

# Долговременное прогнозирование развития систем технологического и биологического окружения, содержащих информационные компоненты

**Орехов Виктор Дмитриевич**

кандидат технических наук, директор научно-образовательного центра, Международный институт менеджмента ЛИНК, vorchov@yandex.ru,

**Каранашев Анзор Хасанбиевич**

доктор экономических наук, профессор кафедры, Кабардино-Балкарский гос. университет, kanzor77@mail.ru,

**Блинникова Алла Викторовна**

кандидат экономических наук, доцент, Государственный университет управления, allarest@mail.ru

Актуальность работы связана с важностью долговременного прогнозирования внешнего окружения. Целью работы является анализ математических моделей развития важнейших систем технологического и биологического окружения и выявление в них общих закономерностей. Рассмотрен ряд моделей развивающихся сложных систем: модель Фернхюльста, производительность суперкомпьютеров, динамика размера генома живых существ (LB), численность человечества и словарный запас LB. Показано, что они, как правило, имеют вид типа логистической кривой, хотя в начальный период закон роста может меняться от экспоненты до гипербол различных степеней. Показано, что минимальный размер генома групп LB меняется в соответствии с уравнением  $N = N_{\max}/(1 + (N_{\max}/C)T^{2.5})$ , где  $T$  – время появления LB, лет тому назад. Предложена модель изменения словарного запаса LB (тыс. слов) в зависимости от объема их мозга в литрах  $Nv = 22Q^2(1 - 2Q/3Q_{\max})$ . Рассмотрено влияние информационной компоненты на скорость роста этих систем. Работа может быть использована в долговременных прогнозах социально-экономического развития.

**Ключевые слова:** прогнозирование, математический анализ, логистическая кривая, размер генома, разум, демографический переход, закон Мура, словарный запас.

## Введение

Перед экономической наукой стоит задача расширить горизонты прогнозирования, хотя бы до продолжительности жизни человека, чтобы люди могли понимать, какие вопросы им придется решать на протяжении своей жизни. Решение этой задачи во многом связано с возможностями прогнозирования развития технологического и биологического окружения, которое быстро и кардинально меняется.

За 60 лет информационной революции производительность суперкомпьютеров увеличилась в 1 000 000 000 000 раз и продолжает экспоненциально расти [1]. Это привело к внедрению в нашу жизнь искусственного интеллекта, который демонстрирует потенциал проведения радикальных изменений в нашей жизни за 10–20 лет [2].

Ряд ученых утверждает, что наступило время биомедицинской революции [3]. Генетика все в большей мере влияет на производство продуктов питания, методы лечения людей и увеличение продолжительности жизни. Предпринимаются попытки усовершенствовать генетику человека [4]. Наиболее радикальной целью таких изменений было бы повышение интеллектуальных способностей человека, хотя пока это сдерживается этическими соображениями. Насколько это возможно и допустимо?

И компьютеры, и искусственный интеллект, и ДНК, и мышление, и наш геном – все это компоненты глобальных сверхсистем, действующих с использованием информационных принципов или технологий. И эти сверхсистемы важно изучать, хотя бы в предварительном, оценочном виде.

Ряд авторов отмечает, что многие процессы в нашем мире идут, ускоряясь в бесконечность. Однако в реальности они не могут быть неограниченными и рано или поздно должны выходить на стабильный уровень. Однако переход от ускоряющегося развития к стабилизации может грозить еще большими неприятностями для человечества, особенно если он происходит быстро. Для прогнозирования процессов подобного типа в данной работе изучен ряд математических моделей фундаментальных процессов технологического и биологического окружения, в частности живых систем, содержащих информационные компоненты.

## 1. Обзор

Простейшим примером роста системы живых существ является модель Фернхюльста [5], которая описывает скорость размножения простейших организмов. Если обозначить численность популяции –  $N$ , то дифференциальное уравнение для роста числа организмов от времени  $T$  можно представить в виде

$$dN/dT = (N/C) (1 - N/N_{\max}) \quad (1)$$

Решением этого уравнения является логистическая или S-образная кривая, которая выражается формулой

$$N(T) = N_0 \cdot \exp(T/C) / (1 + (N_0/N_{\max}) \cdot (\exp(T/C) - 1)) \quad (2)$$

При малых значениях времени ( $T \leq C$ ) подчеркнутый член в уравнении (2) близок к единице, и функция  $N(T)$  растет примерно, как экспонента.

## 2. Методика

Целью работы является анализ математических моделей развития важнейших систем технологического и биологического окружения и выявление в них общих закономерностей и различий.

Исследован ряд фундаментальных феноменологических закономерностей в развитии сверхсложных систем, имеющих информационную компоненту. Понимание их динамики важно для долговременного прогнозирования технологического и биологического окружения. Используются системный и диалектический подходы, методы математического анализа и синтеза, статистические методы, графическая визуализация.

## 3. Закон Мура и производительность суперкомпьютеров

В качестве двух развивающихся во времени сложных систем рассмотрим микропроцессоры и суперкомпьютеры. Зависимости роста их максимальных параметров от времени представлены на рис. 1. Нижняя зависимость представляет закон Мура в виде логарифма числа транзисторов –  $\log N$  на микропроцессоре [6] в зависимости от времени.

На верхнем графике дана производительность суперкомпьютеров [1] – Log F в флосах (флос – число операций в сек.). За 2 года число транзисторов возрастает в 2 раза, а производительность суперкомпьютеров в 2,8 раза. Обе зависимости экспоненциальные:

$$\text{Lg } F = 1,71 + 0,15 \cdot (T - 1960) \quad (3)$$

$$\text{Lg } N = 3,97 + 0,224 \cdot (T - 1960) \quad (4)$$

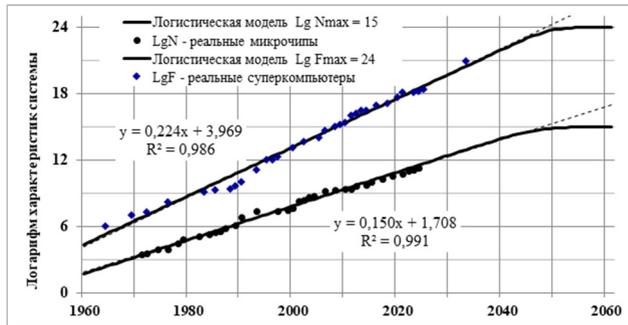


Рис. 1. Закон Мура и производительность суперкомпьютеров в флосах

В обоих случаях коэффициент детерминации  $R^2 \approx 0,99$ , т.е. зависимости растут в соответствии с начальной стадией (1) закона Фернхюльста (2), и тенденции выхода на «полку» пока не наблюдается.

Там же приведены оценочные логистические тренды: для микропроцессоров  $N_0 = 52$ ,  $\text{Log } N_{\text{max}} = 16$ ,  $C = 2,83$  и суперкомпьютеров  $F_0 = 23500$ ,  $\text{Log } F_{\text{max}} = 24$ ,  $C = 1,97$ . Здесь  $t = T - 1960$ .

$$\text{Lg } F = \text{Lg} [F_0 \text{Exp}(t/C) / (1 + F_0/F_{\text{max}} \cdot (\text{exp}(t/C) - 1))] \quad (5)$$

$$\text{Lg } N = \text{Lg} [N_0 \text{Exp}(t/C) / (1 + N_0/N_{\text{max}} \cdot (\text{exp}(t/C) - 1))] \quad (6)$$

Наиболее производительной из известных сейчас систем информационного типа является мозг человека, и, скорее всего, его уровень сложности может быть достигнут суперкомпьютерами. Мозг человека включает в себя около  $10^{11}$  нейронов, каждый из которых взаимодействует с другими посредством порядка  $10\,000$  синапсов [7]. Таким образом, сложность мозга человека можно оценить величиной порядка  $10^{15}$  «транзисторов». При наблюдаемой скорости роста сложности микрочипов (рис. 1) такой уровень может быть достигнут к 2050 году.

#### 4. Модель роста числа людей

В отличие от модели Фернхюльста, рост числа людей до 1960 года может быть описан уравнением гиперболы [8]

$$N \approx C / (T_L - T) \quad (7)$$

Аналогично модели Фернхюльста здесь  $N$  – число людей,  $T$  – время, а  $C$  – параметр скорости роста популяции ( $C \approx 165$  млрд чел.лет). Уравнение (7) определено при  $T < T_L$ , где  $T_L$  – дата сингулярности. Данное уравнение, как отметил С.П. Капица [9], представляет собой решение уравнения

$$dN/dT = N^2 / C \quad (8)$$

Скорость роста числа людей (8) пропорциональна квадрату их числа, а не первой степени, как в уравнении (1) при  $N/N_{\text{max}} \ll 1$ . По мнению С.П. Капицы, это связано с информационным взаимодействием между людьми [9]. Было показано [10] с использованием упрощенного варианта модели М. Кремера [11], что уравнение для описания роста численности человечества может быть представлено в виде, аналогичном уравнению (1):

$$dN/dT = (1/C) \cdot N^2 \cdot (1 - N/N_{\text{max}}) \quad (9)$$

Решение уравнения (9) имеет вид (10) [10]

$$T = T_L - C/N - (C/N_{\text{max}}) \cdot \text{Ln}(N/(N_{\text{max}} - N)) \quad (10)$$

На рис. 2 приведена зависимость числа людей, в соответствии с решением (10), а также согласно среднему прогнозу ООН [12] от 2019 г.

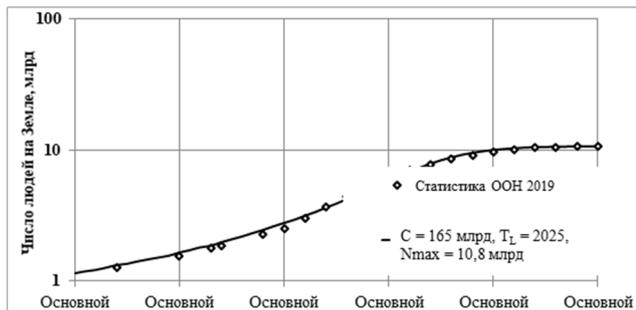


Рис. 2. Динамика числа людей на Земле, млрд чел.

Как видно из графика, отклонение этих двух рядов значений относительно невелико – менее 11%.

#### 5. О закономерностях роста размеров генома живых существ

Рассмотрим еще один вариант закономерности, связанной с развитием биологических систем, а именно закономерности изменения генома в процессе эволюции жизни. Новый подход к оценке связи размера генома и сложности организмов был разработан под руководством А. В. Маркова [13].

Было показано, что для ряда эволюционных групп живых организмов существует зависимость уровня организации этой группы существ от их минимального размера генома ( $N_G$ ). Кроме  $N_G$  учитывалось, как давно появилась данная группа организмов (см. табл. 1). Для аппроксимации динамики  $N_G$  от возраста ( $T$ ) авторами предложена степенная экспоненциальная функция.

Таблица 1

Рост размера минимального генома во времени

Группа организмов	$N_G$ , млн пар нуклеотидов	Возраст, млн лет	Вид – обладатель минимального генома в группе
1. Всё живое	1,3	4000	Морская бактерия <i>Pelagibacter ubique</i>
2. Эукариоты	9,2	2000	Сумчатый гриб <i>Ashbya gossypii</i>
3. Многоклеточные	19,6	1250	Нематода <i>Pratylenchus coffeae</i>
4. Хордовые	68,6	575	Аппендикулярия <i>Oikopleura dioica</i>
5. Позвоночные	342	540	Костная рыба <i>Tetraodon fluviatilis</i>
6. Четырехногие	931	375	Лягушка <i>Limnodynastes ornatus</i>
7. Завропсиды	951	315	Фазан <i>Phasianus colchicus</i>
8. Млекопитающие	1695	220	Летучая мышь <i>Miniopterus schreibersi</i>
9. Приматы	2215	65	Обезьяна-прыгун <i>Callicebus torquatus</i>

Аналогично рассмотренным выше вариантам моделей данная зависимость не может быть неограниченной по величине и должна выходить «на полку». Рассмотрим зависимость  $N_G(T)$  в двойной логарифмической системе координат (рис. 3). В начальный период времени (до приматов) точки хорошо аппроксимируются гиперболой в степени примерно 2,5

$$N_G = C/T^{2,5} \quad (11)$$

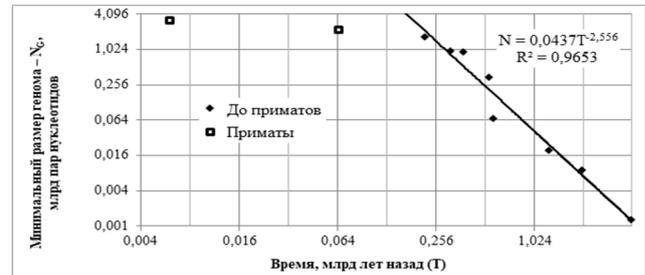


Рис. 3. Аппроксимация кривой минимального размера генома во времени

Точки, соответствующие приматам, включая человека, значительно отклоняются от гиперболы (11). Это свидетельствует о том, что зависимость  $N_G(T)$  должна иметь свойства логистического типа. Для ее получения дифференцируем уравнение (11) и получим дифференциальное уравнение

$$dN_G/dT = -2,5 \cdot C/T^{3,5} = -2,5 \cdot N_G/T \quad (12)$$

Чтобы преобразовать это уравнение к логистическому типу, необходимо добавить ограничивающий фактор в правой части аналогично выражениям (1), (9), и мы получим уравнение (13), а как следствие – (14).

$$T \cdot dN/dT = -2,5 \cdot N \cdot (1 - N/N_{\text{max}}) \quad (13)$$

$$(dN/N) / (N/N_{\text{max}} - 1) = 2,5 \cdot dT/T \quad (14)$$

Интегрируя уравнение (14), получим решение

$$N_G = N_{\text{max}} / (1 + AT^{2,5}) \quad (15)$$

Будем далее называть эту зависимость «логистической гиперболой степени 2,5». Если  $T \rightarrow 0$ , то величина  $N \rightarrow N_{\text{max}}$ , как в логистической кривой. Если  $T \rightarrow \infty$ , то  $N \approx N_{\text{max}} / AT^{2,5} = C/T^{2,5}$ , откуда следует, что  $A = N_{\text{max}} / C$ . Соответственно

$$N = N_{\text{max}} / (1 + (N_{\text{max}} / C) T^{2,5}) \quad (16)$$

График логистической гиперболы степени 2,5 (16) при  $N_{\text{max}} = 3,6$ ,  $C = 0,0437$  приведен на рис. 4, в сравнении с данными таблицы 1.

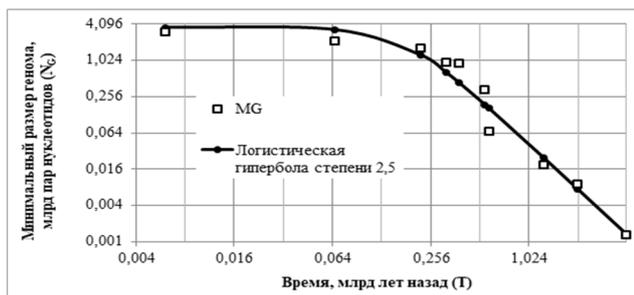


Рис. 4. Минимальный размер генома и логистическая гиперболола

Там же дана точка, соответствующая размеру генома человека (крайняя слева). Видно, что уравнение (16) относительно хорошо аппроксимирует данные по размеру минимального генома живых существ, не устремляясь к бесконечности, что характерно для кривых типа гиперэкспоненциальной.

**6. Связь «словарного» запаса и объема мозг живых существ**

Проведенный выше анализ ряда информационных систем подводит нас к попытке оценки степени интеллекта различных живых организмов. Есть ученые, которые утверждают, что «наш интеллект отделен от интеллекта других животных огромной пропастью» [14]. Однако, по мнению Чарльза Дарвина, отличие разума животных от человека имеет не качественный, а количественный характер [15].

Разработаны различные подходы к оценке умственных способностей живых существ [16], [17], в частности на основе определения различий в способности к обучению [18]. Эти исследования показывают, что способность учиться у шимпанзе близка к ребенку человека с IQ около 120. Ниже способности у других приматов и значительно ниже у кошки.

Мышление, в полной мере, проявляется, только если между существами возможна коммуникация. И чем шире возможности общения, тем более сложные сообщения могут передаваться.

Оценки интеллекта желательнее сравнить с физическими характеристиками мозга. Простейшей из них является объем мозга, который связан с когнитивными способностями живых существ [17]. Для оценки запаса слов (понятий) у человека удобно использовать методику тестирования Г. Головина [19], которая позволяет быстро оценить словарный запас человека –  $Nv$ . В качестве базы тестовых слов использован словарь Хагена (134 тыс. слов), а для определения частоты слов – «Национальный корпус русского языка» [20] (использовано 230 млн слов). Результаты исследования (123 тыс. чел.) показали, что средний словарный запас ребенка в 11 лет –  $Nv = 30$  тыс. слов, а 20 лет  $60 \pm 20$  тыс. слов.

Для ряда живых существ (собаки, кошки, обезьяны), можно оценить количество понятий, слов, команд, жестов, картинок, которые они понимают или используют. Для корректного сравнения их словарного запаса необходимо, чтоб они учились длительный срок. Будем ориентироваться на примерно сравнимый для всех их возраст – 11 лет. Будем считать, что словарный запас ребенка составляет 30 тыс. слов. Для обезьян будем считать, что словарный запас равен 2500 слов (шимпанзе Канзи [21] и горилла Коко). По результатам опроса 165 владельцев собак различных пород их питомцы реагировали в среднем на 89 слов [22]. Кошки понимают от 20 до 40 слов [23].

Объем мозга –  $Q$  ребенка достигает объема около 1200  $cm^3$  в возрасте 10–12 лет [24]. Объем мозга шимпанзе составляет около 400  $cm^3$ , кошки – 25  $cm^3$ , собаки – 90  $cm^3$  [25]. Сводная таблица характеристик словарного запаса и объема мозга изучаемых существ дана в таблице 2.

Таблица 2  
Словарный запас и объем мозга рассматриваемых существ

	Log Nv	Log Q	Q, $cm^3$	Nv, слов	Nv/Q <sup>2</sup>
Человек	4,48	3,08	1 200	30 000	0,0208
Шимпанзе	3,40	2,60	400	2 500	0,0156
Собака	2,18	1,95	90	150	0,0185
Кошка	1,30	1,40	25	20	0,0320

Хотя имеется значительный разброс данных для рассматриваемых существ, но в логарифмическом масштабе такую погрешность можно считать приемлемой. Выражение для словарного запаса этих существ в графическом представлении (рис. 5) имеет вид

$$Y = Lg Nv = - Lg 26,2 + 1,88 \cdot Lg Q \quad (17)$$

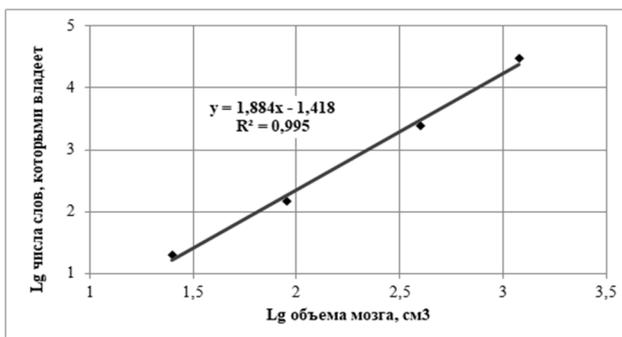


Рис. 5. Зависимость словарного запаса от размера мозга живых существ

Отсюда следует, что

$$Nv = 0,038 \cdot Q^{1,9} \quad (18)$$

Наименее точно определен в таблице 2 словарный запас кошки. Если снизить его значение с 20 до 10, то показатель степени в формуле (18) вырастет на 8%. В целом это не отразится на полученной общей зависимости.

Следует иметь в виду, что сделанная нами выборка живых существ довольно специфична. Поэтому без серьезного обоснования не следует распространять полученные закономерности на других существ, например на птиц или китообразных. Тем не менее, полученные результаты позволяют сделать ряд предварительных выводов о развитии разума на Земле.

1. Не наблюдается явных барьеров между словарным запасом человека и животных. Это свидетельствует о закономерном развитии разума по мере количественного роста мозга.

2. Словарный запас живых существ примерно пропорционален квадрату объема их мозга.

3. В рамках имеющейся точности данных не отмечен выход на «полку» размера словарного запаса живых существ до уровня человека.

4. Поскольку объем мозга Homo neanderthalensis составил около 1600  $cm^3$ , что более чем на 30% больше [26], чем у Homo sapiens, то можно предполагать, что способности к освоению словарного запаса у них были примерно на 70% больше, чем у современных людей.

Если принять, что словарный запас пропорционален объему мозга ровно во 2-й степени, то для данных из таблицы 2 среднее значение  $Nv/Q^2 = 0,022$ . Если выразить  $Q$  в литрах, а  $Nv$  в тысячах слов, то уравнение такой модели будет иметь вид

$$Nv = 22 \cdot Q^2 \quad (19)$$

Из уравнения (19) можно сформировать дифференциальное уравнение роста словарного запаса по мере увеличения размера мозга

$$dNv = 44 \cdot QdQ \quad (20)$$

Что может действовать в качестве ограничивающего фактора в уравнении логистического типа? Скорее всего, это объем мозга. Поэтому дифференциальное уравнение роста коммуникативных способностей ограниченного (логистического) типа и его решение могут иметь вид:

$$dNv = 44 \cdot Q \cdot (1 - Q/Q_{max}) dQ \quad (21)$$

$$Nv = 22Q^2 (1 - 2Q/3Q_{max}) + const \quad (22)$$

При  $Q = 0$  величина  $Nv = 0$ , следовательно  $const = 0$ , а

$$Nv = 22Q^2 (1 - 2Q/3Q_{max}) \quad (23)$$

Графики зависимостей (19) и (23) при  $Q_{max} = 5$  л представлены на рис. 6. Их сравнение показывает, что ограничивающее влияние для человека составляет 19%, для шимпанзе – 6%, для неандертальца – 27%.

При  $Q_{max} = 5$  л величина  $Nv_{max} = 183$  тыс. слов, что превышает примерно вдвое словарный запас людей с высшим образованием.

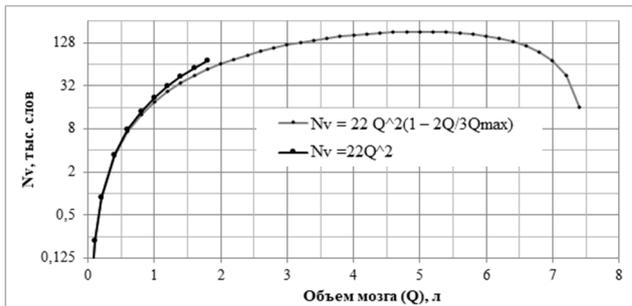


Рис. 6. Зависимость словарного запаса от объема мозга ограниченного типа

## 7. Целостный взгляд на закономерности роста развивающихся систем

Математические закономерности роста параметров сложных развивающихся систем, рассмотренных выше, сведены в таблицу 3.

Таблица 3  
Математические модели роста развивающихся систем

Система	Уравнение роста в начальный период и его решение	Дифференциальное уравнение логистического типа и его решение
Рост системы простейших живых организмов	$dN/dT = N/C$ $N = \text{Exp}(T/C)$	$dN/dT = (N/C)(1 - N/N_{\max})$ $N(T) = N_0 \text{Exp}(T/C)/(1 + (N_0/N_{\max})(\text{Exp}(T/C) - 1))$
Рост размера генома живых существ	$dN/dT = -2,5N/T$ $N = C/T^{2,5}$	$(dN/N)/(N/N_{\max} - 1) = 2,5 dT/T$ $N = N_{\max} / (1 + (N_{\max}/C)T^{2,5})$
Словарный запас живых существ, тыс./л	$dN/dQ = 44Q$ $N = 22Q^2$	$dN/dQ = 44Q(1 - Q/Q_{\max})$ $N = 22Q^2(1 - 2Q/3Q_{\max})$
Рост системы разумных существ	$dN/dT = N^2/C$ $N \approx C/(T_1 - T)$	$dN/dT = (1/C) \cdot N^2 \cdot (1 - N/N_{\max})$ $T = T_1 - C/N - (C/N_{\max}) \cdot \text{Ln}(N/(N_{\max} - N))$
Микрочипы и супер-компьютеры	$dN/dt = N/C$ $\text{Lg } N = 4 + 0,224 \cdot t$	$dN/dt = (N/C)(1 - N/N_{\max})$ $N = N_0 \text{Exp}(t/C)/(1 + N_0/N_{\max} \cdot (\text{exp}(t/C) - 1))$

Согласно моделям роста все эти системы вначале развиваются медленно, затем все быстрее и в завершение выходят на стабильный уровень. Чем медленнее растет в начальный период система, тем больше времени она развивается. По результатам проведенного анализа можно сформулировать алгоритм формирования математической модели подобных систем:

1. Сбор статистических данных о характере изменения параметров системы во времени, включая начальные значения ( $N_0$ ,  $T_0$ ).
2. Выявление математической модели роста системы в начальный период типа  $N = F(T)$ .
3. Формирование дифференциального уравнения роста системы в начальный период типа  $dN/dT = F(N, T)$ .
4. Поиск величины максимального значения параметра, характеризующего систему  $N_{\max}$ , и даты сингулярности ( $T_1$ ), если она присутствует.
5. Формирование дифференциального уравнения роста системы с учетом ограничивающего фактора типа  $(1 - N/N_{\max})$ .
6. Интегрирование дифференциального уравнения роста системы.
7. Согласование математической модели роста системы с начальными и конечными параметрами системы и статистическими данными.
8. Оценка статистической погрешности сформированной модели.
9. Графическое представление модели и статистических данных.
10. Оценка влияния изменений состояния надсистемы на данную систему.
11. Формирование гипотез относительно механизмов действия системы.
12. Подготовка выводов о результатах влияния развития системы на деятельность человечества, жизни, разума и техники.

Сформированные таким образом модели могут быть основанием для прогнозирования мирового развития в целом.

### Обсуждение

Согласно имеющимся публикациям [27], в популяциях людей доля неандертальских генов меньше всего у народов Африки, а наибольшая у жителей Восточной Азии (Китай, Япония, Корея – 2,3–2,6%). Статистика тестов по IQ [28] показывает, что для Восточной Азии характерно  $IQ > 100$ , а для Африки – наиболее низкие значения. Это может быть, как влияние генов неандертальцев, так и недостатки питания, медицины и образования. В дальнейшем желательно исследовать эти вопросы более детально.

### Выводы

1. Рассмотрен ряд моделей развивающихся сложных систем, включая динамику размера генома живых существ (LB), численность человечества и словарный запас LB.
2. Показано, что эти модели, как правило, имеют вид типа логистической кривой, хотя в начальный период закон роста может меняться от экспоненты до гипербол различных степеней.
3. Показано, что минимальный размер генома групп LB меняется в соответствии с уравнением  $N_G = N_{\max}/(1 + (N_{\max}/C)T^{2,5})$ , где  $T$  – время появления LB, лет тому назад.

4. По результатам исследования словарного запаса четырех типов LB (человек, обезьяна, собака и кошка) предложена модель изменения словарного запаса LB в возрасте около 11 лет и получавших обучение, в зависимости от объема их мозга (в тыс. слов, объем в литрах)  $Nv = 22Q^2(1 - 2Q/3Q_{\max})$ .

### Литература

1. Flops. Википедия, 2014. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/FLOPS> Дата обращения 1.11.2025
2. Kurzweil R. The Singularity Is Near. N. Y.: Viking, 2005.
3. Гринин А.Л., Гринин Л.Е. Ведущие технологии шестого технологического уклада. 2017. Труды Международной конференции «XXIV Кондратьевские чтения». 2017. С. 99–104.
4. Ребриков Д. В. Наследуемое редактирование генома – неизбежность. Акушерство и гинекология, 2023.
5. Verhulst, P. F., (1838). Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. Correspondance mathématique et physique, 10, 113–121.
6. Количество транзисторов. Википедия. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_count](https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count) Дата обращения 1.11.2025
7. Беляков В.И. Основы физиологии нейротрансмиттерных систем: учеб. пособие / В.И. Беляков; Федеральное агентство по образованию. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2008. – 80 с.
8. Foerster, H. von, Mora, P. and Amiot, L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science 132:1291–5. 1960.
9. Капица С. П. Математическая модель роста населения мира// Мат. модел. – 1992. – Т. 4. – № 6. – С. 67.
10. Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Моногр. – Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015. – 210 с. URL: <https://www.mimlink.ru/>
11. Kremer, M. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990.
12. World Population Prospects: The 2019 Revision. (2019). United Nations. New York.
13. Марков А.В., Анисимов В.А., Коротаев А.В. Взаимосвязь размера генома и сложности организма в эволюционном ряду от прокариот к млекопитающим // Палеонтологический журнал, № 4, 2010. – С. 3–14.
14. Хаузер М. Д. Возникновение разума//В мире науки. – 2009. – № 11. (Hauser M. D. Life Science links. Scientific American).
15. Дарвин Ч. Происхождение человека и половой подбор. – М., 2010.
16. Wechsler D. The non-intellective factors in general intelligence // J. Abnorm. Intell. 1943. 38. P. 100–104.
17. Benson-Amram S, Dantzer B, Stricker G. Brain size predicts problem-solving ability in mammalian carnivores. Proc Natl Acad Sci USA. 2016; 113(9):2532-2537. DOI: 10.1073/pnas.1505913113
18. Зорина З.А, Полетаева И.И. Элементарное мышление животных: Учебное пособие. М.: Аспект Пресс, 2002. – С. 206.
19. Головин Г. Словарный запас носителей русского языка. MyVocab. 2014. URL: <https://www.myvocab.info/> Дата обращения 1.11.2025
20. Национальный корпус русского языка. 2003. URL: <https://ruscorpora.ru> Дата обращения 1.11.2025
21. Savage-rumbaugh, S., Lewin, R. Kanzi: Nyani Kwenye Ukingo wa Akili ya Mwanadamu – Wiley, 1994.
22. Reeve C., Jacques S. (2021) Responses to spoken words by domestic dogs: A new instrument for use with dog owners. Applied Animal Behaviour Science. Vol. 246, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105513>
23. How Many Words Can A Cat Understand? AnimalPath URL: <https://animalpath.org/how-many-words-can-a-cat-understand/> Дата обращения 24.02.2025
24. Giedd, Jay N.; Blumenthal, Jonathan; Jeffries, Neal O.; Castellanos, F. X.; Liu, Hong; Zijdenbos, Alex; Paus, Tomáš; Evans, Alan C.. (October 1999). "Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study". Nature Neuroscience. 2 (10): 861–863. doi:10.1038/13158
25. Боголепова И.Н., Агапов П.А., Малофеева И.Г., Диффинз Е.А., Курьянова Л.М. Вес мозга животных в сравнительно-анатомическом ряду. Морфологические ведомости. 2022;30(4):707. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2022;30\(4\).707](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2022;30(4).707)
26. Неандертальцы. Большая российская энциклопедия. – 2022. URL: <https://bigenc.ru/c/neandertal-tsy-7e1c08> Дата обращения 5.11.2025
27. Vernot B., Akey J.M. Resurrecting Surviving Neandertal Lineages from Modern Human Genomes. Science 2014, Vol 343, Issue 6174, pp. 1017–1021.
28. Average IQ by Country Data Pandas. 2025. URL: <https://www.datapandas.org/ranking/average-iq-by-country> Дата обращения 20.11.2025

**Long-term forecasting of the development of technological and biological environment systems containing information components**

Orekhov V.D., Karanashev A.Kh., Blinnikova A.V.

International Institute of Management LINK, Kabardino-Balkarian State University, State University of Management

*JEL classification: C10, C50, C60, C61, C80, C87, C90*

The relevance of this work is linked to the importance of long-term forecasting of the external environment. The aim of the study is to analyze mathematical models describing the development of major technological and biological systems and to identify their common patterns and differences. Several models of evolving complex systems are examined: the Verhulst model, the performance of supercomputers, the dynamics of genome size in living beings (LB), human population size, and the vocabulary size of LB. It is shown that these systems generally follow logistic-type curves, although in the initial period the growth law may vary from exponential to hyperbolic of various degrees. It is demonstrated that the minimum genome size of LB groups changes according to the equation  $N = N_{\max} / (1 + (N_{\max} / C) T^{2.5})$ , where T is the time of LB emergence, in years before present. A model is proposed for the change in LB vocabulary size (thousand words) depending on their brain volume in liters:  $Nv = 22Q^2 (1 - 2Q / 3Q_{\max})$ . The influence of the informational component on the growth rate of these systems is analyzed. The results can be used for long-term socio-economic forecasting.

Keywords: forecasting, mathematical analysis, logistic curve, genome size, intelligence, demographic transition, Moore's law, vocabulary.

**References**

1. Flops. Wikipedia, 2014. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/FLOPS> Accessed: 1.11.2025
2. Kurzweil R. The Singularity Is Near. N. Y.: Viking, 2005.
3. Grinin A.L., Grinin L.E. Leading technologies of the sixth technological order. Proceedings of the International Conference "XXIV Kondratieff Readings". 2017, pp. 99–104.
4. Rebrikov D. V. Inherited genome editing is an inevitability. Obstetrics and Gynecology, 2023.
5. Verhulst, P. F., (1838). Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. Correspondance mathématique et physique, 10, 113–121.
6. The number of transistors. Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_count](https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count) Accessed: 1.11.2025
7. Belyakov V.I. Fundamentals of physiology of neurotransmitter systems: textbook. manual / V.I. Belyakov; Federal Agency for Education. Samara: Samara University Publishing House, 2008, 80 p.
8. Foerster, H. von, Mora, P. and Amiot, L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. Science 132:1291–5. 1960.
9. Kapitsa S. P. Mathematical model of world population growth// Mat. model. – 1992. – Vol. 4. – No. 6. – P. 67.
10. Orekhov V.D. Forecasting the development of mankind taking into account the knowledge factor: Monograph. – Zhukovskiy: MIM LINK, 2015. 210 p.
11. Kremer, M. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990.
12. World Population Prospects: The 2019 Revision. (2019). United Nations. New York.
13. Markov A.V., Anisimov V.A., Korotaev A.V. The relationship between the size of the genome and the complexity of the organism in the evolutionary series from prokaryotes to mammals // Paleontological Journal. No.4, 2010, pp. 3–14.
14. Hauser M. D. The emergence of reason//In the world of science. – 2009. – №11. (Hauser M. D. Life Science links. Scientific American).
15. Darwin H. Human Origin and Sexual Selection, Moscow, 2010.
16. Wechsler D. The non-intellective factors in general intelligence // J. Abnorm. Intell. 1943. 38. P. 100–104.
17. Benson-Amram S, Dantzer B, Stricker G. Brain size predicts problem-solving ability in mammalian carnivores. Proc Natl Acad Sci USA. 2016; 113(9):2532-2537. DOI: 10.1073/pnas.1505913113
18. Zorina Z.A., Poletaeva I.I. Elementary thinking of animals: A textbook. Moscow: Aspect Press, 2002. – P. 206.
19. Golovin G. Vocabulary of native speakers of the Russian language. MyVocab. 2014. URL: <https://www.myvocab.info/> Accessed: 1.11.2025
20. The National corpus of the Russian language. 2003. URL:<https://ruscorpora.ru> Accessed 1.11.2025
21. Savage-rumbaugh, S., Lewin, R. Kanzi: Nyani Kwenye Ukingo wa Akili ya Mwanadamu – Wiley, 1994.
22. Reeve C., Jacques S. (2021) Responses to spoken words by domestic dogs: A new instrument for use with dog owners. Applied Animal Behaviour Science. Vol. 246, 2022. URL <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105513>
23. How Many Words Can A Cat Understand? AnimalPath URL: <https://animalpath.org/how-many-words-can-a-cat-understand/> Accessed: 24.02.2025
24. Giedd, Jay N.; Blumenthal, Jonathan; Jeffries, Neal O.; Castellanos, F. X.; Liu, Hong; Zijdenbos, Alex; Paus, Tomáš; Evans, Alan C.; Rapoport, Judith L. (October 1999). "Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study". Nature Neuroscience. 2 (10): 861–863. doi:10.1038/13158
25. Bogolepova I.N., Agapov P.A., Malofeeva I.G., Diffine E.A., Kuryanova L.M. The weight of the animal brain in a comparative anatomical series. Morphological bulletin. 2022;30(4):707. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2022;30\(4\).707](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2022;30(4).707)
26. Neanderthals. The Great Russian Encyclopedia. - 2022. URL: <https://bigenc.ru/c/neandertal-tsy-7e1c08> Accessed: 5.11.2025
27. Vernot B., Akey J.M. Resurrecting Surviving Neandertal Lineages from Modern Human Genomes. Science 2014, Vol 343, Issue 6174, pp. 1017–1021.
28. Average IQ by Country. Data Pandas. 2025. URL: <https://www.datapandas.org/ranking/average-iq-by-country> Дата обращения 20.11.2025