

ФРАКТАЛЬНОСТЬ В РУССКОМ ЯЗЫКЕ

«Фрактал – от лат. *fractus* ‘состоящий из фрагментов’. Понятия *фрактал* и *фрактальная геометрия*, появившиеся в конце 70-х, с середины 80-х прочно вошли в обиход математиков и программистов. Термин предложен Бенуа Мандельбротом в 1975 году для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур...» [<http://fract.narod.ru/about.htm>].

«Слово *фрактал* не является математическим термином и не имеет строгого математического определения. Оно предполагает наличие у рассматриваемой фигуры каких-либо из следующих свойств: 1. Нетривиальной структуры на всех масштабах. Это отличает фрактал от регулярных фигур: если мы рассмотрим небольшой фрагмент окружности, эллипса или графика гладкой функции в очень крупном масштабе, он будет похож на фрагмент прямой. Для фрактала увеличение масштаба не ведёт к упрощению структуры, на всех шкалах мы увидим одинаково сложную картину. 2. Является самоподобной или приближённо самоподобной. 3. Обладает дробной метрической размерностью или метрической размерностью, превосходящей топологическую.

Многие объекты в природе обладают фрактальными свойствами, например, побережья, облака, кроны деревьев, снежинки, кровеносная система и система альвеол человека и животных» [Фрактал. Материал из Википедии — <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B0%D0%BB>].

«Самое простое из определений *фрактала* – следующее: фракталом называется фигура, обладающая некоторой степенью самоподобия». [<http://lenta.ru/photo/2009/12/07/fractal/#pic002>]. Как видим, *фрактальность* определяется через *самоподобие*. «*Самоподобие* – это масштабная инвариантность» [http://www.sernam.ru/mm_522.php]. Под такое определение подходят матрёшки, детские пирамидки, рекурсивные сказки и структуры языка.

Фрактальность немыслима без *рекурсии* — «процесса повторения чего-либо самоподобным способом. Например, вложенные отражения, производимые двумя точно параллельными друг другу зеркалами, являются одной из форм бесконечной рекурсии.» [Рекурсия. Материал из Википедии – <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%8F>].

Для нас *фрактал* – это самоподобная рекурсивная структура. *Фрактальность* языка предполагает в нем наличие *самоподобия* (масштабной инвариантности) и *рекурсии* (использования на каждом шаге порождения порождённого ранее).

Рекурсии и фрактальности в языке посвящено немало работ. В 2009 году в США при участии Наума Хомского была проведена специальная конференция, посвященная рекурсии в языке и познанию [*Recursion 2009*]. Рекурсии в последнее время придаётся чрезвычайно большое значение:

полагают, что отличие человека от животных состоит в его способности к рекурсии [Hauser 2002; Fitch 2005; Corballis 2011].

Может сложиться впечатление, что о фрактальности языка всё уже сказано и нечего добавить. Знакомство с конкретными работами говорит об ином: фрактальность анализируется и обнаруживается не столько в языке, сколько в текстах, преимущественно, художественных [Лодатко] или фольклорных, (например, в сказках типа «Репка», «Теремок», «Колобок» и т.п. [Кретов 1994]).

В генеративной лингвистике рекурсия трактуется преимущественно как «гнездование» синтаксических структур, наблюдаемое при порождении сложных предложений. (Ср. «Способность некоторой фразовой категории включать в себя составляющие той же фразовой категории называется **рекурсивностью**» [Тестелец 2001:116]).

До простого предложения анализ рекурсии и лингвистической фрактальности не доходит. Единственным известным нам исключением являются лекции И.П.Распопова, в которых он проводил аналогию между устройством простого предложения и английским стихотворением в переводе С.Я. Маршака «Дом, который построил Джек». К сожалению, найти эту аналогию в опубликованных работах И.П. Распопова не удалось.

Наша задача скромна: показать сходство в порождении на фонетическом, лексическом и синтаксическом уровнях таких единиц языка, как слог, слово и простое предложение.

Начнём с фонетического уровня и рассмотрим **механизм порождения слога**. Для этого нам будет достаточно деления звуков на слогаобразующие – назовём их *вокалами* (**V**) и неслогаобразующие – назовём их *консонантами* (**C**).

Таким образом, минимальным слогом будет слог типа **V** (*и, а, о, у, э*).

Теперь опишем механизм порождения слога: $Ms^i = S^{i-1} + y^{(l/r)}$, где

Ms^i – механизм порождения слога на *i*-том шаге работы,

i – положительное целое число, удовлетворяющее условию, $i > 1$,

S^{i-1} – слог на предшествовавшем *i*-тому шаге работы,

$y^{(l/r)} = C$ (консонант), присоединяемый к слогу слева – y^l или справа – y^r .

при $i = 1$, $S^0 = V$.

Описав механизм порождения слога, продемонстрируем его работу.

<i>i</i>	S^{i-1}	$y^{(l/r)}$	Пример
1	V		и
2	CV	<i>l</i>	щи
2	VC	<i>r</i>	им
3	CCV / CVC	<i>l</i>	сто / дом
3	CVC / VCC	<i>r</i>	сок / иск
4	CCCV / CCVC / CVCC	<i>l</i>	мгла / стол / гость
4	CCVC / CVCC / VCCC	<i>r</i>	глаз / борщ / остр
5	CCCCV / CCCVC / CCVCC / CVCCC	<i>l</i>	встре(ча) / стрел / столб / горсть
5	CCVC / CCVCC / CVCCC / *VCCCC	<i>r</i>	строй / блеск / быстр / Ø

Результат работы механизма порождения слога удобнее представить в виде графа (см. Рис. 1)

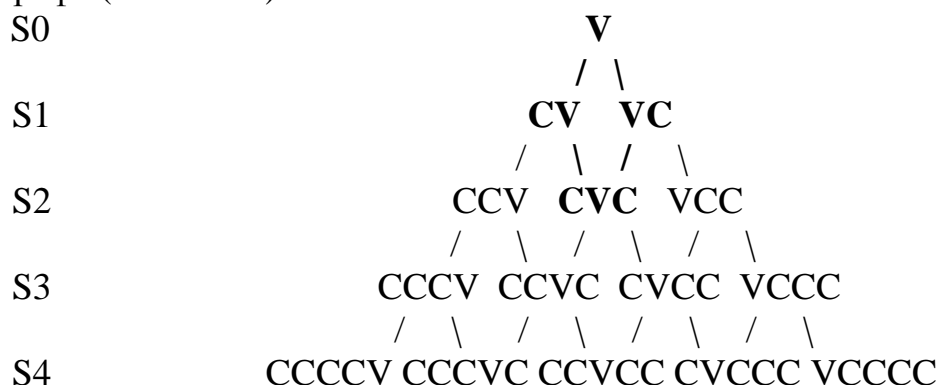


Рис. 1. Работа Механизма порождения слога.

Рис. 1 позволяет обнаружить *фрактальность* порождаемой лингвистической структуры: она порождается равносторонним прямоугольником, вершины которого ориентированы по вертикали и горизонтали (см. Рис. 2).

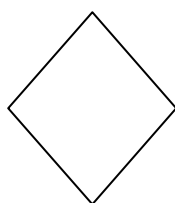


Рис. 2. Лингвистический Фрактал.

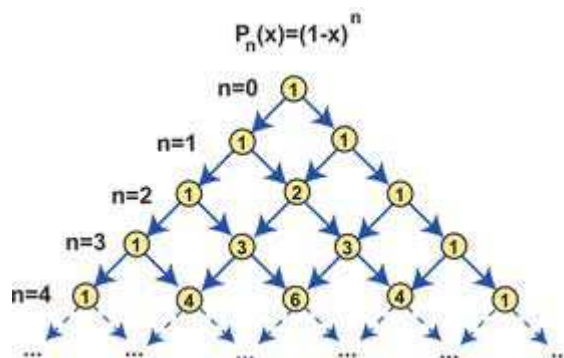
Правило порождения графа состоит в том, что граф присоединяется к любой верхней точке прямоугольника и его стороны могут накладываться на стороны уже имеющихся прямоугольников.

Специфика *лингвистического фрактала* состоит в том, что в нём заложены как различие – расщепление верхнего узла надвое, так и тождество, ведущее к *неоднозначности* – слияние двух средних узлов в один нижний: его нижний узел (CVC) может быть получен двумя способами: $V > CV > CVC$ и $V > VC > CVC$. В терминах графа это означает, что к узлу CVC ведут два разных пути. По мере роста графа число узлов, получаемых разными способами и путей, ведущих к ним увеличивается. И ещё один вывод, который мы уже можем сделать, состоит в том, что лингвистический фрактал, лежащий в основании механизма порождения слога, одновременно является фракталом графа, известного математикам под названием «треугольник Паскаля»¹.

О треугольнике Паскаля достаточно знать следующее. «Каждое число равно сумме двух расположенных над ним чисел. Продолжать треугольник можно

¹ Этим наблюдением мы обязаны студенту факультета прикладной математики и механики Воронежского государственного университета Юрию Рожеку.

бесконечно. Строки треугольника симметричны относительно вертикальной оси.



Первые 5 строк треугольника Паскаля ($n = 0, 1, \dots, 4$)

«Треугольник Паскаля так прост, что выписать его сможет даже десятилетний ребенок. В то же время он таит в себе неисчерпаемые сокровища и связывает воедино различные аспекты математики, не имеющие на первый взгляд между собой ничего общего. Столь необычные свойства позволяют считать треугольник Паскаля одной из наиболее изящных схем во всей математике» (Мартин Гарднер).

- Числа треугольника симметричны (равны) относительно вертикальной оси.
- Сумма чисел восходящей диагонали, начинающейся с первого элемента $(n-1)$ -й строки, есть n -е число Фибоначчи:

$$\binom{n-1}{0} + \binom{n-2}{1} + \binom{n-3}{2} + \dots = F_n.$$
- Простые делители чисел треугольника Паскаля образуют симметричные самоподобные структуры.
- Если в треугольнике Паскаля все нечётные числа окрасить в чёрный цвет, а чётные — в белый, то образуется треугольник Серпинского (фрактал).
- Все числа в n -й строке, кроме единиц, делятся на число n , если и только если n является простым числом (следствие теоремы Люка).

Каждое число в треугольнике равно количеству способов добраться до него из вершины, перемещаясь либо вправо-вниз, либо влево-вниз» [Википедия — http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B5%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%9F%D0%B0%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%8F].

Посмотрим, обеспечивает ли этот **механизм** на лексическом уровне **порождение русских слов**². Как без вокала нет слога, так без *корня* (R – лат. radix) нет слова. Поскольку в русском языке *словообразование* является

² Нам уже доводилось писать о самоподобии и рекурсивности русского слова в соавторстве и с к.т.н., доцентом каф. Программного обеспечения и администрирования информационных систем ВГУ И.Е.Ворониной [Кретов 1995]. Дальнейшее обсуждение и разработка этой проблематике содержится в монографии И.Е.Ворониной [Воронина 2007, С.118-127], см. рис. 4.18, 4.25, 4.26.

основообразованием, окончание (пусть и нулевое), можно «вынести за скобки»: оно столь же неизменная часть однозначного слова, как и корень.

Кроме корня и флексии, в образовании слова участвуют *аффиксы*, прибавляемые к корню слева – *префиксы* (*p*) или справа – *суффиксы* (*s*).

Таким образом, минимальным будет слово типа $дом = \mathbf{R}(f)$, где *f* – флексия.

Теперь опишем механизм порождения слова: $Mv^i = S^{i-1} + y^{(l/r)}$, где

Mv^i – механизм порождения слова на *i*-том шаге работы,

i – положительное целое число, удовлетворяющее условию, $i > 1$,

S^{i-1} – состав предложения на предшествовавшем *i*-тому шаге работы,

$y^{(l/r)}$ = аффикс, присоединяемый к корню слева – $y^l = P$ приставка или справа – $y^r = S$ суффикс.

при $i = 1$, $S^0 = R$ (корень).

Описав механизм порождения слова, продемонстрируем его работу. (Выделены совпадающие структуры, помещены * – нереализованные).

<i>i</i>	S^{i-1}	$y^{(l/r)}$	Примеры
1	R		<i>вид</i>
2	pR	<i>l</i>	<i>под-вид</i>
2	Rs	<i>r</i>	<i>вид=e(ть)</i>
3	ppR / pRs	<i>l</i>	<i>за-на-вес / с-вид=e(ться)</i>
3	pRs / Rss	<i>r</i>	<i>вы-ход=eц / чит=a=тель</i>
4	pppR / ppRs / pRss	<i>l</i>	<i>пра-пра-пра-дед / пра-пра-дед / с-вид=e=тель</i>
4	ppRs / pRss / Rsss	<i>r</i>	<i>со-в-над=a(ть) / в-над=en=иj(e) / реб=en=оч=ек</i>
5	*ppppR / pppRs / ppRss / pRsss	<i>l</i>	\emptyset / <i>пере-рас-пре-дел=и(ть) / рас-пре-дел=и=тель / с-вид=e=тель=ств(о)</i>
5	pppRs / ppRss / pRsss / Rssss	<i>r</i>	<i>вос-про-из-вод=и(ть) / о-пре-дел=и=тель / воз-мут=и=тел=ьн(ый) / уч=и=тель=ств=ова(ть)</i>

Как видим, один и тот же механизм порождает не только комбинации звуков, но и комбинации морфем. Сходный граф для моделирования морфемной структуры украинских слов предлагался украинскими учеными Н.Ф. Клименко и Е.А. Карпиловской [Клименко, Карпиловська 1991, 1998; Клименко 2000]. Явление рекурсии в словообразовании исследовалось в аспекте повторения одних и тех же морфем в одном слове А.И. Кузнецовой [Кузнецова 1973]. Проявлением рекурсии в языке на лексическом уровне можно считать и «жизненный цикл» слова в версии А.А. Поликарпова [Поликарпов 1998].

Перейдём к синтаксическому уровню, и рассмотрим **механизм порождения простого предложения**, точнее – структурных схем простого предложения.

Минимумом (ядром) простого предложения является соединение темы и ремы, субъекта и предиката, подлежащего и сказуемого [Ломов 2004:400]: *Травка зеленеет. Солнышко блестит.*

Этот минимум, составляющий конструктивное ядро предложения, обозначим символом S . Остальные (по школьной грамматике – второстепенные) члены предложения (актанты и сирконстанты) обозначим символом $y^{(l/r)}$ ³.

Следующий шаг состоит в прибавлении к сказуемому члена предложения «слева» или «справа». Разумеется, в таком языке, как русский, выражение «слева-справа от сказуемого» следует понимать чисто условно: как расширение группы подлежащего (слева) или группы сказуемого (справа). Например, предложение *Уронил топорик дед* является расширением «справа» предложений типа **Дед уронил (что?)*.

Таким образом, минимальным (при $i = 1$) будет предложение типа $S^0 = NV$ (именное подлежащее+глагольное сказуемое).

Теперь опишем механизм порождения предложения: $Mc^i = S^{i-1} + y^{(l/r)}$, где Mc^i – механизм порождения предложения на i -том шаге работы, i – положительное целое число, удовлетворяющее условию, $i > 1$, S^{i-1} – тип предложения на предшествовавшем i -тому шаге работы, $y^{(l/r)} = c$ (component) член предложения, присоединяемый к предложению слева – к группе подлежащего или справа – к группе сказуемого.

при $i = 1$, $S^0 =$ простому глагольному двусоставному нераспространённому и неосложнённому предложению.

Описав механизм порождения предложения, продемонстрируем его работу.

К примеру, минимумом предложения⁴ *На дорожке возле хаты/ Костыльм старик чертил / Окруженья и охваты,/ Фланги, клинья, рейды в тыл...* является *старик чертил*. А его генеративная история будет такова: *Старик чертил (S) > старик чертил (Что?) окруженья и охваты, фланги, клинья, рейды в тыл... (Sc) > старик чертил окруженья и охваты, фланги, клинья, рейды в тыл... (Чем?) костыльм (Scc) > Старик чертил окруженья и охваты, фланги, клинья, рейды в тыл... костыльм (Где?) на дорожке возле хаты (Sccc).*

³ Оставим в стороне вопрос о небольшой группе неполных, подлежащих достраиванию до полных, и односоставных предложений: безличных и номинативных, которые только номинально являются односоставными, а по существу – двусоставны. Так, безличное предложение *Морозит* в прошедшем времени (ед.ч.) принимает форму среднего рода *Морозило*, что указывает на подлежащее, требующее среднего рода – некое *Оно*. Ср. англ. *It freezes*, нем. *Es friert*, франц. *Il gèle*. Номинативные предложения имеют сказуемым глагол быть, выражаемый в настоящем времени нулевой формой: *Ночь = Ночь есть. День = День есть*. Ср. *И будет ночь. И будет день. И была ночь. И был день*.

⁴ Здесь и далее полужирным шрифтом выделяется ядро предложения.

Патриарх седой, себе под руку / Покоривший и добро и зло, / Не решаясь обратиться к звуку, / Тростью на песке чертил число. Генеративная история этого предложения такова: *Патриарх чертил (S) > Патриарх (Какой?) седой чертил (cS) > Патриарх седой чертил (Что?) число (cSc) > Патриарх седой чертил число (Чем?) тростью (cScc) > Патриарх седой чертил число тростью (Где?) на песке (cSccc) > Патриарх седой чертил число тростью на песке (Как?), не решаясь обратиться к звуку (cScccc).*

А в предложении *А левее той порою, / Ранней осенью сухой, / Занимал село героя / Генерал совсем другой...* – минимумом является *генерал занимал.* Генеративная история этого предложения такова: *Генерал занимал (S) > Генерал (Какой?) совсем другой занимал (cS) > Генерал совсем другой занимал (Что?) село героя (cSc) > Генерал совсем другой занимал село героя (Где?) левее (cScc) > Генерал совсем другой занимал село героя левее (Когда?) той порою, ранней осенью сухой (cSccc).*

Описав механизм порождения простого предложения, продемонстрируем его работу.

<i>i</i>	S^{i-1}	$y^{(l/r)}$	Примеры
1	S		Все спят. Наступала осень. Погода портилась. Каир затихал. Луна садилась. Идет дождь. Часы текли. Ты шутишь? Лапша простынет! Все проходит. Пруд дымится. День угасает.
2	cS	<i>l</i>	Чернеет темная трава. Белеет мол безлюдный. Молчала старая дорога. Голос Марьи зазвенел.
2	Sc	<i>r</i>	Лес по дереву не тужит! Я застрелил его. Рейд солнца ждет. Рок отметил тебя.
3	ccS / cSc	<i>l</i>	Мерцают бледные пески долины. / Да, край родной не радуется теперь
3	cSc / Scc	<i>r</i>	Вверху идет холодный шум / Я долго смотрел на него.
4	*cccS / ccSc / cScc	<i>l</i>	Ø / Тяжелый запах цветущих тополей наполнял сырой воздух. Лев Николаевич стоял посреди комнаты бледный, с трясущейся губой. / Хрустальный звон сливается с небом нивы.
4	ccSc / cScc / Sccc	<i>r</i>	Мягко веял влажный Тающего снега холодок... / Обрывки туч порой темнеют в нем... / Вчера в степи я слышал отдаленный Крик журавлей. Она с веселым спокойствием пускала из губ колечки дыма. Однажды расспрашивала она меня об одной нашей общей знакомой. Из Воронежа родители увезли меня в свое орловское имение.
5	*ccccS / cccSc / ccScc / cSccc	<i>l</i>	Ø / К закату собирались длинные перыстые ткани тучек... / И новая цветущая природа, их ожидает За синими, за теплыми морями / Потом из конторы быстро выходит начальник станции.
5	cccSc / ccScc / cSccc / Scccc	<i>r</i>	В темноте под елями рассыпаны неподвижные зелено-желтые огоньки светляков. / Неожиданно дошла откуда-то нежная сладость цветущего дерева. / Пятна света на снегу в сумраке палисадника горели зелено. / Потом я крепко двинул лыжи под гору.

Легко заметить, что и в данном случае мы имеем дело с тем же графом, что и в первых двух.

Таким образом, образование слога, слова и простого предложения одним и тем же лингвистическим фракталом посредством самоподобия и рекурсии можно считать доказанным.

Подведём итоги. Лингвистический фрактал имеет форму ромба, что предполагает как формальное различие, так и формальное тождество структур с разной генеративной историей, т.е. неоднозначность.

Базовые лингвистические структуры – слог, слово и простое предложение предполагают наличие некоего ядра, являющегося одновременно и минимумом слога, слова и предложения: вокала, корня или грамматической основы [Ломов 2004:57,400]. Это ядро является точкой отсчёта для работы механизма порождения. Понятия «лево» и «право» или пред- и посткорневой позиции во всех случаях являются обязательными.

Идеальная симметрия порождаемой структуры не подтверждается реальным материалом: на всех уровнях обнаруживаются нереализованные возможности и чем дальше, тем больше.

Одним из факторов, накладывающих ограничения на развёртывание структуры, является объём оперативной памяти человека, оцениваемый как 7 ± 2 . Поскольку человеческие возможности различны, а язык обслуживает всех, ограничения сдвигаются к нижней границе: 5-7. Кроме того, действует принцип целесообразности в соответствии которым более сложные структуры порождаются лишь после того, как возможности более простых исчерпаны.

Асимметрия реально наблюдаемых структур может многое сказать лингвисту, но лишь в том случае, если она воспринимается на фоне идеальной структуры, не знающей ограничений. Ближайшей перспективой намеченной проблематики является исследование и интерпретация факторов, вызывающих асимметрию в языке, а также – ограничений, накладываемых на пути образования лингвистических единиц, расположенных в узлах порождаемого графа⁵.

Литература

Воронина 2007 Воронина И.Е. Компьютерное моделирование лингвистических объектов : монография / И.Е. Воронина. – Воронеж ИПЦ ВГУ, 2007. – 177 с.

Клименко, Карпіловська 1991 Клименко Н.Ф., Карпіловська Є.А. Морфемні структури слів у сучасній українській мові / Н.Ф.Клименко, Є.А.Карпіловська // Мовознавство. - 1991. - № 4. - С.10-21.

Клименко, Карпіловська 1998 Клименко Н. Ф., Карпіловська Є. А. Словотвірна морфеміка сучасної української мови. Київ: Наукова думка, 1998.

Клименко 2000 Клименко Н.Ф. Морфотактика / Н.Ф. Клименко // Українська мова. Енциклопедія. – Київ: Укр. енцикл., 2000, С. 351.

Кретов 1994 Кретов А.А. Сказки рекурсивной структуры // Труды по русской и славянской филологии. Литературоведение. Т. 1 (Новая серия). Тарту: Кафедра русской литературы Тартуского университета, 1994, с. 204-214.

Кретов, Воронина 1995 Кретов А.А., Воронина И.Е. Русское слово как самоподобная рекурсивная структура / А.А. Кретов, И.Е. Воронина

⁵ Пионерской работой такого рода на материале словаря Пушкина является статья Л.Н. Матыщиной [Матыщина 1999].

// Лингвистика на исходе XX века: итоги и перспективы. Тезисы международной конференции. Т. I. -М.: Филология, 1995, с. 269-271.

Кузнецова 1973 Кузнецова А.И. Словообразовательный круг в русском языке /А.И.Кузнецова // Теоретические и экспериментальные исследования в области структурной и прикладной лингвистики. – М.: Изд-во МГУ, 1973, С. 145-151.

Лодатко 2004 Лодатко Е.А. Рекурсивные лингвистические структуры // Теоретические и прикладные проблемы русской филологии: Научно-метод. сборник. – Вып. XII / Отв. ред. В. А. Глущенко. – Славянск: СГПУ, 2004. – С. 86-95.

Ломов 2004 Ломов А.М. Русский синтаксис в алфавитном порядке: Понятийный словарь-справочник. /А.М. Ломов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. – 400 с.

Матыцина 1999 Матыцина Л.Н. «Морфемная сетка» как способ представления словообразовательной системы языка А.С.Пушкина /Л.Н.Матыцина // Филологические записки. Вестник литературоведения и языкознания: Выр. 12. – Воронеж: ВГУ, 1999, С. 129-136.

Поликарпов 1998 Поликарпов А.А. Циклические процессы в становлении лексической системы языка: моделирование и эксперимент. Автореф. ... докт. филол. наук. М., 1998. –55 с.

Тестелец 2001 Тестелец Я.Г. Введение в общий синтаксис. / Я.Г. Тестелец. – М.: РГГУ, 2001. – 800 с.

Corballis 2011 Corballis, Michael C. The Recursive Mind: The Origins of Human Language, Thought, and Civilization. – Princeton, N.J. ; Oxford : Princeton University Press, 2011. – 288 p.

Fitch 2005 Fitch W.T., Hauser M.D., Chomsky N. The evolution of the language faculty: clarifications and implications. // Cognition. 2005 № 97(2), pp.179-210.

Hauser 2002 Hauser M.D., Chomsky N., Fitch W.T. The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve? // Science. 2002 № 298(5598), pp. 1569-1579.

Recursion 2009 «Recursion: Structural Complexity in Language and Cognition». University of Massachusetts, Amherst May 26, 27, 28, 2009; sponsored by the National Science Foundation.