

# Пьянкова С.Д. Фрактально-аналитические исследования в психологии: особенности восприятия самоподобных объектов



English version: [Pyankova S.D. Fractal analysis in psychology: the perception of self-similar objects](#)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

[Сведения об авторе](#)

[Литература](#)

[Ссылка для цитирования](#)

Предлагается выделить два основных направления изучения фрактальности психологических феноменов: изучение особенностей восприятия фрактальных объектов; анализ фрактальных особенностей психологического функционирования, в том числе сложных социальных взаимодействий. В данной работе рассматриваются эмпирические исследования восприятия фракталов естественного и искусственного происхождения. Основные результаты таких исследований: обнаружение взаимосвязей оценок эстетической привлекательности и сложности с фрактальной размерностью, универсальности эстетических предпочтений, психофизиологических коррелятов восприятия фрактальных объектов. В ряде исследований описываются индивидуальные различия при восприятии фракталов и взаимосвязи с некоторыми психологическими и социально-демографическими характеристиками. Отмечается, что окружающие человека природа и искусственная среда, а также структурно-функциональная организация человека на разных уровнях обладают фрактальными свойствами. Обосновывается общий вывод: в процессе эволюции возникновение фрактальных особенностей психологических феноменов выступало важнейшим механизмом адаптации к среде

**Ключевые слова:** фрактал, фрактальная размерность, эстетические предпочтения, фрактальность природы, самоорганизация, биофилия

Нетривиальные идеи Бенуа Мандельброта, исключительного независимого человека и ученого, автора книги-манифеста «Фрактальная геометрия природы» [Mandelbrot, 1982], завоевывали – и завоевали – умы постепенно. Фрактальная революция в науке произошла. Сегодня мы осознаем, что живем в мире, наполненном фрактальными структурами, что мы устроены и реагируем фрактально. Новое видение природы затронуло практически все без исключения отрасли научного знания. В психологии растет количество исследований с применением методов фрактального анализа, идет накопление эмпирических данных, реализуются попытки разработки концепций, обладающих объяснительным потенциалом.

Данная статья не преследует цель дать исчерпывающий обзор применения фрактальных моделей в психологии. Мы полагаем на примере конкретных эмпирических исследований показать эффективность применения фрактальных моделей. По нашему мнению, сегодня можно выделить два основных направления изучения фрактальности психологических феноменов: исследование восприятия фрактальных объектов; исследование фрактальных особенностей психологического функционирования, в том числе сложных социальных взаимодействий. Классификация возможна и по типу используемого метода фрактального анализа и может носить вспомогательный характер. В данной работе мы рассматриваем особенности восприятия фрактальных объектов.

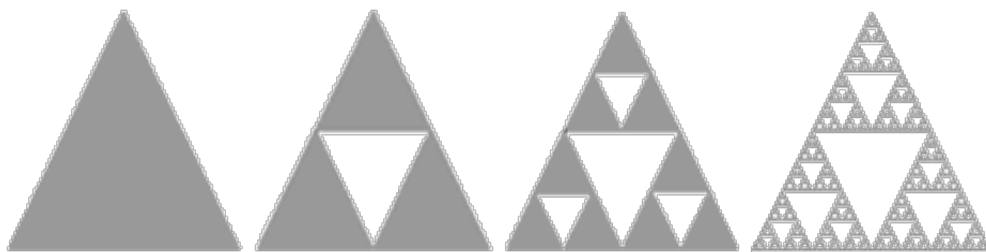
# Фрактальность и новые возможности научного исследования

Бенуа Мандельброт интересовался описанием реального мира, полного неправильностей, шероховатостей, неровностей и неупорядоченной на вид вариативности. Как описать мир, далекий от идеальных прямых, ровных плоскостей, гладких функций, которыми оперирует классическая наука? Можно ли обнаружить закономерности в сложно структурированных природных объектах, таких как лес, побережье или облако? Присутствует ли упорядоченность в колебаниях сложных показателей, подверженных влиянию сложного комплекса причин, – таких как цена акций, периодические разливы Нила или частотность слов языка? В экзо- и эндогенно детерминированных ритмах в живых организмах? В динамике экономических, социальных, психологических процессов? Фрактал – то понятие, которое ввел в науку Б.Мандельброт для решения этих фундаментальных и одновременно практически важных задач.

## Что такое фрактал?

В своей книге «Фрактальная геометрия природы» [Mandelbrot, 1982], которая до настоящего момента остается одним из лучших пособий для знакомства с фракталами, Б.Мандельброт, не вводя строгого определения, развернул перед читателем целую галерею фрактальных объектов, которые демонстрируют определенные, легко воспринимаемые визуально общие свойства.

Основное свойство фрактала – самоподобие, или масштабная инвариантность (скейлинг). Регулярный математический фрактал как множество точек в евклидовом пространстве порождается бесконечной рекурсивной процедурой: на каждом шаге итерации исходный элемент построения (инициатор) преобразуется посредством применения масштабированного «генератора» по определенному правилу. Рассматривая фрактал при разной степени увеличения, мы можем видеть подобие частей целому, некие повторяющиеся паттерны (см. рис. 1).



**Рис. 1.** Иллюстрация самоподобия фрактальной структуры (треугольник Серпинского). Первый слева – инициатор, второй – генератор и одновременно первый шаг генерации фрактала; далее – вторая итерация, справа – результат последовательного ряда итераций с применением рекуррентного правила преобразования инициатора.

Самоподобие может быть полным при искусственной генерации регулярных математических фракталов соответственно правилу преобразования исходных структурных элементов; подобие может определяться алгоритмом аффинного преобразования или испытывать влияние случайных факторов изменчивости, вводимых в рекуррентное правило преобразования (последнее типично и для объектов природы).

Фракталы как реально существующие объекты, в отличие от искусственных математических «монстров», как называл их сам Б.Мандельброт, точнее было бы называть «фракталоподобными структурами», или квазифракталами, поскольку они не обладают идеальной масштабной инвариантностью, а количество итераций конечно и процесс порождения фрактала рано или поздно останавливается. Так прекращается в какой-то момент ветвление бронхов или кровеносных сосудов.

При разных масштабах рассмотрения сохраняются статистические (вероятностные) свойства объекта – это статистическое самоподобие. Соотношение частоты и величины (размера, интенсивности, мощности) составляющих фрактала описывается степенным законом, о чем свидетельствует прямая линия, отображающая такую зависимость в двойных логарифмических координатах. Так, например, статистика распределения крупных кровеносных сосудов, измеряемых в миллиметрах, совершенно подобна распределению мелких, измеряемых в микрометрах (подробнее об этом примере см.: [Liebovitch, Shehadeh, 2005]). Выявляемые в эксперименте степенные зависимости могут служить индикатором статистического самоподобия, то есть фрактальности изучаемых характеристик.

Подчеркнем, что фрактальный анализ параметров динамических процессов при изучении особенностей функционирования (анализ временных рядов) с необходимостью требует надежного и длительного ряда наблюдений. Именно поэтому фрактальные модели в первую очередь проникли в нейронауку, психофизиологию, симуляционное моделирование. В этих областях можно рассматривать достаточно длинные ряды наблюдений за реальным объектом или параметрами искусственной модели поведения.

Несмотря на то, что самоподобие естественных фракталов из-за неизбежного влияния случайности носит, как правило, приближенный характер, фрактальные свойства объектов можно выявить и анализировать. Важно, что при изменении масштаба фрактальная структура сохраняет свою сложность, которая обнаруживается на всех уровнях. Фракталу нельзя приписать характерную среднюю величину составляющих структур, ведь при изменении масштаба меняются количество и величина принимаемых в рассмотрение элементов (основные свойства фракталов прекрасно описаны в [Mandelbrot, 1982; Schroeder, 1992; Liebovitch, Shehadeh, 2005]). Привычные нам статистики гауссовой математики, описывающие нормально распределенные величины, такие как среднее и дисперсия, заменяются иной характерной величиной – фрактальной размерностью.

## **Что такое фрактальная размерность?**

Фрактальная размерность отличается от топологической и, как правило, является дробной (хотя может быть и целым числом), в отличие от привычной всем нам топологической размерности (линия имеет размерность 1, плоская фигура – 2, объемная фигура, например куб, – 3). В общем случае  $D \geq Dt$ , где  $D$  – фрактальная размерность,  $Dt$  – топологическая размерность.

Мысль, что размерность может равняться, к примеру, 1,35, не всем и не сразу кажется приемлемой. Но если представить, что такая размерность характеризует свойство объектов заполнять пространство не полностью, то идея начинает обретать реальные контуры. Хрестоматийный пример, введенный в широкий научный оборот Б.Мандельбротом, это легкие человека [Mandelbrot, 1982]. Компактный внутренний орган за счет своей извилистости имеет колоссальную площадь поверхности соприкосновения с внешней средой, сравнимую с величиной теннисного корта. За счет этого обеспечивается высокая эффективность обмена со средой и поступление достаточного количества кислорода в организм. Подобным образом устроены и клеточные мембраны, и многие другие сложные составляющие живых организмов. Конечно, те же легкие можно рассматривать традиционно, как трехмерный объект, а можно – как фрактальный объект с особыми свойствами. Угол рассмотрения выбирает исследователь.

Новая объективно измеряемая характеристика – фрактальная размерность – открывает новые возможности исследования психологических феноменов. Этот показатель анализируется с применением разных методов вычисления и при разных схемах эксперимента. Показатель фрактальной размерности может служить основой для идентификации, – своего рода отпечатком пальцев, – позволяя по этому критерию классифицировать статические и динамические объекты.

# Восприятие визуальных стимулов: ранние исследования

Красоту фрактальных форм, предположительно основанную на сходстве с естественными, природными объектами, отмечал еще Б.Мандельброт в своей основополагающей работе [Mandelbrot, 1982], а Пайтген и Рихтер даже назвали свою книгу «Красота фракталов» [Peitgen, Richter, 1986]. В психологии изучение визуальных эстетических предпочтений методами фрактального анализа началось после пионерских работ Дж.Спротта [Sprott, 1993]. Одновременно и независимо в середине 1990-х гг. сходное направление исследований развивал Р.Тэйлор, что отмечают авторы в совместной работе [Taylor, Sprott, 2008, p. 120]. На выборке из 120 студентов Р.Тэйлор (1998) обнаружил, что 90% испытуемых предпочитают фрактальные паттерны нефрактальным [Taylor, 2006].

Исходной посылкой исследований Дж.Спротта являлся интерес автора к нелинейной динамике, теории динамического хаоса и анализу квазистохастических процессов: «все странные аттракторы являются фракталами, но не все фракталы являются аттракторами» [Sprott, 1993, p. 53]. Автор исходил из гипотезы, что привлекательность фрактальных объектов природы является функцией баланса простоты и сложности, упорядоченности и хаотичности (непредсказуемости), и это можно смоделировать в эксперименте, варьируя два параметра – фрактальную размерность (мера сложности) и показатель Ляпунова (мера хаотичности).

Изучались предпочтения испытуемых на материале сгенерированных компьютером трехмерных странных (хаотических) аттракторов. Респонденты (автор и семь волонтеров) по пятибалльной шкале оценивали эстетическую привлекательность изображений 7500 странных аттракторов, предъявляемых в случайном порядке на плоскости компьютерного экрана. Абстрактность стимулов позволяла избежать эффектов распознавания, неявных ассоциаций и других трудно контролируемых в эксперименте факторов.

Как оказалось, все испытуемые предпочитали изображения с фрактальной размерностью в интервале от 1,1 до 1,5, которая характеризует, в частности, облака и морские пейзажи. По мнению автора (вполне справедливому), используя этот факт, можно запрограммировать компьютер на «вынесение эстетических суждений», в частности на отбор изображений, которые могут быть приятны людям, и даже на продуцирование таких изображений (в то время такая постановка вопроса казалась абсурдной). Полученные данные, отмечает Спротт, неудивительны, «так как многие природные объекты обладают фрактальной размерностью именно в этом диапазоне», и человек постоянно находится с ними в визуальном контакте [Sprott, 1993, p. 470].

Полученные Дж.Спроттом результаты были подтверждены в исследовании [Aks, Sprott, 1996]. Стимулы (всего 324) фрактальной размерности от 0,49 до 1,78 были отобраны из коллекции 7500 странных аттракторов Спротта [Sprott, 1993]; обследованы 24 респондента. Показано, что испытуемые предпочитали стимулы с фрактальной размерностью, в среднем равной 1,26. Во второй серии эксперимента, ориентированной на изучение индивидуальных различий, участвовало 15 человек. Применялась батарея тестов для диагностики креативных способностей и дивергентного мышления.

Индекс креативности коррелировал с предпочитаемой фрактальной размерностью ( $r = 0,63$ ,  $p < 0,05$ ). Результаты позволяют предположить существование индивидуальных различий в эстетических предпочтениях испытуемых. Интересно, что креативные по результатам самоотчетов респонденты предпочитали стимулы с более высокой фрактальной размерностью, тогда как результаты объективных измерений свидетельствуют о том, что креативные испытуемые имеют склонность выбирать стимулы более низкой фрактальной размерности.

Эти результаты не подтвердили основанную на некоторых предварительных данных гипотезу Рут Ричардс о том, что творческие личности помимо присущей всем людям любви к фрактальным

формам, вероятно, предпочитают структуры более высокой размерности, что соответствовало бы эмпирическим фактам об их склонности предпочитать асимметричные и сложные формы [Richards, 2001, p. 90].

В исследовании [Abraham et al., 2003] варьировали четыре уровня фрактальной размерности стимулов, отобранных из коллекции странных аттракторов Спротта [Sprott, 1993]. Выборка ( $N = 18$ ) состояла из трех подвыборок испытуемых, сформированных по критерию возраста и принадлежности к определенной субкультуре ( $n = 6$ ). Предъявлялись на плоскости компьютерного экрана в случайном порядке четыре группы (по четыре стимула в каждой) трехмерных стимулов со средней фрактальной размерностью 0,59, 1,07, 1,54, 2,27 соответственно (от 0,52 до 2,36). Респонденты отдавали предпочтение изображениям хаотических аттракторов средней, то есть промежуточной, фрактальной размерности – в пределах от 1,4 до 1,6 (среднее значение 1,54). Подтверждены выводы предыдущего исследования о нелинейности взаимосвязей фрактальной размерности и оценок субъективной привлекательности фракталов: изображения с наиболее высокими и наиболее низкими показателями фрактальной размерности являются наименее предпочтительными.

Испытуемые дополнительно давали отчет о субъективно воспринимаемой сложности стимулов, которая оказалась также нелинейно связана с фрактальной размерностью (максимум сложности также приписывался стимулам из группы со средней размерностью, равной 1,54). По результатам анализа данных методом ANOVA показано, что фрактальная размерность является значимым источником вариативности оценок привлекательности и сложности стимулов; не выявлено влияния факторов уровня образования, пола и культурных различий [Abraham et al., 2003].

В исследовании [Mitina, Abraham, 2003] исследовалось восприятие динамических искусственных фрактальных изображений, предъявляемых в случайном порядке на экране компьютера. Использовалась та же, специально адаптированная, программа генерации странных аттракторов Спротта, что и в предыдущем исследовании [Abraham et al., 2003]. Схема исследования была несколько иной. В эксперименте приняли участие 140 студентов и аспирантов Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Изучалось субъективное восприятие времени (время генерации разворачивающихся на экране изображений варьировало от 2 до 30 секунд), сложность и эстетическая привлекательность стимулов (по 9-ти-балльной шкале), а также ряд психологических характеристик (локус контроля, диагностируемые опросниками Г.Айзенка и 16PF Р.Кеттла личностные свойства, уровень тревожности по Ч.Спилбергеру). Использовались 20 трехмерных стимулов с фрактальной размерностью от 0,52 до 2,36. Стимулы делились на три типа: с низкой фрактальной размерностью ( $D < 1$ ), средней ( $1 < D < 2$ ) и высокой ( $D > 2$ ).

Показано, что фрактальная размерность высоко коррелирует с субъективной сложностью ( $r = 0,718$ ;  $p = 0,001$ ) и эстетической привлекательностью ( $r = 0,664$ ;  $p = 0,002$ ) стимулов. Изображения с более высокой фрактальной размерностью испытуемые в среднем оценивали как более сложные и более приятные. Тесно связаны субъективная сложность и привлекательность стимулов ( $r = 0,934$ ;  $p = 0,000$ ). По результатам двухфакторного ANOVA авторы делают вывод о том, что фрактальная размерность является основным коррелятом субъективных оценок ( $p < 0,0001$ ). Чем выше фрактальная размерность, тем выше оценки сложности и эстетической привлекательности стимулов.

В данном исследовании подтвердилась гипотеза о том, что зависимость оценок субъективной сложности и эстетической привлекательности стимулов, а также субъективной длительности временных интервалов (последнее – впервые) от объективных характеристик стимула подчиняется степенному закону. Напомним, это характерное свойство самоподобных фрактальных объектов. Субъективная оценка сложности ( $C$ ) и эстетической привлекательности ( $S$ ) описывается логарифмической зависимостью от показателя фрактальной размерности ( $D$ ) стимулов:  $S = 2,56 \ln(D) + 4,88$  (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,61$ );  $C = 2,06 \ln(D) + 4,89$  ( $R^2 = 0,59$ ); в обоих случаях уровень значимости  $p < 0,0001$ . Обсуждая обнаружение степенных зависимостей, авторы

исследования [Mitina, Abraham, 2003] справедливо отмечают, что в психологии ранней предтечей фрактального анализа является закон Вебера–Фехнера, связывающий интенсивность стимула с интенсивностью ощущения логарифмической зависимостью.

По результатам исследования [Mitina, Abraham, 2003] обнаружилось связи между некоторыми психологическими характеристиками и восприятием сложности и эстетической привлекательности стимулов. Неуверенные в себе, склонные к самообвинению испытуемые (фактор O+ по Кеттелу) имели тенденцию переоценивать красоту и сложность фракталов низкой фрактальной размерности ( $D < 1$ ). Испытуемые, для которых важны одобрение и поддержка других (фактор Q2–) также оценивали как сложные фракталы первого типа (с размерностью  $D < 1$ ). Независимые испытуемые (фактор E+) оценивали фракталы низкой размерности ( $D < 1$ ) как наименее сложные, опираясь на собственное восприятие объективных характеристик стимулов; не считали привлекательными фракталы с высокой размерностью ( $D > 2$ ), в отличие от испытуемых «с другого полюса» (фактор E–), которые давали этим стимулам наивысшие оценки красоты и сложности. Респонденты с высоким уровнем самоконтроля (Q3+) имели тенденцию более высоко оценивать сложность фракталов самой высокой размерности ( $D > 2$ ), объективно самых сложных, хотя по эстетическим предпочтениям отличий от средних по выборке не было. Эмоционально стабильные (по Айзенку) испытуемые недооценивали сложность фракталов второго типа, то есть средней сложности. Интерпретация этих интересных результатов не вполне ясна; авторы приводят некоторые предварительные объяснительные рассуждения.

В целом индивидуальные различия, фиксируемые при восприятии фрактальных объектов, пока недостаточно изучены. Значимыми факторами, помимо психологических особенностей, могут являться социально-демографические характеристики, такие как пол, возраст, культурная и/или этническая принадлежность испытуемых.

Мы специально подробно остановились на некоторых ранних исследованиях восприятия фрактальных стимулов, как своего рода отправной точке для будущего. Во всех описанных исследованиях воспроизводились данные о том, что наибольшей эстетической привлекательностью для людей обладают объекты с фрактальной размерностью в диапазоне 1,1–1,5.

Однако Р.Тэйлор обращает внимание на наличие иных результатов в исследовании К.ПикOVER (C.Pickover, 1995; подробнее см., например, [Hagerhall et al., 2004]), который, изучая восприятие искусственных решетчатых паттернов, установил, что люди предпочитают изображения с фрактальной размерностью = 1,8. Кроме того, в разных исследованиях использовались очень разные стимулы и процедуры. Так, [Richards, 2001] описывает исследование, в котором тестировалась гипотеза «чем выше размерность, тем выше привлекательность стимула», однако тенденция была слабо выраженной и при незначительных изменениях предъявляемых изображений менялись и предпочтения испытуемых. В 2001 г. Р.Тэйлор предположил, что не существует универсальной предпочтительной фрактальной размерности, а эстетическая привлекательность фракталов специфическим образом связана со способом, которым они получены.

При проверке этой гипотезы в эксперименте использовались естественные фракталы (изображения гор, деревьев, облаков), искусственные (генерированные компьютером по математической формуле) и созданные человеком (фрагменты картин Дж.Поллока – J.Pollock). Гипотеза не подтвердилась: вне зависимости от способа порождения фракталов эстетической привлекательностью обладают изображения с фрактальной размерностью в диапазоне 1,3–1,5 [Taylor et al., 2001; Spehar et al., 2003]. Как подчеркивает Р.Тэйлор, диапазон применимости открытых Дж.Спроттом закономерностей распространился и на произведения искусства [Taylor, 2006].

Таким образом, по результатам исследования восприятия двумерных самоподобных изображений можно обоснованно считать особо выделенным диапазон фрактальной размерности 1,3–1,5. Стимулы такой фрактальной размерности оцениваются большинством людей как наиболее

привлекательные.

Почему такие стимулы притягательны для человека? Многие авторы, начиная с Б.Мандельброта, отмечают естественный, природоподобный вид фрактальных изображений размерностью 1,3–1,5. Подобными характеристиками обладают приятные и привычные человеку природные паттерны, такие как облака, лесные массивы, морские пейзажи. Фракталы являются базовой структурой окружающего мира и «составляют основу каждодневного потока визуальных впечатлений в течение всей нашей жизни» [Taylor, Sprott, 2008, p. 118]. Человек эволюционно приспособлен к фрактально организованной природной среде (см., например, краткий обзор аргументов в [Hagerhall et al., 2004]). В этой работе авторы цитируют высказывание Р.Восса (R.Voss): «система человеческого восприятия развивалась на протяжении миллионов лет в естественной фрактальной среде. Лишь недавно, по эволюционным временным меркам, мы оказались в евклидовой среде преимущественно прямых линий» (Rogowitz, Voss, 1990) [Цит. по: [Hagerhall et al., 2004, p. 253].

Накопленные за последнее время данные свидетельствуют о фрактальности структур и функций мозга и нервной системы в целом. Траектории глаз при визуальном поиске также фрактальны и характеризуются размерностью в диапазоне 1,4–1,5 (подробнее см. [Taylor et al., 2011]). По предположению Р.Тейлора, универсальная эстетическая привлекательность фракталов может быть объяснена «резонансом», возникающим в перцептивной системе при восприятии фрактального объекта [Taylor, 2006, p. 146]. Глаз человека эстетически «настроен» на восприятие окружающих нас повсеместно в природе фракталов.

## **Универсальная фрактальная эстетика. Расширение поля исследований**

Р.Тэйлор в 1999 г. впервые исследовал живопись Дж.Поллока фрактальными методами (и придумал термин «фрактальный экспрессионизм»), что, отмечает сам автор [Taylor, 2006], вызвало всплеск интереса к изучению эстетических предпочтений. Было установлено, что фрактальная размерность картин Дж.Поллока изменялась со временем: от 1,12 в 1945 году до 1,7 в 1952 году (см. обзор [Taylor et al., 2011]). Здесь мы обнаруживаем новый инструмент для анализа эволюции творческого индивидуального стиля, который уже применялся, к примеру, при анализе китайской пейзажной живописи. И, заметим, также инструмент проверки подлинности живописных полотен по измеряемой фрактальной размерности (полагаю, невозможно подделать это свойство картины).

После новых исследований [Taylor et al., 2001; Spehar et al., 2003; Taylor et al., 2011; и др.] появились основания говорить об «универсальной фрактальной эстетике» (с этим не вполне согласен Y.Joye, см. ниже). Следующим шагом было исследование естественных, природных паттернов, при восприятии которых доминирующую роль играют краевые контуры (например: [Hagerhall et al., 2004]).

При включении в исследование новых объектов эмпирически подтвердилась высокая универсальность фрактального эстетического опыта. Это позволило обосновать применимость фракталов не только в медицинской терапии, но и в терапии искусством [Joye, 2006]. Учитывая, что естественные (природные) и искусственные фракталы вызывают при восприятии позитивный эмоциональный отклик, можно варьировать параметры среды, достигая редукции стресса, реакций страха, гнева, напряжения (см., например, [Salingaros, 2012]). Использоваться могут и визуальные, и звуковые фракталы. Особенно полезно это может быть в случае, когда люди лишены (например, в больнице) возможности взаимодействовать с природными фракталами [Taylor, 2006].

По мнению Р.Тэйлора, распространение фрактальных принципов на архитектуру и психотерапию требует расширения психофизиологических исследований, измерения кожно-гальванических реакций, частоты сердечных сокращений, нейронной активности и т.п.; в 2006 г. такие исследования

были единичны. В частности, Р.Тэйлор указывает, что по экспериментальным данным, 10-секундного интервала достаточно, чтобы вызвать приятный эмоциональный отклик – а это значит, что фрактальные элементы среды даже при беглом просмотре («идя мимо по коридору») могут улучшать психологический статус [Taylor, 2006]. Спустя 10 лет после начала исследований живописи Р.Тэйлор и коллеги впервые представили результаты многолетнего изучения психофизиологических и нейрофизиологических коррелятов (изучались визуальные предпочтения, траектории движения глаз, электрическая проводимость кожи и электроэнцефалограмма) восприятия сложных фрактальных паттернов [Taylor et al., 2011].

Напомним упомянутую выше идею Р.Тэйлора о том, что человеческий глаз «настроен на фракталы». Эта гипотеза обрела конкретность и тестировалась в недавнем исследовании [Spehar и др., 2015]. Авторы предположили, что эстетические предпочтения респондентами определенных образов могут быть обусловлены визуальной чувствительностью к восприятию таких форм. В разных этапах эксперимента принимали участие 75 респондентов. Стимульным материалом служили достаточно простые синусоидальные решетки и искусственно генерированные текстуры с элементами стохастичности. Результаты подтвердили исходное предположение: существует тесная взаимосвязь между эстетическими предпочтениями и особенностями сенсорного кодирования стимулов; планируется продолжение этой линии исследований.

Среди новых поворотов темы нельзя не упомянуть интересное исследование [Cutting et al., 2010] кинофильмов, то есть своего рода динамических потоков двумерных изображений. При анализе 150 популярных, кассово успешных голливудских фильмов разных жанров, снятых в период с 1935 по 2005 гг., было показано (использовался Фурье-анализ), что с 1980-х гг. в характеристиках монтажной склейки начинает преобладать розовый шум – индикатор фрактальности. Спектральная плотность такого шума обратно пропорциональна частоте, то есть определяется формулой  $1/f$ .

Анализировалось распределение внимания зрителей во времени, которое тоже, как оказалось, имело характеристики розового шума. Вывод: обнаруженные параметры монтажной склейки соответствуют оптимальному распределению внимания зрителей. Авторы, интерпретируя полученные результаты, обращаются к теории самоорганизованной критичности [Вак, 1996], описывающей системы, которые колеблются на грани между порядком и беспорядком (хаосом), мигрируя в зоны стабильности. Режиссеры, безусловно, не генерируют розовый шум искусственно, но неосознанно следуют интуитивно найденной стратегии создания успешного (кассового) художественного фильма.

Фрактальные исследования музыки, в отличие от изучения кинофильмов, уже являются относительно распространенными. В частности, показано, что большинство популярных музыкальных стилей (исключая американский стиль кантри) обладает параметрами розового шума [Ro, Kwon, 2009; Евин, 2009]. Розовый шум обладает масштабной инвариантностью, то есть самоподобием, что является основным свойством фрактальных структур. Шум водопада также является розовым шумом, не потому ли он так нравится многим людям? (Тема розового шума, который регулярно обнаруживается в психологических исследованиях, вообще заслуживает отдельного и подробного обсуждения.)

При восприятии музыки, особенно классической, как отмечает И.А.Евин [Евин, 2004], ссылаясь на работы [Birbaumer et al., 1996; Patel, Balaban, 2000], синхронизируется активность нейронных ансамблей мозга. Эти и другие подобные данные позволили автору обосновать гипотезу о том, что «музыка есть способ управления хаотической динамикой мозга, и каждую музыкальную партитуру можно рассматривать как своеобразную программу управления хаотической динамикой электрической активности нейронных ансамблей» [Евин, 2004, с. 90].

И далее, анализируя разнообразные проявления красоты природе и в искусстве (музыка, литература, балет, живопись и др.), Евин формулирует обобщающее предположение: «Наша гипотеза о природе красоты заключается в том, что “состояниям красоты” соответствуют



критические точки соответствующих сложных систем» [Там же. С. 132]. Говоря на языке теории самоорганизации, И.А.Евин предполагает, что при прослушивании музыки образование новых паттернов синхронизации нейронной активности идет посредством бифуркационных переходов. Полагаем, интересно было бы измерить фрактальную размерность электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при прослушивании музыки разного стиля, чтобы изучить возможную коррелированность фрактальной размерности музыкального произведения и паттерна ЭЭГ слушателя и, возможно, обнаружить эффекты самоорганизованной критичности в синхронизации ЭЭГ.

## Фрактальность архитектуры

Универсальность фрактальных предпочтений и высокая эстетическая ценность фракталов обуславливает их повсеместное использование в архитектуре. Трехмерные архитектурные формы, признанные образцами красоты, обычно фрактальны, например собор Нотр-Дам в Париже, знаменитый оперный театр в Сиднее, творения А.Гауди в Барселоне [Taylor, 2006; Joye, 2007c; Rian, Sassone, 2014]. Обнаружена фрактальность готической архитектуры [Goldberger, 1996], структуры африканских поселений [Eglash, 1999], пирамид Мезоамерики [Burkle-Elizondo, Valdéz-Cepeda, 2006] и мн. др.

Отметим, впрочем, что фракталы не только красивы, но и практичны, поскольку обладают высокой стабильностью, структурной устойчивостью, способностью сопротивляться разрушениям. Исторический обзор ветвящихся фрактальных структур в архитектуре, сопровождаемый выразительными иллюстрациями, представлен в [Rian, Sassone, 2014]. Отмечается, что люди давно обнаружили оптимальное соотношение между формой и прочностью и разработали ряд дендроподобных конструкций для создания архитектурных сооружений, красивых и устойчивых одновременно.

Многие примеры фрактальности трехмерных произведений архитектуры рассматриваются в работе [Joye, 2007b]. Пытаясь отыскать примеры трехмерной фрактальности современной архитектуры, Y.Joye нашел их достаточно редкими. Обратившись к материалам сайта «Фрактальная архитектура» (<http://www.fractalarchitect.com>), автор заключил, что такие конструкции сочетают в себе фрактальные принципы и модернистские формы. В этом контексте Y.Joye анализирует замечательную серию супрематических архитектурных моделей К.Малевича «Архитектоны»: соотношение количества и величины структурных компонентов разного масштаба обладает характеристиками розового шум ( $1/f$ ), то есть фрактально [Joye, 2007c, p. 314].

Интересные примеры фрактальности двумерных планов архитектурных проектов приведены в работе [Joye, 2007c]. В частности, анализируя наиболее замечательный, по мнению автора, фрактальный архитектурный план здания Wright's Palmer House (Энн-Арбор, Мичиган, США), Y.Joye обнаруживает использование треугольника как основного структурного модуля, причем в семи разных масштабах [Joye, 2007c, p. 312]. Использование вложенности структурообразующих модулей, придающее фрактальные свойства объекту, является характерным приемом многих талантливых архитекторов. Подчеркнем, что фрактальная вложенность подобных друг другу элементов разного масштаба – суть природных процессов формирования живого и неживого.

Эстетическая привлекательность фрактальных архитектурных форм, аналитически заключает Y.Joye, основана на эволюционно выработанных свойствах мозга, который «отдает предпочтение» фрактальным структурам. Поскольку восприятие фракталов приводит к релаксации и редукции стресса, Y.Joye дает легко реализуемый практический совет: когда вы почувствуете себя уставшими после тяжелого рабочего дня, стимулируйте ваш мозг, рассматривая фракталы, будь то порождения природы или произведения архитектуры [Joye, 2007c, p. 319].

## От биофильных фракталов к биофильной среде

Рассматривая подобие объектам природы многих искусственно генерируемых фракталов, Р.Тэйлор и Дж.Спротт [Taylor, Sprott, 2008] предлагают ввести обобщающий термин «биофильный фрактал». Понятие биофилии (любовь к живому) впервые использовал Э.Фромм [Fromm, 1973]. Более широкое распространение идея биофилии получила после работ основателя социобиологии Э.Уилсона, который выдвинул «гипотезу биофилии»: людям присуще врожденное (генетически обусловленное) стремление взаимодействовать с природой и разнообразными формами жизни, в широком смысле это любовь к природе [Wilson, 1984].

Основное свойство искусственных биофильных фракталов – высокая эстетическая привлекательность, их «естественный» вид. Как подчеркивают авторы, основой для выделения этого класса фракталов не служат формальные процедуры их конструирования, критерий выделения – органично воспринимаемая «естественная» красота, подобная красоте природных объектов. «Искусственные структуры, которые “ухватывают” важные визуальные качества нашей природной среды», могут служить удобным материалом экспериментальной эстетики [Taylor, Sprott, 2008, p. 120].

Идеи биофильности получили широкое распространение при конструировании приятных людям объектов (например, заставок для компьютерных экранов, см. [Taylor, Sprott, 2008]) и в целом комфортной для человека окружающей среды. В обзоре исследований экологической психологии [Joye, 2007a] автор подчеркивает, что эстетически привлекательные для людей природные (фрактальные) ландшафты повышают психологическое и физиологическое благополучие. Однако такие элементы среды редки для современных городов, архитектура которых нередко отличается бедностью и однообразием форм, в отличие, к примеру, от архитектуры готических соборов, структура которых является фрактальной [Joye, 2007a, p. 308].

У.Жоуе предлагает интегрировать естественные фрактальные элементы в структуру архитектурных городских ландшафтов среды – от имитации природных фрактальных форм до применения фрактальных моделей при конструировании сооружений. Обосновывая свою позицию, У.Жоуе приводит многочисленные примеры того, что фрактальные структуры интуитивно издревле использовались людьми не только при возведении зданий, но и при создании мозаик, ковров, украшающих пол узоров и т.п. [Joye, 2007c].

Мощно развернутую аргументацию желательности включения в архитектуру природоподобных структур У.Жоуе приводит в своей докторской диссертации, где принципам фрактальной геометрии в архитектуре посвящена отдельная глава [Joye, 2007b, p. 137–192]. В заключительной ее части У.Жоуе отмечает важный момент: недостаточно знать, какая фрактальная размерность для людей предпочтительна, чтобы создать интересное и эстетически привлекательное «фрактальное» сооружение. Необходим учет многих факторов, в том числе и переменчивой пространственной позиции человека, воспринимающего архитектурную форму [Joye, 2007b, p. 191].

Здесь автор полемизирует с точкой зрения Р.Тэйлора, который утверждал [Taylor, 2006], что достаточно опираться на (двумерные) архитектурные формы с фрактальной размерностью порядка 1,3, чтобы вызвать у созерцателя максимально положительный эмоциональный отклик. В целом свою позицию У.Жоуе, проанализировавший большой массив эмпирических данных и теоретических концепций, характеризует как «умеренную». Общий посыл автора заключается в том, что фрактальные архитектурные принципы, будучи осознанно или интуитивно, как в индуистских храмах, реализованы, обеспечивают дизайнеров и архитекторов способами (шаблонами) создания биофильной искусственной среды [Joye, 2007b].

Возникшая за последние годы биофильная архитектура, отличительной особенностью которой является стремление учитывать эффект биофильности искусственных структур при проектировании внешнего и внутреннего облика зданий и сооружений, получает все большее распространение (см., например: инновационный дизайн в архитектуре [Voyatzaki, 2013], принципы фрактальной генетики в градостроительстве [Захарова, Колясников, 2012]). Именно при

биофильном подходе для создания комфортной современному человеку среды применимы и эффективны фрактальные модели.

## Заключение

Мы постарались показать на примере конкретных эмпирических исследований мощный познавательный потенциал фрактальных моделей. Созданная Б.Мандельбротом фрактальная геометрия природы дала ученым не только новый инструмент измерения. Были установлены новые факты, затрагивающие глубинные основы функционирования человека. Универсальность эстетического опыта получила экспериментальное подтверждение: позитивный эмоциональный отклик у людей вызывают предпочтительные объекты фрактальной размерностью в диапазоне 1,3–1,5. Это касается и идеальных математических фракталов, и созданных человеком произведений живописи, музыки, архитектуры, литературы и, конечно, естественных объектов, порожденных природой.

Мы практически не затрагивали тему структурной и функциональной фрактальности человеческого организма (как и всех других живых существ). Однако в этой области практически произошел прорыв. Архитектура живого, в том числе сетевая, основана на модульной вложенности структур и процессов и обладает фрактальными свойствами. Мы живем в мире фракталов и устроены фрактально. Даже наша генетическая программа структурирована, упакована в ДНК и действует фрактально.

Давно признано, что фрактальные модели биологических систем и процессов имеют фундаментальное значение для описания разных уровней живого – от молекулярного до экосистемного [Iannaccone, Khokha, 1995; Kenkel, Walker, 1996]. Не исключено, что сбудется предсказание о формировании новой субдисциплины – фракталомики (fractalomics), которая будет изучать фрактальную геометрию жизни во всех ее проявлениях [Losa, 2009].

Психофизиология давно аккумулировала идеи фрактальной геометрии [Bassingthwaight et al., 1994]. Надеюсь, и психология в целом тоже будет фрактальной. Уже нарастающим темпом исследуются когнитивные процессы, эмоции, социальные взаимодействия, функционирование языка и многое другое. Представленные в данной работе материалы – лишь малая часть фрактальных психологических исследований.

Учитывая разноуровневую и разнокачественную фрактальность организма человека и фрактальность окружающей его среды, мы разделяем мнение большого числа исследователей о том, что человек, эволюционируя в фрактальном мире, не мог не приобрести фрактальных свойств. На Земле выжили и приспособились только фрактально организованные существа.

## Литература

Евин И.А. Искусство и синергетика. М.: Едиториал УРСС, 2004.

Евин И.А. Искусство и фракталы. Вопросы культурологии, 2009, No. 6, 34–37.

Захарова М.П., Колясников В.А. Применение принципов фрактальной генетики в градостроительстве. Академический вестник Уралниипроект РААСН, 2012, No. 1, 7–11.

Abraham F.D., Sprott J.C., Mitina O., Osorio M., Dequito E. A., Pinili J.M. Judgments of time, aesthetics, and complexity as a function of the fractal dimension of images formed by chaotic attractors. 2003. <http://www.blueberry-brain.org/silliman/JEM%20ms2.htm>

- Aks D.J., Sprott J.C. Quantifying aesthetic preference for chaotic patterns. *Empirical Studies of the Arts*, 1996, 14(1), 1–16. doi:10.2190/6V31-7M9R-T9L5-CDG9
- Bak P. *How nature works: The science of self-organized criticality*. New York: Copernicus, 1996.
- Birbaumer N., Lutzenberger W., Rau H., Braun C., Mayer-Kress G. Perception of music and dimensional complexity of brain activity. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 1996, 06(02), 267–278. doi:10.1142/S0218127496000047
- Burkle-Elizondo G., Valdéz-Cepeda R. D. Fractal analysis of mesoamerican pyramids. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 2006, 10(1), 105–122.
- Cutting J.E., DeLong J.E., Nothelfer, C.E. Attention and the evolution of Hollywood film. *Psychological Science*, 2010, 21(3), 432–439. doi:10.1177/0956797610361679
- Eglash R. *African Fractals: Modern Computing and Indigenous Design*. New Brunswick: Rutgers University Press, 1999.
- Fromm E. *The anatomy of human destructiveness*. New York: Holt, 1973.
- Goldberger A.L. Fractals and the birth of Gothic: reflections on the biologic basis of creativity. *Molecular Psychiatry*. 1996, 1(2), 99–104.
- Hagerhall C.M., Purcell T., Taylor R. Fractal dimension of landscape silhouette outlines as a predictor of landscape preference. *Journal of Environmental Psychology*, 2004, 24(2), 247–255.
- Iannaccone P.M., Khokha M. (Eds.). *Fractal geometry in biological systems: An analytical approach*. New York: CRC Press, 1995.
- Joye Y. Some reflections on the relevance of fractals for art therapy. *The Arts in Psychotherapy*, 2006, 33(2), 143–147.
- Joye Y. Architectural lessons from environmental psychology: The case of biophilic architecture. *Review of General Psychology*, 2007a, 11(4), 305–328.
- Joye Y. A tentative argument for the inclusion of nature-based forms in architecture. Unpublished doctoral dissertation, Ghent University, Ghent, Belgium, 2007b.
- Joye Y. Fractal architecture could be good for you. *Nexus Network Journal*, 2007c, 9(2), 311–320. doi:10.1007/s00004-007-0045-y
- Kenkel N.C., Walker D.J. Fractals in the biological sciences. *Coenoses*, 1996, 11(2), 77–100.
- Losa G.A. The fractal geometry of life. *Rivista Di Biologia*, 2009, 102(1), 29–59.
- Mandelbrot B.B. *The fractal geometry of nature*. New York: Freeman, 1982. Рус. пер.: Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютер. исслед., 2002.
- Mitina O.V., Abraham F.D. The use of fractals for the study of the psychology of perception: psychophysics and personality factors, a brief report. *International Journal of Modern Physics C*, 2003, 14(08), 1047–1060. doi:10.1142/S0129183103005182
- Patel A.D., Balaban E. Temporal patterns of human cortical activity reflect tone sequence structure. *Nature*, 2000, 404(6773), 80–84. doi:10.1038/35003577

Peitgen H.-O., Richter P. The Beauty of fractals Heidelberg: Springer-Verlag, 1986. Рус. пер.: Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. М.: Мир, 1986.

Rian I.M., Sassone M. Tree-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: A brief historical overview. *Frontiers of Architectural Research*, 2014, 3(3), 298–323.  
doi:10.1016/j.foar.2014.03.006

Richards R. A new aesthetic for environmental awareness: Chaos theory, the beauty of nature, and our broader humanistic view. *Journal of Humanistic Psychology*, 2001, 41(2), 59–95.

Ro W., Kwon Y. 1/f Noise analysis of songs in various genre of music. *Chaos Solitons and Fractals*, 2009, 42(4), 2305–2311.

Salingaros N.A. Fractal art and architecture reduce physiological stress. *Journal of Biourbanism*, 2012, 2(2), 11–28.

Spehar B., Clifford C.W.G., Newell B.R., Taylor R.P. Universal aesthetic of fractals. *Computers and Graphics*, 2003, 27(5), 813–820. doi:10.1016/S0097-8493(03)00154-7

Spehar B., Wong S., van de Klundert, S., Lui J., Clifford C.W.G., Taylor R.P. Beauty and the beholder: the role of visual sensitivity in visual preference. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2015, 9(00514).  
doi:10.3389/fnhum.2015.00514

Sprott J.C. Strange attractors: Creating patterns in chaos. New York: M&T Books, 1993.

Taylor R.P. Reduction of physiological stress using fractal art and architecture. *Leonardo*, 2006, 39(3), 245–251. doi:10.1162/leon.2006.39.3.245

Taylor R., Newell B., Spehar B., Clifford C. Fractals: A resonance between art and nature? *Symmetry: Art and Science*, 2001, Vol. 1, 194–197.

Taylor R.P., Spehar B., Van Donkelaar P., Hagerhall C.M. Perceptual and physiological responses to Jackson Pollock's fractals. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2011, 5, Article 60.  
doi:10.3389/fnhum.2011.00060.

Taylor R.P., Sprott J.C. Biophilic fractals and the visual journey of organic screen-savers. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 2008, 12(1), 117–129.

Voyatzaki M. (Ed.). Architectural education and the reality of the ideal: Environmental design for innovation in the post-crisis world. Thessaloniki: Charis, 2013.

Поступила в редакцию 7 августа 2015 г. Дата публикации: 30 апреля 2016 г.

### [Сведения об авторе](#)

*Пьянкова Светлана Дмитриевна.* Кандидат психологических наук, доцент, кафедра психогенетики, факультет психологии, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, ул. Моховая, д. 11, стр. 9, 125009 Москва, Россия.  
E-mail: [spyank@mail.ru](mailto:spyank@mail.ru)

### [Ссылка для цитирования](#)

Стиль psystudy.ru

Пьянкова С.Д. Фрактально аналитические исследования в психологии: особенности восприятия самоподобных объектов. Психологические исследования, 2016, 9(46), 12. <http://psystudy.ru>

Стиль ГОСТ

Пьянкова С.Д. Фрактально аналитические исследования в психологии: особенности восприятия самоподобных объектов // Психологические исследования. 2016. Т. 9, № 46. С. 12. URL:

<http://psystudy.ru> (дата обращения: чч.мм.гггг).

[Описание соответствует ГОСТ Р 7.0.5-2008 "Библиографическая ссылка". Дата обращения в формате "число-месяц-год = чч.мм.гггг" – дата, когда читатель обращался к документу и он был доступен.]

Адрес статьи: <http://psystudy.ru/index.php/num/2016v9n46/1266-pyankova46.html>

[К началу страницы >>](#)