



# Нижегородский научный центр РАН Школа юного исследователя (ШЮИ ННЦ РАН)

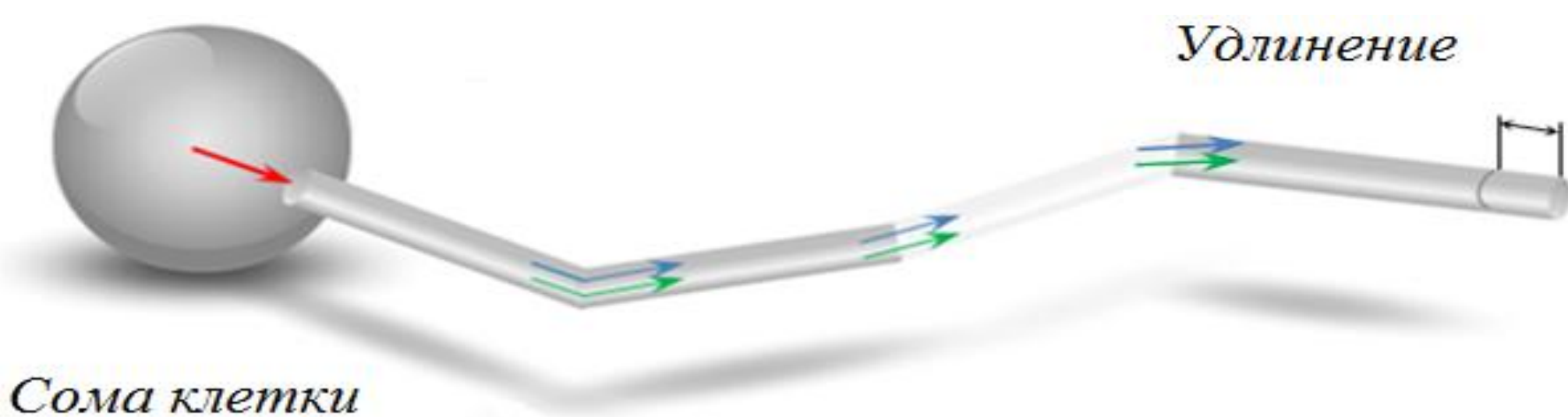
## Построение феноменологической модели, описывающей динамическое образование межнейронных связей

Автор работы: Батанина Любовь  
Ученица 11 класса Лицея № 38

Научный руководитель: Миронов Василий Иванович  
м.н.с. ННГУ им. Н.И. Лобачевского

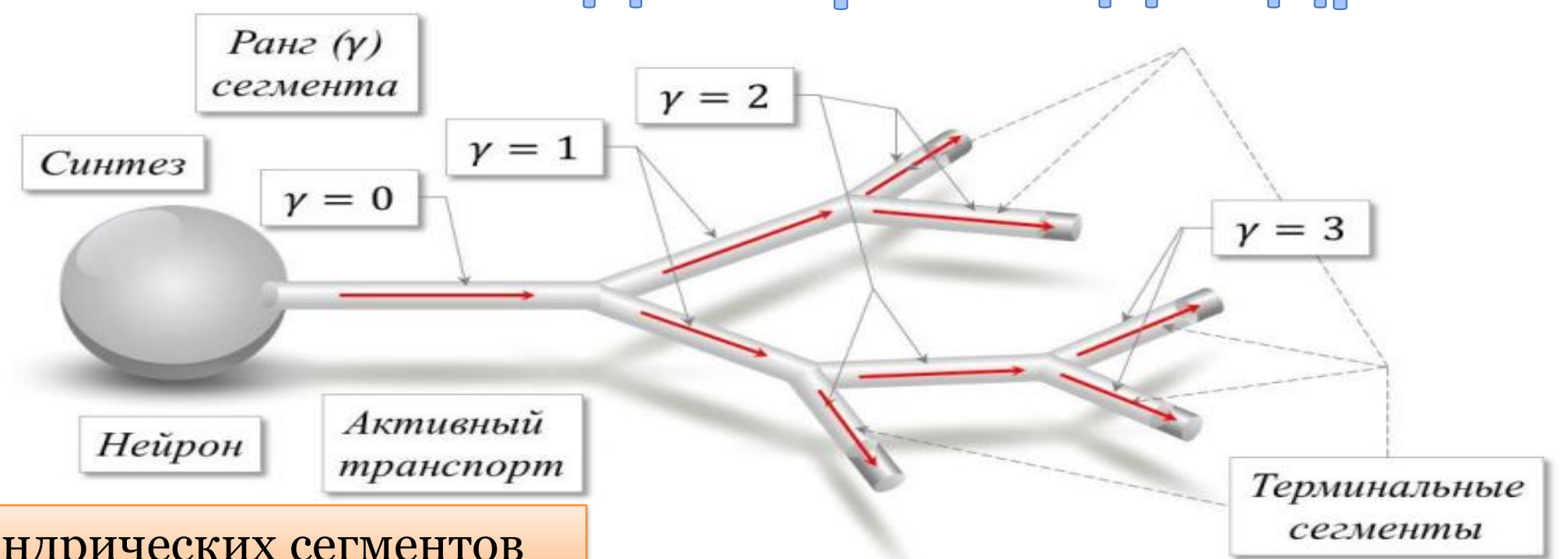
В результате работы, основанной на современном научном понимании биофизических механизмов, играющих ключевую роль в развитии отростков нервных клеток, предложена феноменологическая модель роста нейронной сети. Выполнена программная реализация полученной модели с использованием аналитического решения для обыкновенных дифференциальных уравнений. Проведено исследование модели по сравнению с существующими аналогами, представленными в научной литературе.

### Описание модели роста аксона



Представление отростка в виде набора цилиндрических сегментов

### Описание модели роста дендрита



Математическое описание вероятности ветвления отростка и минимального значения концентрации тубулина

Скорость удлинения отростка выражена в следующей форме:

$$\frac{dL}{dt} = \alpha C_{growth\_cone} - \beta = \alpha C_0 e^{-\frac{\tau L}{V_{at}}} - \beta$$

$L$  – длина отростка, которую необходимо рассчитать,  
 $\alpha$  и  $\beta$  соответственно константы ассоциации и диссоциации тубулина,  
 $\tau$  – скорость деградации,  
 $V_{at}$  – скорость активного транспорта,  
 $C_0$  – величина концентрации тубулина в проксимальной части отростка

$$C_{n_i} = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} 2^{-S_{y_k}}$$

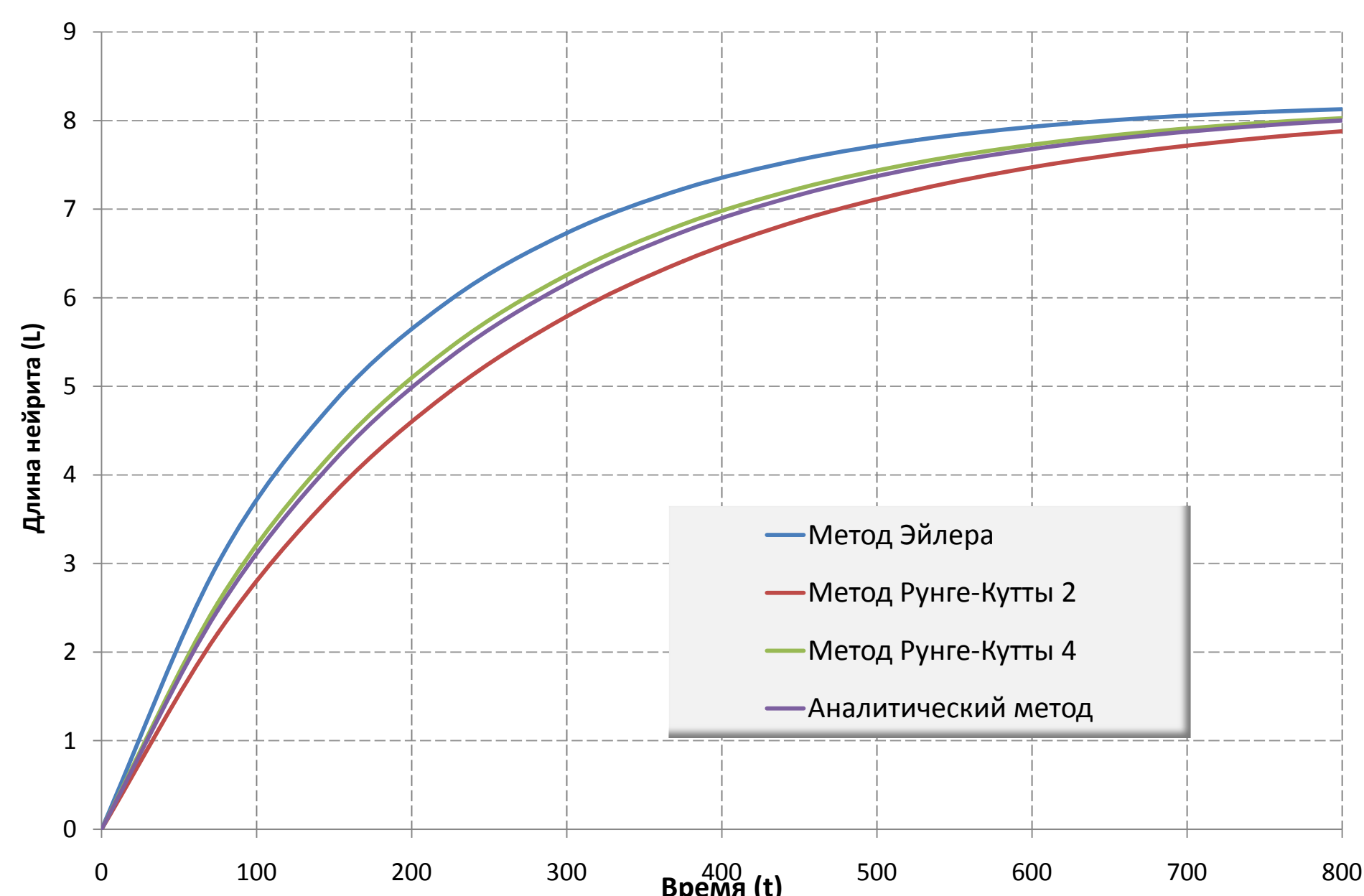
$$C_0 e^{-\frac{\tau L}{V_{at}}} > \frac{\beta}{\alpha}$$

$$P_i = \frac{n_i^{-E} B_{\infty} e^{-\frac{t}{T}} (e^{\frac{\Delta t}{T}} - 1) 2^{-S_y}}{C_{n_i}}$$

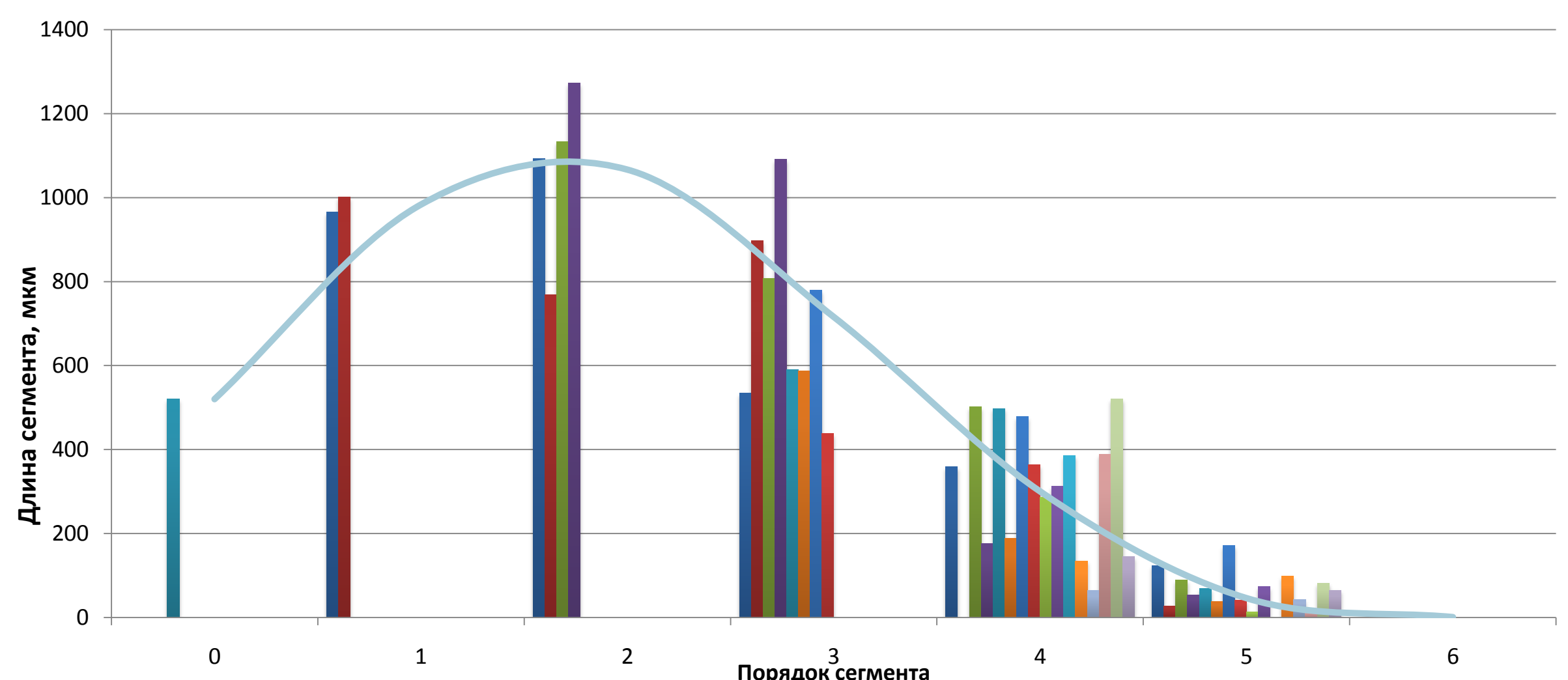
$$C = \frac{\beta}{\alpha}$$

$P$  – вероятность ветвления;  
 $n_i$  – число сегментов, доступных для удлинения;  
 $\gamma$  – количество ветвлений;  
 $\Delta t$  – временной шаг;  
 $S$  – показатель, определяющий количество существующих ветвлений;  
 $C_{n_i}$  – определяет зависимость вероятности ветвления от расстояния терминального сегмента до сомы клетки;  
 $E$  – показатель разветвления;  
 $B_{\infty}$  – основной параметр ветвления;  
 $T$  – время конца ветвления;

### Зависимость длины аксона от времени



### Гистограмма распределения длин отростка в зависимости от порядка ветвления



**Вывод:** в данной научной работе был описан новый подход для виртуального моделирования процессов роста и формирования морфологической структуры нейронных сетей мозга. Также, была построена феноменологическая модель, описывающая динамическое образование межнейронных связей.

Было проведено сравнение эффективности модели с существующими аналогами. В ходе исследования мы получили, что полученная модель роста нейрита не уступает существующим аналогам, приведенным в научной литературе. Результаты расчета удлинения отростка, полученные с ее использованием, качественно согласуются с экспериментальными данными удлинения отростка и результатами моделей, приведенных в литературе. К числу ключевых преимуществ модели следует отнести ее простоту, как в плане аналитического анализа, так и с точки зрения численного расчета (предложенная модель не требует сложной системы дискретизации отростка, которая применяется во многих аналогичных моделях).

Полученные результаты, в частности, позволяют смоделировать результат фармакологического воздействия, интенсифицирующего или подавляющего тот или иной биофизический процесс, принимающий участие в удлинении отростка.