

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Л.В. Алексашин    А.Б. Бурлаков

*Аннотация.* На основе анализа экспериментальных данных электромагнитных излучений биологических объектов выявлено, что имеющаяся неупорядоченная по амплитуде временная последовательность импульсов может быть преобразована в упорядоченное дробно-рациональное распределение, которое может быть использовано в целях изучения дистанционного взаимодействия биологических объектов.

Экспериментально установлено, что в период жизнедеятельности организмов - от эмбрионального развития до её окончания - клетки, ткани, органы и организмы оказывают друг на друга влияние, как при прямых физико-химических контактах, так и дистанционно.

Ещё в 30-е годы прошлого столетия советский биолог А.Г. Гурвич обнаружил, что в процессе митогенеза клетки излучают электромагнитные волны в диапазоне ближнего ультрафиолета. Электромагнитное излучение биологических объектов не является стационарным, оно происходит на сверхслабых энергетических уровнях, при этом измерение параметров должно проводиться с применением сложной физической аппаратуры, фиксирующей отдельные фотоны. Даже вопрос об его существовании до сих пор остаётся дискуссионным, хотя квантовая химия теоретически и экспериментально изучает излучение и поглощение электромагнитных волн при химических реакциях, в том числе и связанных с биохимическими процессами.

Очевидно, что биологическое излучение связано с жизнедеятельностью биологических объектов: их развитием, функционированием, обменом веществ.

В МГУ уже длительное время проводятся исследования взаимодействия биологических объектов, в том числе в рамках международного сотрудничества. Эксперименты по исследованию количественных характеристик излучений, некоторые результаты которых использованы в настоящей статье, проводились в Международном институте биофизики (ФРГ) на фотоэлектронном умножителе ЕМІ 9558 QA в сплошном спектральном диапазоне 200-800 нм. (Конечно, этим диапазоном электромагнитных волн не исчерпывается область физических явлений, относящихся к биологическим взаимодействиям). Объектом исследований в данном случае являлись яйцеклетки (начало развития) и зародыши (бластулы) рыбы вьюна *Misgurnus fossilis*.

Задачей экспериментов, описываемых в настоящей статье, являлось выявление и сравнение параметров излучений биологических объектов в исследуемом диапазоне электромагнитных колебаний после дистанционного взаимодействия особой начала развития (оплодотворённых яйцеклеток) с бластулами (зародышами) 6-7 стадии развития (далее "бластулы") при различном виде контактов.

В ходе экспериментов обнаружено, что аналогичное излучение в данном диапазоне производится многими объектами, в том числе и самой измерительной аппаратурой (темновой ток), и лабораторным оборудованием.

Биологическая составляющая излучения, регистрируемого физической аппаратурой, несомненно, носит информационный характер, о чём свидетельствуют биологические наблюдения над взаимодействующими объектами.

В методике проведения экспериментов можно выделить несколько этапов:

1) Оплодотворение яйцеклеток, отбор и подготовка групп образцов (яйцеклеток и бластул по 50 экз.) и помещение оплодотворённых яйцеклеток и бластул в кварцевые кюветы размером 4 x 1 x 1 см для осуществления дистанционного взаимодействия между набранными группами.

2) Перед проведением замеров параметров излучения кюветы выдерживались в течение 18 часов при температуре 18°C в горизонтальном положении. Взаимодействие обеспечивалось попарным размещением кювет с бластулами над кюветами с яйцеклетками, расстояние между объектами в паре при этом составляет ~ 1 см. Между взаимодействующими кюветами вставляются различные (в том числе поляризационные) фильтры, фильтров может и не быть (прямое взаимодействие). Такая же выдержка проводилась для кювет с контрольными группами, не взаимодействовавшими с другими группами.

3) Для проведения измерений излучения образцы перемещались в кварцевые кюветы размером 4 × 1 × 0,2 см. При измерениях эти кюветы ставили в абсолютно тёмную измерительную камеру вертикально на расстоянии ~ 2 см от окна катода ФЭУ (при той же температуре 18°C). В рассматриваемых здесь случаях измерительная система в течение заданного интервала времени (10 минут – < 1% от времени взаимодействия) с определённым периодом накопления (0,1 с) фиксировала поступающие на измерительный элемент фотоны.

Фиксировались также собственные характеристики измерительной системы: темновой ток ФЭУ и излучение пустой кюветы с водой.

Результаты рассматриваемых экспериментов содержатся в наборе файлов данных в формате программы Статистика. Инструментом анализа данных является компьютерная программа Статистика 6.

Имеющиеся данные – это, в основном, временные ряды по 6000 наблюдений с целочисленными значениями количеств зарегистрированных фотонов за время накопления 0,1 сек с общим временем наблюдения 10 минут. В настоящем случае объектом анализа являются 10 файлов с данными излучений биологических объектов, 2 файла с данными регистраций темнового тока ФЭУ и файл с данными наблюдений излучения кювет с чистой водой.

Целесообразно в качестве первого шага в исследовании закономерностей в излучении рассмотреть временные последовательности в порядке регистрации их значений электронной аппаратурой. Примером визуализации временных рядов, обработанных программой Статистика 6, могут служить представленные на рис.1 графики излучений: темнового тока – файл ТТ1, кварцевой кюветы с водой – файл ТКВ1, контрольных кювет с не взаимодействовавшими биологическими объектами: оплодотворёнными яйцеклетками (начало развития) – файл НРКн, и бластулами – файл БКн.

Очевидно, что в представленном порядке графиков: первый (ТТ1), второй (ТКВ1) и третий (НРКн), последующие графики поглощают предыдущие, т.е. в наблюдениях кюветы с водой на самом деле наблюдается сумма излучений темнового тока, кюветы и воды (назовём их аппаратурными), а в наблюдениях биологических объектов (НРКн и БКн) представлены также излучения первого и второго объектов. Четвёртый график отличается от третьего только типом биологического объекта. Аналогичный характер имеют графики излучения остальных объектов. Их визуальное сравнение не позволяет выявить качественные различия во всех типах объектов. В таких случаях неизбежна математическая обработка результатов экспериментов.

При статистическом анализе экспериментальных данных на начальном этапе для определения основных характеристик процессов наиболее часто используются описательные статистики массивов данных: суммы, средние значения, максимальные и минимальные наблюдения, дисперсии.

В таблице 1 представлены данные двух файлов наблюдений темнового тока.

Таблица 1

Файл	Количество наблюдений	Сумма фотонов	Среднее фотонов/сек	Минимальное	Максимальное	Дисперсия
ТТ1	6000	6532	10,89	0	55	2,361
ТТ2	6000	6414	10,07	0	38	2,193

Здесь и в следующих таблицах среднее значение дано в фотонах/сек, что соответствует интенсивности излучения, а минимальное и максимальное – даны для единичных наблюдений с временем накопления 0,1 сек.

Файл ТКВ содержит 36000 наблюдений излучения кюветы с чистой водой (аппаратурное излучение), с общим временем наблюдения 1 час (время накопления 0,1 сек). Для удобства сравнения с данными наблюдений излучения биологических объектов в данных файла ТКВ (таблица 2) общее время целесообразно разделить на 6 периодов по 10 мин, аналогичных файлам с наблюдениями излучений темнового тока и биологических объектов

Таблица 2

Файл	Файл ТКВ номера наблюдений	Количество наблюдений	Сумма фотонов	Среднее фотонов/сек	Минимальное	Максимальное	Дисперсия
ТКВ1	1- 6000	6000	7541	12,57	0	67	2,675
ТКВ2	6001-12000	6000	7179	11,97	0	78	2,475
ТКВ3	12001-18000	6000	7770	12,95	0	106	3,115
ТКВ4	18001- 24000	6000	7245	12,08	0	44	2,312
ТКВ5	24001- 30000	6000	7056	11,76	0	46	2,188
ТКВ6	30001- 36000	6000	7251	12,08	0	68	2,433

В таблице 3 приведены статистические данные интенсивности излучения в фотонах/сек по излучениям биологических объектов по отдельным файлам (10 файлов по 6000 наблюдений с временем накопления 0,1 сек и временем наблюдения 10 мин, всего 60000 наблюдений).

Таблица 3

Файл	Объект и фильтр	Количество наблюдений	Сумма фотонов	Среднее фотонов/сек	Минимальное	Максимальное	Дисперсия
БГл	Бластулы Призма Глена	6000	9244	15,41	0	48	2,561
НРГл	Начало развития Призма Глена	5999	7882	13,14	0	50	2,426
БПр	Бластулы Прямое взаимодействие	6000	8189	13,65	0	62	2,480
НРПр	Начало развития Прямое взаимодействие	6000	8699	14,50	0	48	2,442

<b>БПл</b>	Бластулы Плёночный поляризатор	6000	9127	15,21	0	60	2,724
<b>НРПл</b>	Начало развития Плёночный поляризатор	6000	8557	14,26	0	59	2,649
<b>БСт</b>	Бластулы Стеклоанный поляризатор	6000	9237	15,39	0	53	2,487
<b>НРСт</b>	Начало развития Стеклоанный поляризатор	6000	8419	14,03	0	57	2,506
<b>БКн</b>	Бластулы Контроль	6000	8620	14,37	0	53	2,292
<b>НРКн</b>	Начало развития Контроль	6000	8177	13,63	0	57	2,550

Как видно из таблицы 3, регистрируемые ФЭУ количества фотонов от взаимодействовавших биологических объектов, проникавших через поляризаторы различного рода, достоверно отличаются от количеств регистрируемых фотонов от не взаимодействовавших объектов.

По представленным данным наблюдений можно составить следующую таблицу средних значений излучений кювет с биологическими объектами

Таблица 4

Вид данных	Среднее в фот/сек	От	До	% от общего объема
Темновой ток	10,79	10,69	10,89	75
Кювета с чистой водой	12,23	11,76	12,95	85
Биологические объекты	14,36	13,14	15,41	100

Таким образом, в общем регистрируемом излучении на долю собственно биологических объектов приходится в среднем 15% от объёма регистрируемых значений.

Сделаем оценку интенсивности фотонного излучения исследуемых объектов в общепринятых единицах измерения энергии (в нашем случае удобнее использовать систему СГС). В рассматриваемых экспериментальных данных излучение фотонов в диапазоне 200 – 800 нм при температуре окружающего пространства +18°C (291 К) имеет средние оценочные интенсивности:

1. Темновой ток измерительной аппаратуры ~ 10 фот/сек
2. Излучение лабораторного оборудования (кювет с водой) добавляет до ~ 15 фот/сек
3. Излучение с биологическими объектами добавляет ~ до 20 фот/сек

Энергия одного фотона в этом диапазоне электромагнитного излучения  $h\nu = hc/\lambda$  : при  $\lambda = 200$  нм  $h\nu = 9,939 \cdot 10^{-12}$  эрг, при  $\lambda = 800$  нм  $h\nu = 2,485 \cdot 10^{-12}$  эрг, для среднего значения  $\lambda = 500$  нм  $h\nu = 3,976 \cdot 10^{-12}$  эрг.

Энергии фотонов

$$h\nu = hc/\lambda \quad [\text{эрг}] \quad h = 6,626 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек} \quad c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1} .$$

$$\lambda = 200 \text{ нм} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ см}, \quad \nu = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ сек}^{-1} .$$

$$h\nu = 6,626 \cdot 10^{-27} \cdot \frac{3 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 10^{-5}} = 9,94 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$$

$$\lambda = 500 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}, \quad \nu = 0,6 \cdot 10^{15} \text{ сек}^{-1} .$$

$$h\nu = 6,626 \cdot 10^{-27} \cdot \frac{3 \cdot 10^{10}}{5 \cdot 10^{-5}} = 3,976 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$$

$$\lambda = 800 \text{ нм} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ см}, \quad \nu = 0,375 \cdot 10^{15} \text{ сек}^{-1} .$$

$$h\nu = 6,626 \cdot 10^{-27} \cdot \frac{3 \cdot 10^{10}}{8 \cdot 10^{-5}} = 2,485 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$$

Минимально возможный энергетический поток в нашем случае может быть оценен при средней интенсивности темнового тока 10 фот/сек при максимальной длине волны фотона 800 нм ( $h\nu = 2,485 \cdot 10^{-12}$  эрг) как  $\sim 2,5 \cdot 10^{-11}$  эрг/сек (отнесенные к единице площади [ $\text{см}^2$ ]).

Представляет интерес оценка энергии планковского излучения абсолютно чёрного тела для этих условий (излучение в диапазоне 200 – 800 нм при температуре окружающего пространства  $+18^\circ\text{C} = 291 \text{ K}$ ).

Исходя из представления о квантах, показано и подтверждено экспериментально, что для абсолютно чёрного тела спектральное распределение полусферической поверхностной плотности потока излучения и интенсивности излучения в вакууме является функцией абсолютной температуры и длины волны

$$e_{\lambda b}(\lambda) = \pi \cdot i'_{\lambda b}(\lambda) = \frac{2\pi \cdot C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)}$$

Это выражение известно как закон спектрального распределения поверхностной плотности потока излучения Планка [6]. Для описания излучения в среде, в которой скорость света отличается от  $c_0$ , в приведенную формулу должен быть введён в качестве множителя показатель преломления. Когда излучение испускается в воздух или другие газы с показателем преломления  $\approx 1$ , применимо приведенное выражение.

Коэффициенты

$$C_1 = 0,59544 \cdot 10^{-16} \text{ [Вт}\cdot\text{м}^2] \quad C_1 = h \cdot c_0^2 \quad h - \text{постоянная Планка}$$

$$C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ [м}\cdot\text{К}] \quad C_2 = h \cdot c_0 / k \quad k - \text{постоянная Больцмана}$$

Направленная сила излучения  $i'_{\lambda b}(\lambda)$  для угла  $60^\circ$ , отсчитываемого от нормали, определяется по формуле

$$i'_{\lambda b}(\lambda) = \frac{2 \cdot C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)}$$

Оценочный расчёт энергетического потока для условий излучения абсолютно чёрной поверхности при температуре  $18^\circ\text{C}$  и при средней для нашего диапазона длине волны 500 нм ( $500 \cdot 10^{-9} = 5 \cdot 10^{-7}$  м) даёт результат:  $i'_{\lambda b} = 0,426 \cdot 10^{-27}$  Дж/( $\text{м}^3 \cdot \text{с} \cdot \text{ср}$ ). При пересчёте результата в систему единиц СГС, получим  $i'_{\lambda b} = 0,426 \cdot 10^{-24}$  эрг/ $\text{см}^3 \cdot \text{с} \cdot \text{ср}$ . Поток энергии такой величины на много порядков меньше энергий излучений и темновых токов измерительной аппаратуры, и лабораторного оборудования, и биологических объектов, приведенных выше.

Приведенные цифры соответствуют энергии излучения, так что в нашем случае за единицу энергии можно принять энергию среднего по длине волны фотона (500 нм)  $\sim 4 \cdot 10^{-12}$  эрг. В энергии регистрируемого излучения на долю биологических объектов приходится около 15% общей энергии излучения. Обратим внимание также на то, что в данном случае биологическое излучение осуществляется набором автономных биообъектов (по 50 особей), каждый из которых в принципе может развиваться самостоятельно. Однако при приведенных энергетических уровнях составляющих излучения очевидно, что аналогичное исследование излучений одиночных особей невозможно.

Тем не менее, оставляя пока в стороне вопрос об информационном характере биологического излучения, из приведенных данных можно сделать однозначный вывод: **излучение биологических объектов существует** и может объективно регистрироваться современными приборами, использующими ФЭУ.

Уровень излучения темнового тока (можно сказать внутренних шумов ФЭУ, окружающего воздушного пространства и возможных излучений Земли и Космоса) совершенно определён ниже уровня излучения той же системы при помещении перед ФЭУ кюветы с чистой водой – более плотного объёма материи. Объём кюветы  $4 \times 1 \times 0,2 \text{ [см}^3] = 0,8 \text{ см}^3 = 800 \text{ мм}^3$ . Увеличение плотности такого объёма даёт повышение среднего уровня из-

лучения на 10%, что говорит об общем характере этого излучения (его можно отнести к известным термодинамическим свойствам материи). Замена части воды икринками выюна (50 икринок – не более 50 мм<sup>3</sup> – менее 6% от общего объёма) с примерно такой же плотностью, как и вода, увеличивает уровень излучения системы ещё на 15%.

Обратимся теперь к информационной стороне вопроса. Можно взять на заметку, что первым информационным уровнем в нашем случае явилась интенсивность излучения, в частном случае сравнение её в одинаковых условиях с исходной "нулевой" интенсивностью излучения (при отсутствии исследуемого объекта). При этом "нулевых" уровней, как мы видим, может быть несколько: сама измерительная аппаратура, лабораторное оборудование, среда, в которую помещаются исследуемые объекты, и т.п., имеющие свои собственные информационные характеристики. Уже эта информация позволяет сделать определённые выводы о свойствах исследуемых объектов. Тем не менее, очевидно, что такой информации для более глубоких исследований недостаточно.

Информационно, если не связывать вопрос с энергетикой, качественные наблюдения могут иметь равноправную ценность с количественными. Однако представляется, что наблюдения с большей энергетикой более распознавательны, поэтому можно предположить и большую вероятность (при прочих равных условиях) использования во взаимодействиях энергетических уровней сигналов.

В принципе, в научно-технических задачах вопросы передачи информации изучаются и решаются с помощью спектральных характеристик функций времени (преобразование Фурье). Характер временных последовательностей, представленных на рис.1, допускает предположение, что информация в сигналах такого типа может быть представлена каким-то видом амплитудно-импульсной модуляции, наличие которой может быть выявлено изучением (авто)корреляционных характеристик временных рядов. В этом плане имеющиеся временные ряды были обработаны с помощью соответствующих средств программы Статистика 6.

Следует обратить внимание на характер имеющихся данных. Математически они не являются непрерывными функциями времени, это временные ряды целочисленных значений (количеств фотонов), накопленных регистрирующим устройством за время 0,1 с. Частотное разрешение таких данных не может иметь значения более 5 герц, аппроксимация их непрерывными функциями времени принята просто для удобства математической обработки. Хотя в принципе для информационного взаимодействия многих биологических объектов это может быть приемлемым диапазоном, однако он вряд ли может быть признан универсальным. Для анализа должен быть предложен какой-либо конкретный механизм взаимодействия, на основе которого можно сделать те или иные заключения. Известные инженерные решения в области использования амплитудно-импульсной модуляции в радиотехнических устройствах [4, 5] не имеют аналогов в биологии, и в силу их низкой эффективности не нашли распространения в современной технике. (Однако Природа может таить в своих глубинах нечто, ещё нераспознанное человеческим сознанием).

На рис. 2 приведен график амплитудно-частотной характеристики (спектральной плотности) для временного ряда (файл БКн), аналогичными являются графики для излучений остальных биологических объектов. Хотя визуально можно предположить возможность существования в этих графиках низкочастотных составляющих, программные средства определения автокорреляций не выявляют в них значений, существенно отличающихся от нуля (рис.3). По существу, это спектр белого шума, который логичен, например, для дельта-функции, и некоррелированных перечней дискретных значений, которыми, при первичном рассмотрении, являются рассматриваемые экспериментальные данные.

Таким образом, проведенный спектральный анализ (преобразование Фурье) имеющихся данных временных рядов наблюдений пока не позволяет выявить информационную составляющую зарегистрированного электромагнитного излучения. Обращение к спектральному Фурье-анализу нельзя считать законченным, но это предполагается сделать в рамках самостоятельного дополнительного исследования.

Обращение к теории вероятностей и математической статистике даёт ещё одно направление исследований – использование для выявления законов распределения понятия частоты наблюдаемого события, как статистической вероятности события, формально не связанной с описанием определённого множества случайных величин как функции времени, к которой применимо преобразование Фурье. Такая обработка не является спектральным Фурье-анализом, в терминах программы "Статистика" она называется частотным анализом, можно, во избежание недоразумений, предложить для неё термин "анализ частот событий".

В нашем случае событиями являются наблюдения количеств фотонов, накопленных измерительной аппаратурой за период 0,1 сек (общее время наблюдений – 10 минут). События являются целочисленными значениями от нуля до (в нашем наборе) 106 фотонов.

Пример результата такой обработки для файлов с данными излучений без биологических объектов ТТ1 (темновой ток) и ТКВ1 (кювета с водой, первые 10 минут часовых наблюдений) приведен во второй и третьей колонках таблицы 5 и на рис. 4 и 5.

Таблица 5

Количество фотонов	Количество наблюдений		Суммы фотонов		Кумуляция	
	ТТ1	ТКВ1	ТТ1	ТКВ1	ТТ1	ТКВ1
0	2951	2592	0	0	0	0
1	1698	1907	1698	1907	1698	1907
2	736	769	1472	1538	3170	3445
3	269	334	807	1002	3977	4447
4	119	145	476	580	4453	5027
5	68	73	340	365	4793	5392
6	43	41	258	246	5051	5638
7	24	17	168	119	5219	5757
8	18	17	144	136	5363	5893
9	20	23	180	207	5543	6100

В последней строке колонок "Кумуляция" очевидным образом выявляется существенное превышение количества фотонов, излученных кюветой с водой.

На рис.4 представлен полный набор наблюдений количеств фотонов (в данном случае от 0 до 67). Из него видно, что в пределах первых десяти значений наблюдений представлена основная часть фотонов (файл ТТ1 – 86,4%, файл ТКВ1 – 80,9%). Эти цифры характеризуют и долю энергии, приходящейся на эту часть наблюдений. Поэтому в таблице 6 и на рис.5 представлены характеристики излучений в пределах данного диапазона.

Очевидная закономерность обработанных таким образом результатов наблюдений подсказывает, что такой подход к выявлению характеристик излучения в части информационного взаимодействия может оказаться более продуктивным, чем спектральный Фурье-анализ. Анализ данных, обработанных с применением анализа частот событий, с помощью наиболее распространённых статистических методов затруднён тем обстоятельством, что по виду приведенные кривые существенно отличаются от нормального закона распределения, на основе которого разработано множество критериев оценок свойств наблюдаемых случайных величин.

Как было отмечено выше, для удобства математической обработки экспериментальных данных целесообразно аппроксимировать их аналитическими функциями, и хотя в нашем случае физически они не соответствуют наблюдаемым явлениям, однако помогают объяснять их наглядными представлениями. Перебор вариантов аппроксимации (распределение Пуассона, экспоненциальное и др.) показал, что наиболее точно такая закономерность может быть описана дробно-рациональной функцией типа

$$f(x) = \frac{1}{a + bx + cx^2}.$$

Невозможность аппроксимации результатов наблюдений распределением Пуассона, которым характеризуется совокупность излучений независимых источников, свидетельст-

вует о том, что в частотном диапазоне используемой аппаратуры и объектов исследования мы имеем дело с системами взаимодействующих между собой источников излучений.

Подбор для данных файла ТТ1 коэффициентов эмпирической функции, нормированной по числу наблюдений к единице и округлённой до двух знаков после запятой, даёт выражение:

$$f(x) = \frac{1}{2,03 - 0,05x + 1,55x^2} \quad (0 \leq x \leq N),$$

расчёт по которому хорошо совпадает с табличными данными. Примечательно, что эта аппроксимация с нормированной корреляцией подходит как для всего массива данных файла ТТ1 (6000 наблюдений), так и для его уменьшенных последовательных выборок по 600 наблюдений; корреляция несущественно уменьшается даже для последовательных выборок по 100 наблюдений. Она также подходит и для данных файла ТТ2 (темновой ток).

Для наблюдений излучения кюветы с водой (файл ТКВ1, рис. 5) тип кривой остаётся тем же, хотя заметно уменьшение нулевых наблюдений (общее количество наблюдений остаётся одинаковым, а интенсивность излучений, как отмечалось выше, увеличивается). Ещё более это заметно на графике наблюдений файла БГл для кюветы с биологическими объектами – бластулами (рис. 6). И здесь для наблюдений со значащими данными тип кривой хорошо описывается дробно-рациональной функцией. Это очевидно и из энергетических соображений, нулевые наблюдения не добавляют информации об энергетике процесса, поэтому при анализе закономерности рациональнее исключить составляющую количества нулевых наблюдений и аппроксимирующую функцию представить в виде

$$f(x) = \frac{1}{ax + bx^2 + cx^3} \quad (0 < x \leq N), \quad (*)$$

Для данных файла ТТ1 без учёта нулевых наблюдений коэффициенты принимают следующие значения:

$$f(x) = \frac{1}{9.673 \times 10^{-4} x - 6.129 \times 10^{-4} x^2 + 2.345 \times 10^{-4} x^3}$$

В более компактном формате эта формула имеет вид:

$$f(x) = \frac{1034}{x - 0.634x^2 + 0.242x^3}$$

Для файла ТКВ1 (кювета с водой) значения коэффициентов определяются формулой

$$f(x) = \frac{1300}{x - 0.468x^2 + 0.188x^3}$$

В нашем случае основной задачей является исследование излучений биологических объектов. На графике (рис. 6) представлены наблюдения файла БГл для кюветы с биологическими объектами – бластулами. И здесь для наблюдений с опытными данными тип кривой хорошо описывается такой же дробно-рациональной функцией.

Для файла БГл (бластулы) –

$$f(x) = \frac{1199}{x - 0.546x^2 + 0.16x^3}$$

Эти формулы могут служить статистическим описанием распределений рассматриваемых множеств данных, однако они не отражают физических характеристик излучений. Приведенные распределения относятся к качественным признакам данных (число импульсов) и не учитывают вклад в энергетику излучения увеличения энергии импульсов с увеличением количества фотонов в импульсе. Это в нашем случае нетрудно учесть, умножив числитель формулы на  $x$ . Формула (\*) для энергетического распределения при этом представится в виде:



$$f_3(x) = \frac{1}{a + bx + cx^2},$$

что даёт для файла БГл

$$f_3(x) = \frac{1199}{1 - 0.546x + 0.16x^2}.$$

Точность расчёта суммарных данных по последней формуле совпадает с точностью аппроксимации опытных данных предыдущей формулой.

Независимо от выявления физической и биологической сущности энергетики развития исследуемых объектов нельзя не признать возможность использования какой-либо части возникающих в результате биохимических реакций фотонов как носителей информации (фотоны испускаются независимо от того, существуют или нет приёмники излучения, об этом свидетельствуют данные излучения контрольных образцов биологических объектов).

В четвёртой и пятой колонках таблицы 6 приведены значения энергетического вклада каждой группы импульсов с одинаковым количеством фотонов (за единицу здесь принята энергия одного фотона). Эти значения задают распределения случайных величин событий в количественном энергетическом представлении результатов наблюдений. В шестой и седьмой колонках приведены суммарные значения энергии в порядке нарастания числа фотонов в импульсе.

В качестве примера в таблице 7 и на рис.7 представлены данные аппроксимации для количеств наблюдений и сумм фотонов для файла ТТ1

Таблица 7

Количество фотонов	Количество наблюдений		Сумма фотонов	
	ТТ1	ТТ1ап	ТТ1	ТТ1ап
1	1698	1698	1698	1698
2	736	736	1472	1472
3	269	269	807	807
4	119	110	476	440
5	68	53	340	265
6	43	29	258	174
7	24	17	168	119
8	18	11	144	88
9	20	8	180	72
10	8	5	80	50

Представляет интерес рассмотреть, имеются ли какие-либо характерные различия в коэффициентах в формулах аппроксимации распределений между различными источниками излучения. В таблице 8 представлены данные наблюдений, использованные для расчёта, и значения коэффициентов аппроксимации для всех групп фотонов.

Таблица 8

Файлы	Фотоны	Наблюдений с количеством фотонов				Коэффициенты аппроксимации		
		1	2	3	0 <sup>1)</sup>	A·10 <sup>-4</sup>	B·10 <sup>-4</sup>	C·10 <sup>-4</sup>
Темновой ток								
ТТ1	6532	1698	736	269	2951	9,679	-6,137	2,347
ТТ2	6414	1647	664	296	3048	6,886	-1,951	1,136
Кювета с водой								
ТКВ1	7541	1907	769	334	2592	6,206	-2,072	1,11
ТКВ2	7179	1808	816	330	2656	8,312	-4,469	1,689
ТКВ3	7770	1801	773	355	2655	6,642	-2,092	1,003
ТКВ4	7245	1716	818	343	2718	8,863	-4,696	1,66
ТКВ5	7056	1804	810	349	2670	7,662	-3,493	1,379
ТКВ6	7251	1802	794	308	2697	8,579	-4,918	1,889

Кюветы с биологическими объектами								
БГл	9244	1953	1096	500	1931	8,342	-4,553	1,331
НРГл	7882	1836	885	420	2434	7,327	-2,922	1,042
БПр	8189	1920	922	426	2277	7,181	-3,066	1,094
НРПр	8699	1874	1044	451	2153	9,032	-5,27	1,574
БПл	9127	1976	1044	461	2009	8,045	-4,341	1,356
НРПл	8557	1912	922	426	2248	7,246	-3,12	1,104
БСт	9237	1953	1103	472	1938	8,824	-5,262	1,558
НРСт	8419	1884	986	435	2242	8,373	-4,48	1,414
БКн	8620	1987	1029	417	2067	8,514	-5,136	1,654
НРКн	8177	1889	915	425	2315	7,331	-3,141	1,104

<sup>1)</sup> Нулевые наблюдения в расчётах не использовались.

Несмотря на несомненно большую упорядоченность в графическом и в аналитическом представлениях данных анализа частот событий, выявить какие-либо качественные характеристики при помощи коэффициентов аппроксимации пока не удалось. При этом цифры наблюдений чётко свидетельствуют о различиях в разных группах объектов: для темнового тока – минимальные значения в группах с фотонами и максимальные – в графе нулевых наблюдений. Так же явно выражено увеличение данных для групп с фотонами и уменьшение значений в графе нулевых наблюдений для группы кюветы с водой и столь же явно выражено аналогичное отличие группы с биологическими объектами от группы кюветы с водой. Внутри группы биологических объектов столь же явных статистически достоверных различий более значимо, чем представлено в таблице 8, выявить не удаётся. Коэффициенты аппроксимации таких отличий также не обнаруживают.

Так, для наблюдений, аппроксимированных формулой  $f_3(x)$ , статистическая вероятность наблюдения  $n$  фотонов  $p_n = f_3(n)/N$ , где  $N$  – общее количество зарегистрированных фотонов. При этом  $f_3(x) \rightarrow f_3(n) = \frac{1}{a + bn + cn^2}$ .

Среднее значение  $n$  наблюдений, аппроксимированных формулой  $f_3(x)$ , представляется формулой:

$$M(n) = \frac{1}{n} \sum_1^n \frac{1}{a + bn + cn^2}$$

Как параметр распределения случайной величины  $N$  среднее значение является начальным моментом первого порядка. Начальным моментом второго порядка является среднее значение суммы квадратов случайных величин:

$$M(n^2) = \frac{1}{n} \sum_1^n \left( \frac{1}{a + bn + cn^2} \right)^2$$

Пользуясь этими моментами можно записать формулу для вычисления дисперсии

$$D(N) = M(N^2) - [M(N)]^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left( \frac{1}{a + bn + cn^2} \right)^2 - \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a + bn + cn^2} \right)^2$$

В нашем случае использовано дробно-рациональное распределение второго порядка, по полученным табличным и графическим материалам можно считать удовлетворительной точность анализа исходных данных.

Так же могут быть получены формулы для вычисления моментов более высоких порядков, однако необходимость в таких операциях не очевидна, программа "Статистика" содержит процедуры вычисления моментов распределений непосредственно по данным наблюдений.

Следует отметить, что в наиболее распространённой учебной и справочной литературе по теории вероятностей и статистике дробно-рациональное распределение не рассматривается, т.е. можно считать настоящее исследование приоритетным в этой области статистики.

Обработка рассмотренными методами данных наблюдений для качественных групп фотонов (по отдельности для нулевых, одно-, двух- и трёхфотонных наблюдений) в числовых и процентных значениях представлена в таблице 9

Таблица 9 (качественные наблюдения)

Файл	набл	0	%	1	%	2	%	3	%
Темновой ток									
ТТ1	6000	2951	49,2	1698	28,3	663	12,3	269	4,5
ТТ2	6000	3048	50,8	1647	27,5	682	11,1	296	4,9
Кювета с водой									
ТКВ1	6000	2592	43,2	1907	31,8	769	12,8	334	5,6
ТКВ2	6000	2656	44,3	1808	30,1	816	13,6	330	5,5
ТКВ3	6000	2655	44,3	1801	30,0	773	12,9	355	5,9
ТКВ4	6000	2718	45,3	1716	28,6	818	13,6	343	5,7
ТКВ5	6000	2670	44,5	1804	30,1	810	13,5	349	5,8
ТКВ6	6000	2697	45,0	1802	30,0	794	13,2	308	5,1
Кюветы с биологическими объектами									
БГл	6000	1931	32,2	1953	32,6	1096	18,3	500	8,3
НРГл	6000	2434	40,6	1836	30,6	885	14,8	420	7,0
БПр	6000	2277	38,0	1920	32,0	922	15,4	426	7,1
НРПр	6000	2153	35,9	1874	31,2	1044	17,4	451	7,5
БПл	6000	2009	33,5	1976	32,9	1044	17,4	461	7,7
НРПл	6000	2248	37,5	1912	31,9	922	15,4	426	7,1
БСт	6000	1938	32,3	1953	32,6	1103	18,4	472	7,9
НРСт	6000	2242	37,4	1884	31,4	986	16,4	435	7,3
БКн	6000	2067	34,5	1987	33,1	1029	17,2	417	7,0
НРКн	6000	2315	38,6	1889	31,5	915	15,3	425	7,1

Те же наблюдения в количественном выражении представлены в таблице 10

Таблица 10 (количества фотонов)

файл	фотонов	1	%	2 наб	2x2 ф	%	3 наб	3x3 ф	%
Темновой ток									
ТТ1	6532	1698	26	736	1472	22,5	269	807	12,4
ТТ2	6414	1647	25,7	664	1328	20,7	296	888	13,8
Кювета с водой									
ТКВ1	7541	1907	25,3	769	1538	20,4	334	1002	13,3
ТКВ2	7179	1808	25,2	816	1632	22,7	330	990	13,8
ТКВ3	7770	1801	23,2	773	1546	19,9	355	1065	13,7
ТКВ4	7245	1716	23,7	818	1636	22,6	343	1029	14,2
ТКВ5	7056	1804	25,6	810	1620	23,0	349	1047	14,8
ТКВ6	7251	1802	24,9	794	1588	21,9	308	924	12,7
Кюветы с биологическими объектами									
БГл	9244	1953	21,1	1096	2192	23,7	500	1500	16,2
НРГл	7882	1836	23,3	885	1770	22,5	420	1260	16,0
БПр	8189	1920	23,4	922	1844	22,5	426	1278	15,6
НРПр	8699	1874	21,5	1044	2088	24,0	451	1353	15,6
БПл	9127	1976	21,7	1044	2088	22,9	461	1383	15,2
НРПл	8557	1912	22,3	922	1844	21,5	426	1278	14,9
БСт	9237	1953	21,1	1103	2206	23,9	472	1416	15,3
НРСт	8419	1884	22,4	986	1972	23,4	435	1305	15,5
БКн	8620	1987	23,1	1029	2058	23,9	417	1251	14,5
НРКн	8177	1889	23,1	915	1830	22,4	425	1275	15,6

Так же представляют интерес поминутные последовательности групп фотонов с количествами от 1 до 6, представленные в таблице 11 и на графиках рис. 8 – 11.

Таблица 11 последовательные поминутные суммы фотонов

Группы	Файл ТТ1 темновой ток									
	1	175	165	172	181	154	167	178	166	171
2	148	138	142	154	142	160	136	148	156	148
3	93	87	93	84	63	72	57	126	51	81
4	56	40	28	48	56	40	64	40	56	48
5	45	45	40	15	25	30	35	30	35	40
6	12	42	48	12	24	18	24	18	24	36
Файл ТКВ1 кювета с водой										
1	200	190	193	199	190	184	192	190	199	170
2	156	138	144	122	146	154	160	180	160	178
3	99	108	84	108	93	138	99	102	81	90
4	48	36	72	52	64	76	56	76	72	28
5	55	45	25	40	25	50	20	20	40	45
6	12	24	24	18	18	36	24	18	36	36
Файл БКн бластулы контроль										
1	196	211	189	212	198	194	198	197	195	197
2	208	230	198	202	212	166	196	206	230	210
3	141	159	150	96	96	156	114	132	102	105
4	92	64	96	84	88	88	68	84	84	72
5	45	15	65	60	35	45	45	60	40	50
6	12	36	36	36	36	30	30	18	36	42
Файл НРКн начало развития контроль										
1	196	187	186	187	180	184	168	218	193	190
2	154	186	180	190	204	202	174	152	186	202
3	153	105	138	135	111	165	141	102	135	90
4	80	80	84	80	60	48	128	48	96	80
5	40	45	20	45	25	35	60	35	40	65
6	6	24	36	18	24	24	60	48	12	30

Перебор многочисленных вариантов количественных характеристик наблюдений хотя и показывает их различие для различных объектов, однако не позволяет с достоверностью указать, какие именно отличия могут носить информационный характер. Тем не менее, их наличие статистически достоверно. Наиболее вероятной гипотезой в этом плане можно считать возможность выполнения роли носителей информации ненаблюдаемыми в данных экспериментах характеристиками излучения. Такими могут быть, например, распределения случайных величин по энергетическому диапазону ФЭУ (200-800 нм), которые не могут быть выявлены по имеющимся наблюдениям. Для проверки этой гипотезы необходимо проведение дополнительных экспериментов с использованием соответствующих технических средств.

## Резюме

Проведено исследование обнаруженного ещё в 30-е годы прошлого столетия советским биологом А.Г. Гурвичем излучения в диапазоне близкого ультрафиолета, испускаемого клетками в процессе митогенеза. Электромагнитное излучение биологических объектов не является стационарным, оно происходит на сверхслабых энергетических уровнях и, по-видимому, обеспечивает взаимодействие клеток.

Исследование количественных характеристик излучений биологических объектов проведено для излучений в сплошном спектральном диапазоне 200-800 нм. Объектом исследований являлись яйцеклетки (начало развития) и зародыши (бластулы) рыбы вьюна *Misgurnus fossilis*. Задачей экспериментов являлось выявление и сравнение параметров излучений биологических объектов после дистанционного взаимодействия особей различных стадий развития

Излучение в данном диапазоне производится многими объектами, в том числе и самой измерительной аппаратурой (темновой ток), и лабораторным оборудованием. Биологическая составляющая излучения, регистрируемого физической аппаратурой, несомненно, носит информационный характер, о чём свидетельствуют биологические данные наблюдений над взаимодействующими объектами.

Имеющиеся данные – это, в основном, временные ряды по 6000 наблюдений с целочисленными значениями количеств зарегистрированных фотонов за время накопления 0,1 сек с общим временем наблюдения 10 минут. Инструментом анализа данных является компьютерная программа Статистика 6.

Визуализация временных рядов, обработанных программой Статистика 6, представлена графиками излучений: темнового тока, кварцевой кюветы с водой, кювет с взаимодействовавшими биологическими объектами – оплодотворёнными яйцеклетками и бластулами 6-7 стадии развития.

В указанном порядке графиков последующие наблюдения поглощают предыдущие, т.е. в наблюдениях кюветы с водой на самом деле наблюдается сумма излучений темнового тока, кюветы с водой, а в наблюдениях биологических объектов представлены также излучения первого и второго объектов. Их визуальное сравнение не позволяет выявить качественные различия во всех типах объектов. В таких случаях неизбежна математическая обработка результатов экспериментов.

Исследуемые значения наблюдений соответствуют энергии излучений, в этом случае за единицу энергии можно принять энергию среднего по длине волны фотона (500 нм) ~  $4 \cdot 10^{-12}$  эрг.

В рассмотренных экспериментальных данных излучение фотонов в диапазоне 200 – 800 нм при температуре окружающего пространства +18°C (291 К) имеет средние оценочные интенсивности:

1. Темновой ток измерительной аппаратуры ~ 10 фот/сек
2. Излучение лабораторного оборудования (кювет с водой) увеличивает ток до ~ 15 фот/сек
3. Излучение с биологическими объектами увеличивает ток до ~ 20 фот/сек

Из полученных данных можно сделать однозначный вывод: **излучение биологических объектов существует.**

Независимо от выявления физической и биологической сущности энергетики развития исследуемых объектов нельзя не признать возможность использования какой-либо части возникающих в результате биохимических реакций фотонов как носителей информации.

Проведенный спектральный анализ (преобразование Фурье) имеющихся данных временных рядов наблюдений пока не позволил выявить информационную составляющую зарегистрированного электромагнитного излучения.

Ещё одно направление статистических исследований – использование для выявления законов распределения понятия частоты наблюдаемого события, как статистической вероятности события. В рассматриваемом случае событиями являются наблюдения количеств фотонов за временной интервал 0,1 с.

В представленных таблицах и графиках полученные характеристики частот событий существенным образом отличаются от графиков временных рядов наблюдений. Очевидная закономерность обработанных таким образом результатов наблюдений показывает,

что такой подход к выявлению характеристик излучения в части информационного взаимодействия может оказаться не менее продуктивным, чем спектральный Фурье-анализ.

Для удобства математической обработки экспериментальных данных их аппроксимируют аналитическими функциями. Перебор вариантов аппроксимации (распределение Пуассона, экспоненциальное и др.) показал, что наиболее точно имеющаяся закономерность может быть описана дробно-рациональной функцией типа

$$f(x) = \frac{1}{a + bx + cx^2}.$$

Невозможность аппроксимации результатов наблюдений распределением Пуассона, которым характеризуется совокупность излучений независимых источников, свидетельствует о том, что в рассмотренном частотном диапазоне излучений используемой аппаратуры и объектов исследования мы имеем дело с системами взаимодействующих между собой источников излучений.

Подобранный тип аппроксимации подходит для всех типов наблюдаемых объектов – темнового тока, кварцевой кюветы с водой, кювет с взаимодействовавшими биологическими объектами, этот феномен может представлять и самостоятельный интерес.

В рассмотренном частном случае на основе статистического анализа экспериментальных данных выявлено, что наблюдаемая временная неупорядоченность в излучениях физических (в том числе и биофизических) объектов с помощью несложных (тривиальных) логических операций может быть преобразована в упорядоченное дробно-рациональное распределение случайных величин, которое до настоящего времени не рассматривалось в широко используемой научной, учебной и справочной литературе.

Перебор многочисленных вариантов количественных характеристик наблюдений не позволяет с достоверностью указать, какие именно отличия могут носить информационный характер. Тем не менее, их наличие статистически достоверно. Наиболее вероятной гипотезой в этом плане можно считать возможность выполнения роли носителей информации ненаблюдаемыми в данных экспериментами характеристиками излучения. Такими могут быть, например, распределения случайных величин по энергетическому диапазону ФЭУ (200-800 нм), которые не могут быть выявлены по имеющимся наблюдениям. Для проверки этой гипотезы необходимо проведение дополнительных экспериментов с использованием соответствующих технических средств.

## Литература

1. Е.С. Вентцель Теория вероятностей, М. "Наука", 1969.
2. В.Е. Гмурман Введение в теорию вероятностей и математическую статистику, М., "Высшая школа", 1963.
3. А.А. Халафян СТАТИСТИКА 6. Статистический анализ данных. Учебник, М., "Бином-Пресс", 2007.
4. Л. С. Гуткин, В.Л. Лебедев, В.И. Сифоров, Радиоприёмные устройства, часть вторая, М. "Советское радио", 1963.
5. И.М. Тепляков, Радиотелеметрия, М. "Советское радио", 1966.
6. Зигель Р Теплообмен излучением, М. "Мир", 1975.

Рисунки к статье о взаимодействиях биологических объектов

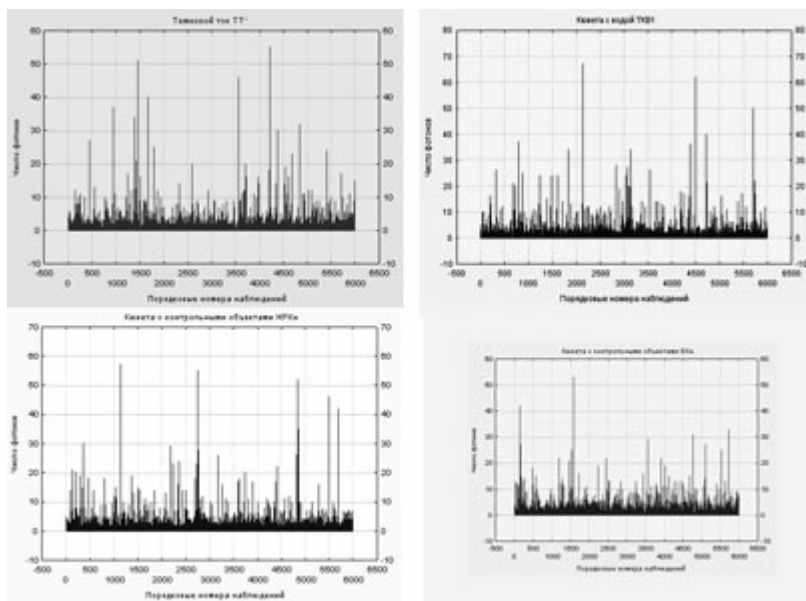


Рис.1

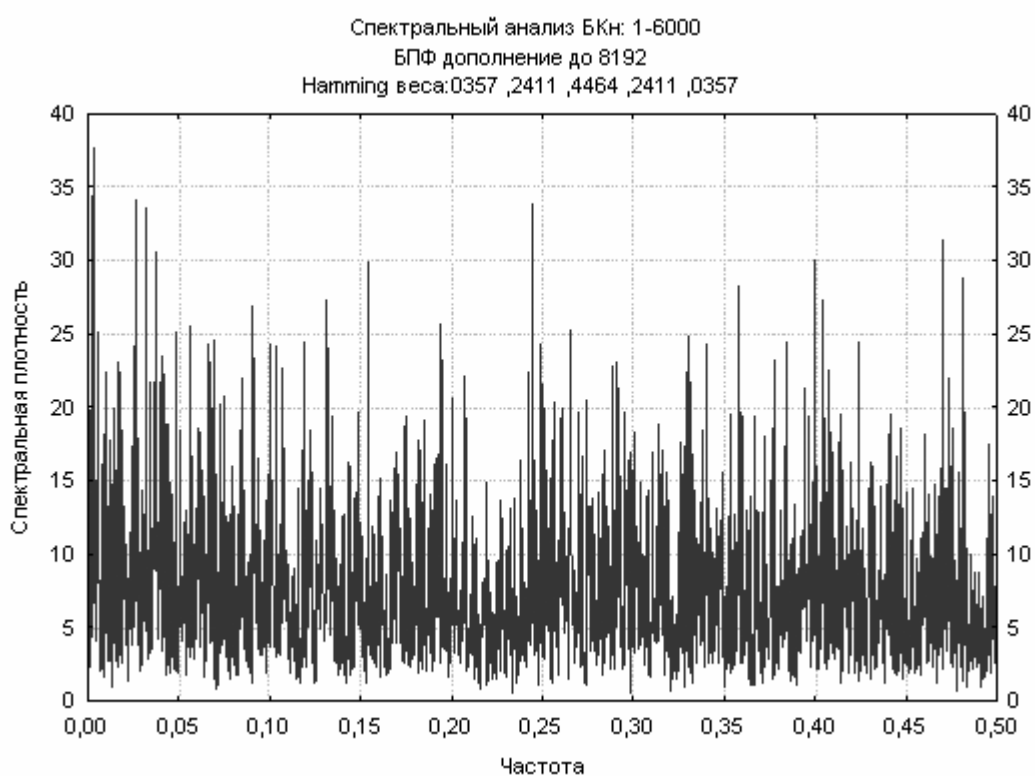


Рис.2

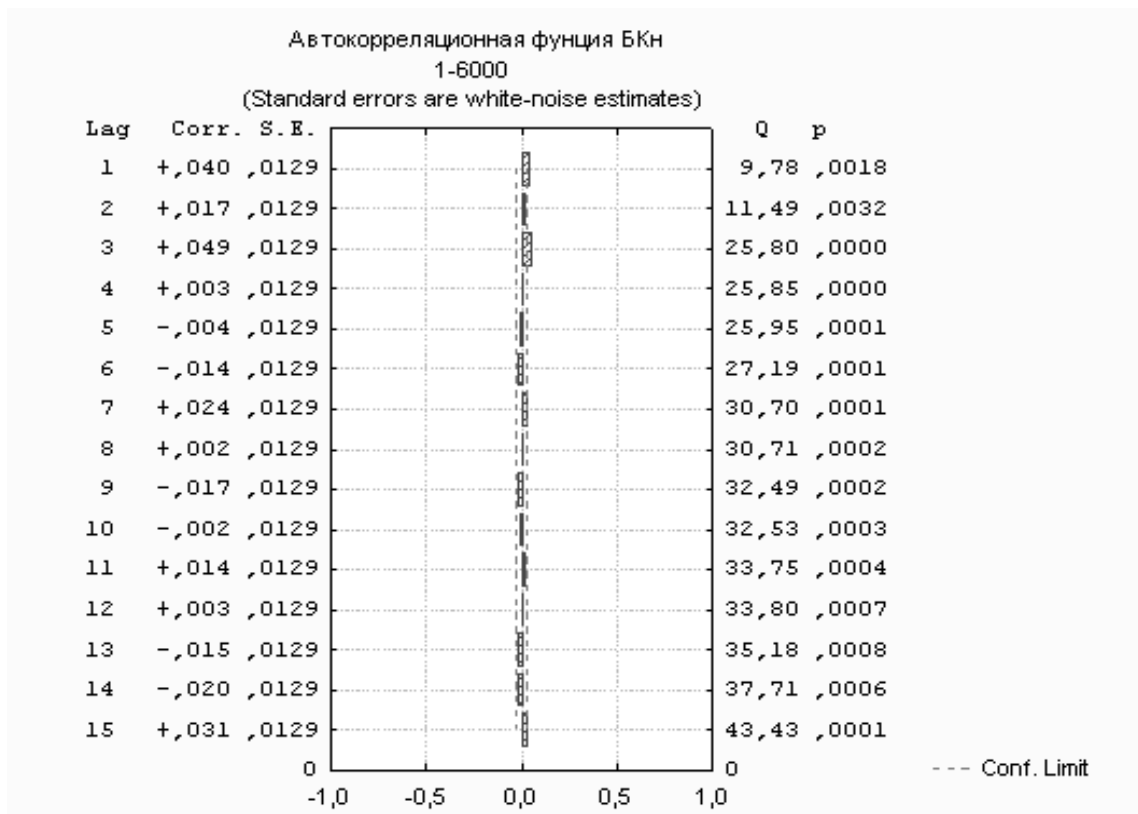


Рис.3

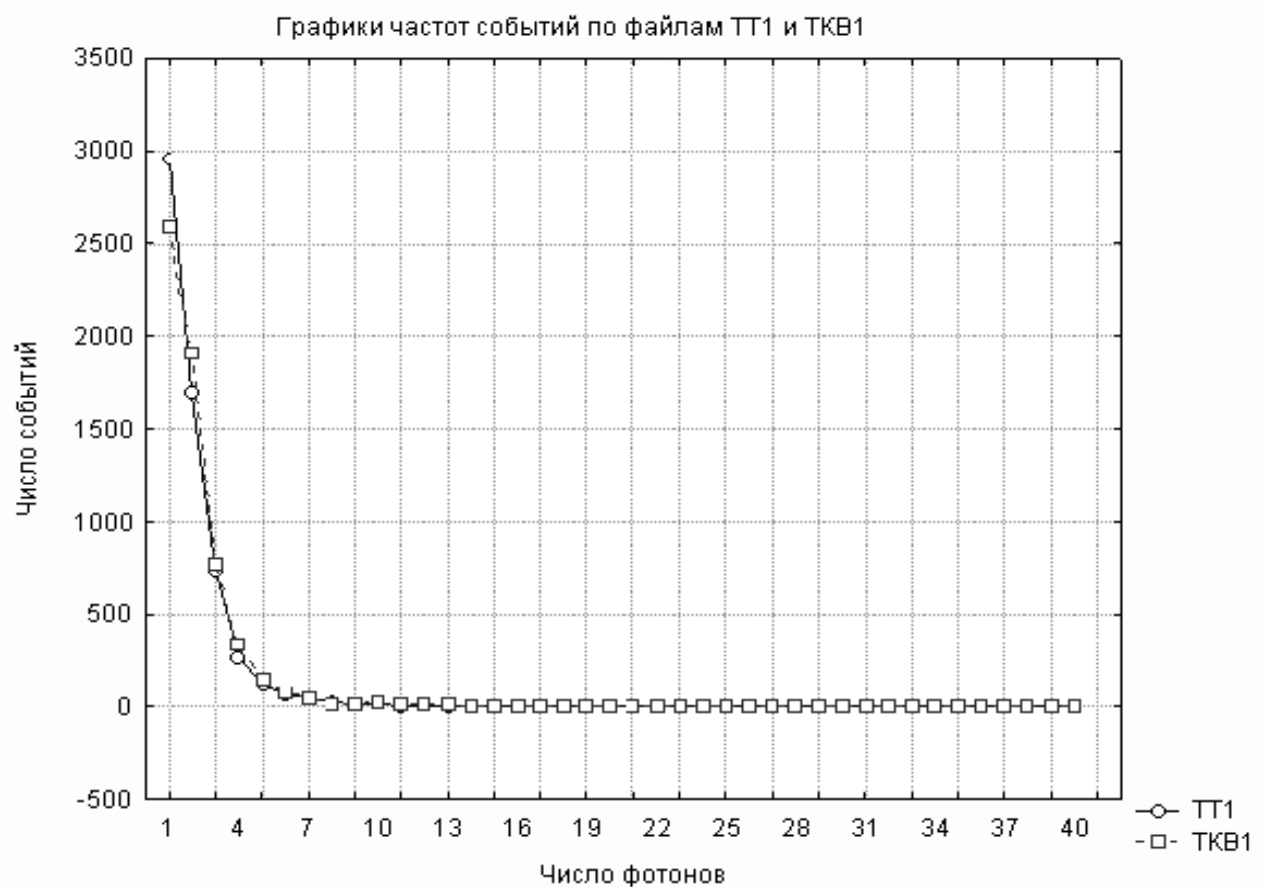


Рис.4



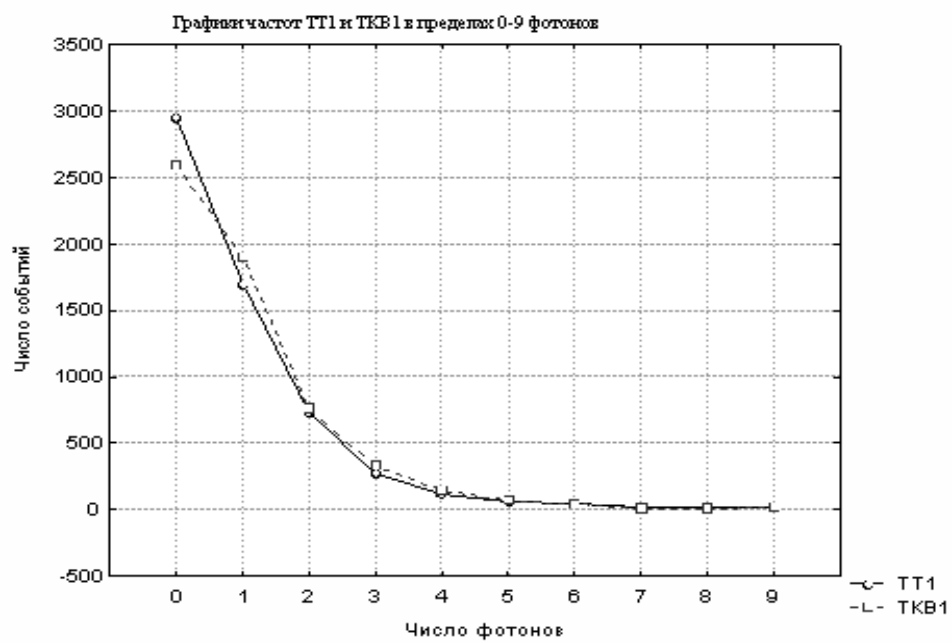


Рис.5

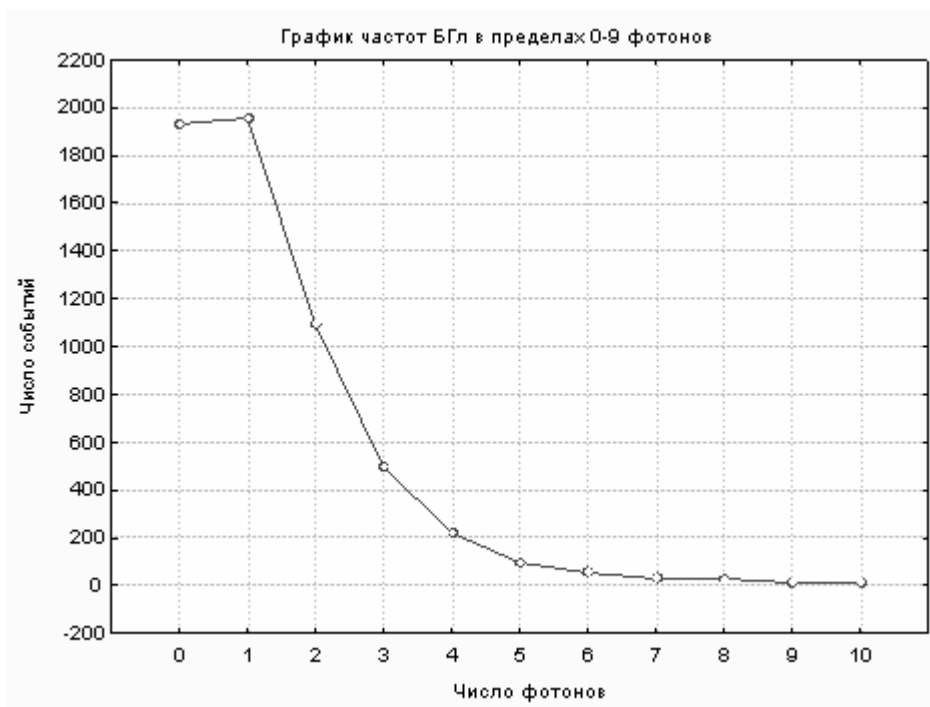


Рис.6

Файл TT1 наблюдения и аппроксимация

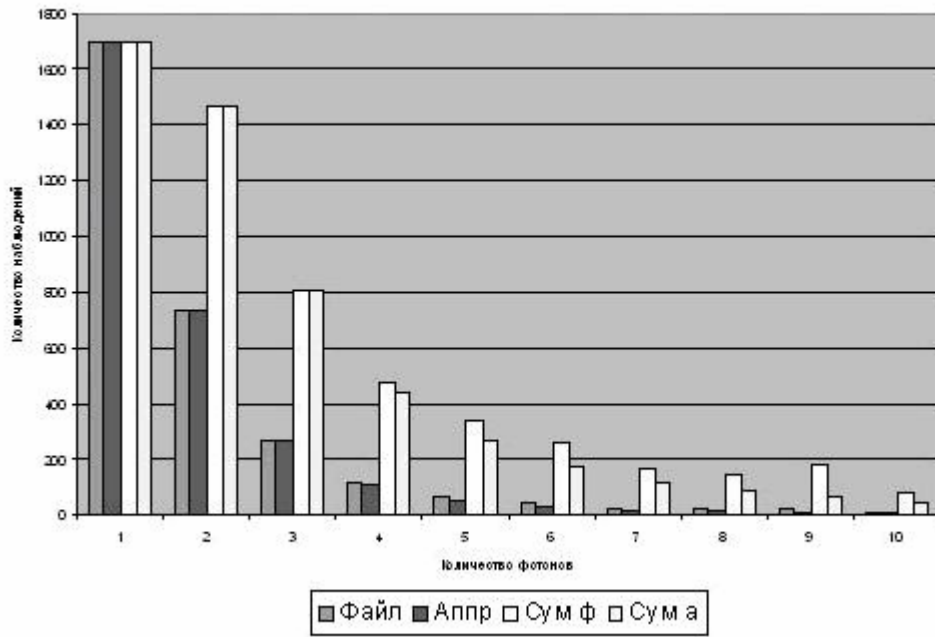


Рис.7

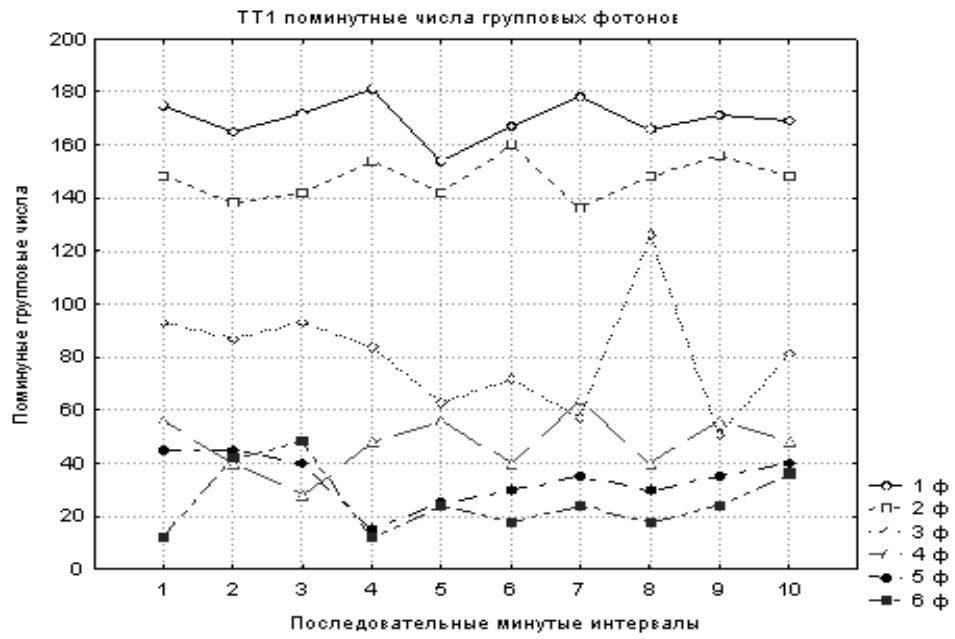


Рис.8

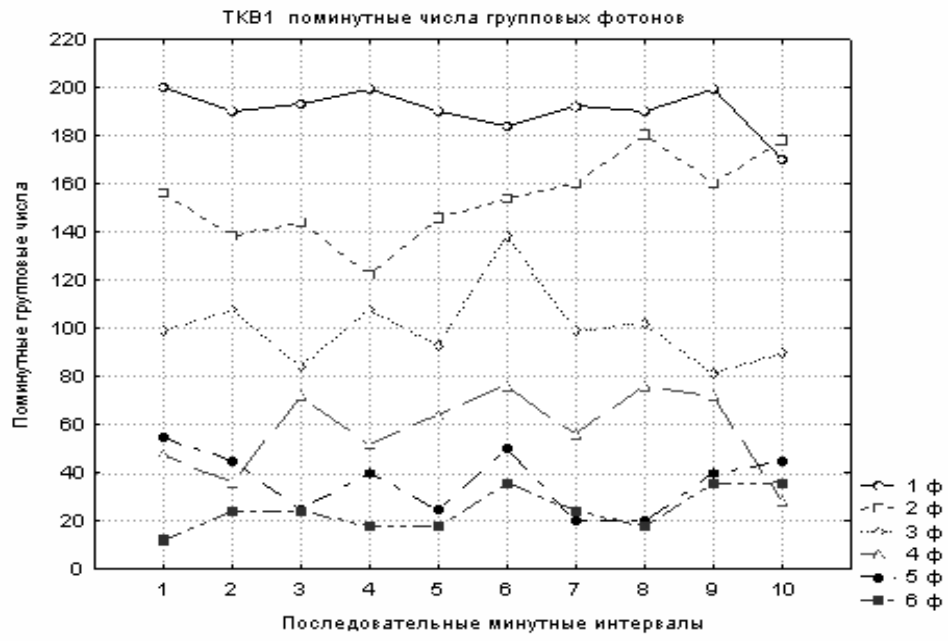


Рис.9

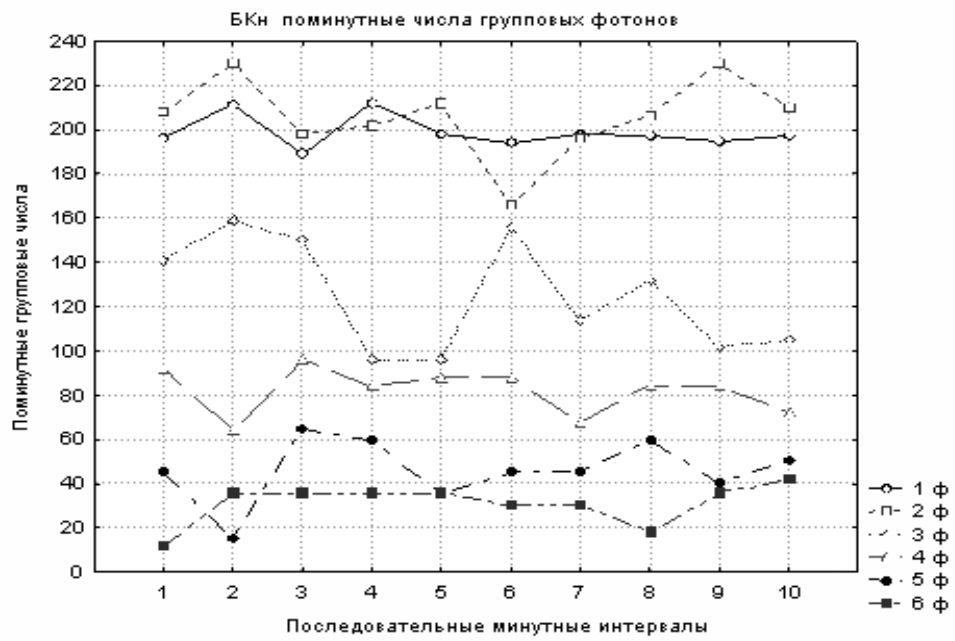


Рис.10

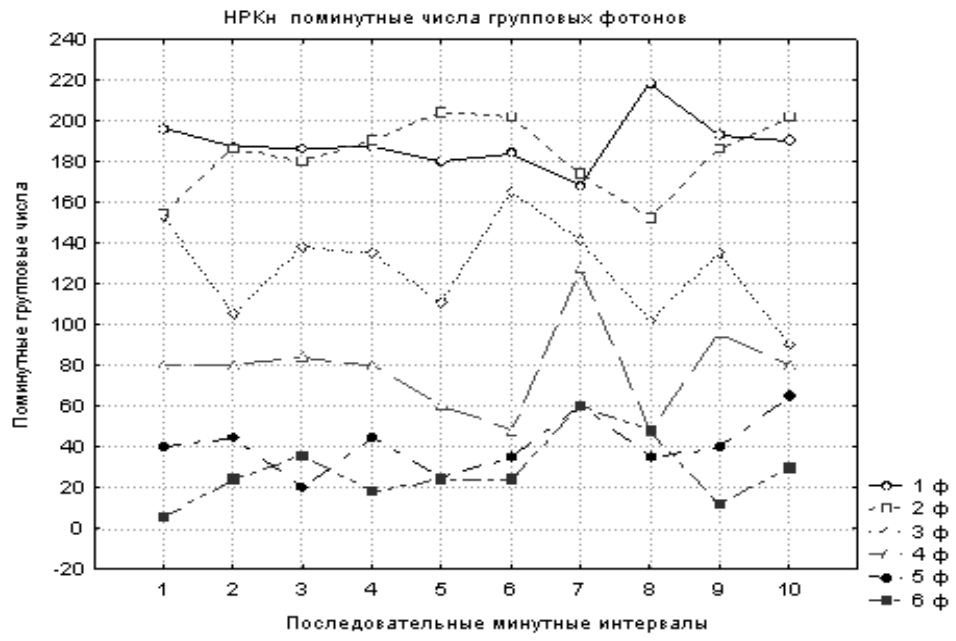


Рис.11