алгоритма на карту выносились «фрактальные структуры», выделенные в сейсмичности за несколько десятков лет. Обращают на себя внимание круговые контуры, шестигранные ячейки, которые могут предполагать наличие регулярных неоднородных структур в сейсмичности региона. Интересно, что все последующие контуры включены внутрь общего фрактального контура, что делает его границу четкой и определяет аттрактор притяжения всех последующих событий. По своей форме они соответствуют ячейкам Бенара (рис.1 (b)). Это порождает вопрос, а не случайно ли формируются за не-

сколько десятков лет в этих фрактальных структурах такие ячейки? Разобраться с этим вопросом помогает использование вычислительного алгоритма по выделению фрактальных структур в сейсмичности, который уже был нами апробирован [5,6,9,10].

Из рисунка «фрактальной структуры» для региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий (рис. 1), хорошо видно, как сгруппированы центры тяжести плотности эпицентров на плоскости. Они четко объединены в пространственные ячейки, напоминающие ячейки Бенара. Ячейки Бенара в сейсмичности могут быть объяснены с позиции динамики сплошных сред в области сильных температурных градиентов.

### **О природе ячеек Бенара**

Рассмотрим эксперименты [12,13], в которых изучались неоднородные структуры в виде ячеек Бенара, возникающих в среде при наличии градиента температуры и давления. Эти структуры имеют удивительное сходство с фрактальными структурами сейсмичности.

Рассмотрим эксперимент, описанный в [13]. Ученые из Нью-Йоркского университета изучали взаимодействие конвективных течений в жидкости с плавающими в ней телами. Для этого емкость размером  $20 \times 18,4 \times 7,6$  см (высота  $\times$  длина  $\times$  ширина) наполнялась смесью воды и глицерина (массовая концентрация глицерина 1,115 г/мл). Ко дну емкости непрерывно и постоянно подавалось тепло с помощью электрического нагревателя. Верхняя часть емкости постоянно охлаждалась. Таким образом, между дном и верхней частью емкости создавался постоянный градиент температуры. Свою экспериментальную установку авторы назвали конвективной ячейкой Рэлея–Бенара, поэтому в дальнейшем, понятия «емкость» и «конвективная ячейка Рэлея–Бенара» для нас будут тождественны [13]. Затем в емкость поместили большое количество (несколько сотен) неболь-

ших, несколько миллиметров в диаметре, нейлоновых шариков, плотность которых всего лишь на 2% выше, чем плотность жидкости в ячейке (число шариков и их размер в процессе эксперимента варьировались). Оказалось, что эти шарики образовывали плотный слой на дне емкости. Чтобы условия эксперимента приблизительно отвечали реальным процессам, происходящим в мантии Земли, необходимо, конечно же, чтобы возникли конвективные течения жидкости в емкости [13]. Удалось обнаружить, что шарики под действием возникающего конвективного течения поочередно сосредотачивались то в одной половине емкости, то в другой. Причиной такого поведения было периодическое изменение направления конвективного движения жидкости — оно было то против часовой стрелки, то, наоборот, по часовой. Собственно, вследствие этого и происходило перемещение нейлоновых шариков из правой части емкости в левую часть и обратно [13].

Самое любопытное, что, раз начавшись, этот процесс происходил постоянно сколько угодно долгое время — шарики каждые 200 минут меняли свое местоположение (см. рис.1 (b)). Важно отметить, что указанные 200 минут не есть константа, и время перехода менялось в зависимости от количества шариков и значения числа Рэлея [13]. В чём **причина такого явления?** По мнению авторов работы [13], периодическое изменение направления конвективного течения, а с ним и направления движения нейлоновых шариков связано с тем, что большое количество и плотная упаковка шариков представляют собой своеобразный «теплоизолятор». Шарики препятствуют распространению тепла в той половине емкости, где они в данный момент находятся. Это вызывает рождение в свободной от шариков части емкости конвективного течения, которое затем и заставляет их двигаться [13].

В [12] приводятся наблюдения в ячейке Бенара при нагревании "подходящей" эмуль-

сии на тщательно вычищенной сковороде. Установлено, что сначала из-за распада эмульсии возникают хаотично расположенные "пузырьки" над конвективными ячейками, которые по мере усиления нагрева разрастаются и, заполняя поверхность сковороды, образуют упорядоченную структуру. В ней, вокруг каждой ячейки располагается по шесть других ячеек, которые при дальнейшем нагреве и разрастании образуют более или менее правильную гексагональную структуру (из шестиугольников). Существенно, что соприкосновение трёх ячеек никогда не обращается в точку, а по общим квазилинейным границам ячеек обязательно образуются контурные течения. Неизбежность существования контурных течений связана с неизбежным различием, как размеров отдельных ячеек, так и массопотоков из них. Направления и скорости этих течений (топология) зависят от различия мощностей конвективных ячеек, а смена направления контурного течения на одной границе может приводить к смене скоростей и направлений по границам других ячеек. Контурные течения состоят из лёгкого компонента эмульсии, а вся ячеистая структура весьма критична к тепловому потоку и его градиентам. Неравномерный нагрев или перегрев эмульсии приводят к объединению отдельных конвективных ячеек, к разрушению гексагональной структуры и к хаосу.

В соответствии с приведенными экспериментами по изучению конвективных ячеек, можно предположить следующий механизм их формирования на Земле. В шаровом слое жидкого ядра Земли роль "пузырьков" играют конвективные ячейки, образующиеся при продолжающейся дифференциации вещества твёрдого (внутреннего) ядра планеты» [12]. Поднимаясь с его поверхности, массопоток растекается под сводом мантии, отдавая ей тепло и лёгкие компоненты. Охлаждённый и утяжелённый поток погружается к твёрдому ядру, стягиваясь к месту всплытия. По пути массопоток нагревается, обогащается лёгким

компонентом и, всплывая, повторяет путь. Если количество (плотность) конвективных ячеек достаточно велико, то при их взаимодействии возникает структура, существенно отличающаяся от гексагональной структуры, характерной для плоского слоя. В шаровом слое возможно образование структур с тремя типами симметрии (куб - октаэдр, тетраэдр - тетраэдр и пентагондодекаэдр - икосаэдр), так называемых, Платоновых тел [12]. Как и в случае ячеек Бенара в «плоском слое по общим границам конвективных ячеек под сводом мантии неизбежно возникают квазилинейные контурные течения различной мощности, состоящие преимущественно из лёгкого компонента (компонентов). Контурные течения создают в своде мантии "русла", провозирующие над собой трансмантийные разломы, заполненные указанными лёгкими компонентами» [12]. Выполненные нами расчеты пространственной структуры очагов землетрясений позволили выделять на поверхности такие «русла». Т.е. в результате статистического анализа эпицентров землетрясений в различных сейсмоактивных регионах Земли, например, Японии, части Европы, получены «фрактальные структуры», которые по своим геометрическим характеристикам соответствуют ячейкам Бенара (см. рис. 2).

### **Заключение**

Данная гипотеза о конвективных ячейках Бенара в фрактальных структурах сейсмичности на наш взгляд естественным образом объясняет физические явления, происходящие в сейсмической среде. Вычислительное моделирование и эксперимент подтверждают результаты вычислений. Физическая картина, описанная нами и другими авторами [12-14], совпадает при визуализации структур (см. рисунок) - ячеек Бенара. Условия образования и формирования конвективных ячеек Бенара в фрактальных структурах сейсмичности в настоящее время изучается специали-

стами в различных областях науки – синергетике, физике, математике, сейсмологии и др.

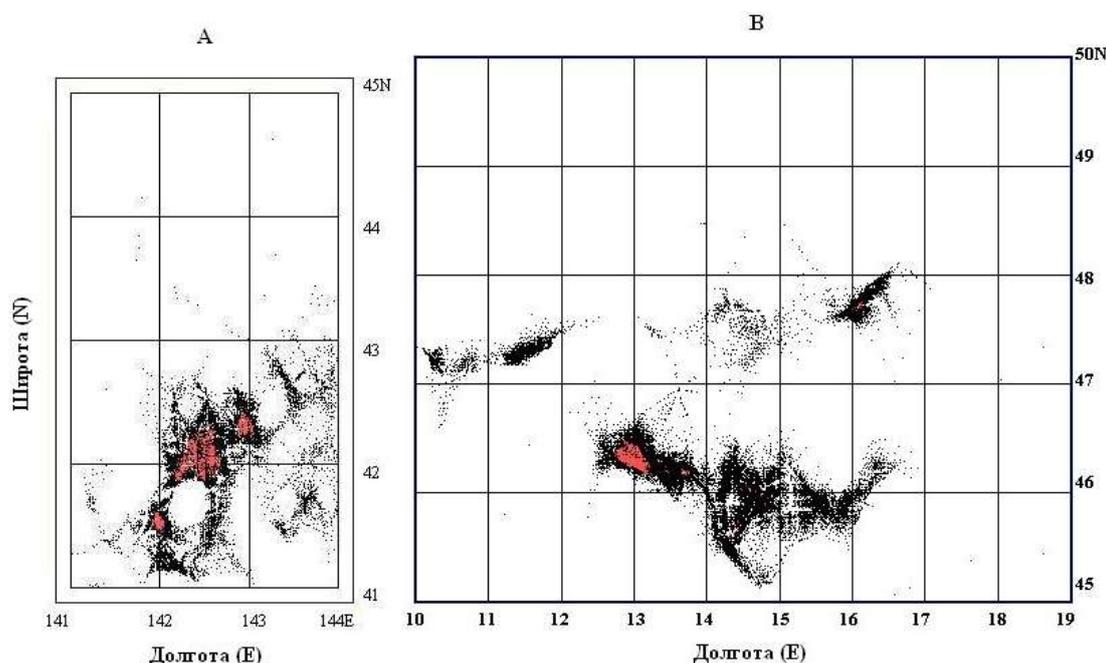


Рис. 2 - «Фрактальные структуры» и «ячейки Бенара», полученные вычислительным алгоритмом на основе мирового каталога землетрясений с 1973-2009 гг с  $M \geq 4.0$  в сейсмичности: А - части Японских островов (Хонсю, Хоккайдо), В - части Европы

Итак, можно представить, что «при дифференциации вещества твёрдого ядра Земли возникают конвективные ячейки, образующие упорядоченные структуры Бенара. По общим границам ячеек из-за различия их мощностей лёгкий компонент дифференциации образует под сводом мантии контурные течения. Последние поставляют этот компонент в трансмантийные разломы, вырождающиеся в мантийные каналы. Заполненные продуктами дифференциации трансмантийные образования обеспечивают плавучесть

мантии в жидком ядре Земли. Флуктуации массопотоков контурных течений создают в основаниях трансмантийных образований под- или от- токи вещества» [12].

На наш взгляд данный подход носит не только гипотетический, а также универсальный характер, но и является оригинальным на сегодняшний день способом выделения не только ячеек Бенара в сейсмичности, но и попыткой объяснить эти явления с физической точки зрения с применением современных теорий фрактального анализа.

**Литература:** [1] Курскеев А.К., Абаканов Т.Д. Ритмы и энергетика современных геодинамических и сейсмических процессов. АЛМАТЫ, 2007, 64с; [2] Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии //Вулканология и сейсмология. 1999. № 4-5. С. 6-22; [3] Уломов В.И. О РОЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ В СЕЙСМОГЕОДИНАМИКЕ И ПРОГНОЗЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ //ФИЗИКА ЗЕМЛИ, 2004, № 9 , с. 14 – 30. (<http://seismos-u.ifz.ru/centrasia2.htm>); [4] <http://www.certicom.kiev.ua/evolution.html>; [5] Литовченко И.Н. Фрактальность сейсмичности на примере Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий.//Журнал проблем эволюции открытых систем.-Вып.8, Т.1, 2006, с.81-86; [6] Литовченко И.Н. О некоторых фрактальных свойствах сейсмичности в свете проблем эволюции открытых систем//Журнал проблем эволюции открытых систем, Вып.8, Т.2, 2006, с.56-60; [7] <http://risk.keldysh.ru/risk/gl6.htm>//Глава VI. Пределы предсказуемости и прогноз редких событий §1. ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ; [8] Уломов В.И. Глобальная упорядоченность сейсмоактивных регионов//<http://seismos-u.ifz.ru/geoorder.htm>; [9] Литовченко И.Н.

О некоторых способах обнаружения закономерностей, скрытых в структурированных и неструктурированных данных, на примере сейсмичности//Знания-Онтологии-Теории//Труды Всероссийской конференции с международным участием «Знания-Онтологии-Теории»(ЗОНТ-2007), Новосибирск, 2007, «Омега Принт», том.2, стр. 134-138; [10] *Литовченко И.Н.* Циклы и фрактальность сейсмичности.//Материалы международной научно-практической конференции “Сатпаевские чтения» 10-11 апреля 2008г. «Актуальные проблемы наук о Земле».-Алматы,2008.-с.223-226; [11] *Высикайло Ф.И., Иванов О.П., Чекалин Б.В.* ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ// ГНЦ РФ ТРИНИТИ, г.Троицк.-12 с.;[12] *Бородзич Э.В.* Короткоживущие подкорковые локальные возмущения (КПЛВ). Их природа и проявления//Научно-исследовательский физико-химический институт имени Л.Я. Карпова.- Электронный научный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ»// <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/049.pdf>; [13] Нейлоновые шарики моделируют движение континентов/<http://elementy.ru/news/430777>; [14] Гарифуллин ФА Возникновение конвекции в горизонтальных слоях жидкости/[http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/0008\\_108.pdf](http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/0008_108.pdf); [15] *Крылов С.С., Бобров Н.Ю.* Фракталы в геофизике.-2004.-138с.; [16] *Донцов Г.А., Мельников Г.С., Серов И.Н.* Фрактальная концепция детерминированного хаоса.-2005; [17] USGS National Earthquake Informational Center. [http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic\\_global.html](http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html); [18] *Сомсиков В.М.* Необратимость в проблеме взаимосвязи физических законов систем с физическими законами их элементов// ПЭОС. В.10, Т.2, 2008, С.8-21; [19] *Сомсиков В.М.* Проблемы построения неравновесной модели атмосферы, как открытой системы// ПЭОС, В.11, Т.2, 2009,С. 50-63.

**Принято в печать 11.05.10**

**УДК 530.1 (075.8)**

**О КОНВЕКТИВНЫХ ЯЧЕЙКАХ БЕНАРА В ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ СЕЙСМИЧНОСТИ**

**Ирина Николаевна Литовченко И.Н.<sup>1</sup>, Вячеслав Михайлович Сомсиков В.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Республика Казахстан, г. Алма-Ата, 480005, Институт сейсмологии, Алма-Ата,  
E-mail: [litovira@rambler.ru](mailto:litovira@rambler.ru)

<sup>2</sup> Республика Казахстан, г. Алма-Ата, 480020, Институт ионосферы, Алма-Ата  
E-mail: [vmsoms@rambler.ru](mailto:vmsoms@rambler.ru)

**ABOUT CONVECTION BENAR'CELL IN FRACTAL STRUCTURES SEISMICITY**

**Irina Nikolaevna Litovchenko<sup>1</sup>, Vyacheslav Mihajlovich Somsikov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Republic of Kazakhstan, Alma-Ata, 480005, Institute of seismology,  
E-mail: [litovira@rambler.ru](mailto:litovira@rambler.ru),

<sup>2</sup> Republic Kazakhstan, Alma-Ata, 480020, Institute of ionosphere, Alma-Ata  
E-mail: [vmsoms@rambler.ru](mailto:vmsoms@rambler.ru)

On base of the statistical analysis given seismicity on the Earth by using the computing algorithm of the separation fractal structures was received spatial structure of the distribution centre earthquakes on surfaces of the Earth. The hypothesis is brought forth about mechanism of the shaping convection Benar'cells a in structure seismicity.

**<sup>1</sup>И.Н. Литовченко., В.М.Сомсиков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> [litovira@rambler.ru](mailto:litovira@rambler.ru), <sup>2</sup> [vmsoms@rambler.ru](mailto:vmsoms@rambler.ru)

Бенардың конвективті гипотезалық ұятығының қолыптасуын қарауды сейсмологиялық құрлымда ұсыну