



МЕЖКЛЕТОЧНАЯ КОММУНИКАЦИЯ ПОСРЕДСТВОМ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В.Будаговский, ВНИИГиСПР им. И.В.Мичурина,
О.Н.Будаговская, ВНИИС им. И.В. Мичурина,
Мичуринск;
И.А.Будаговский, ФИАН им. П.Н.Лебедева, Москва

Дистанционное межклеточное взаимодействие является ключом к пониманию природы так называемых "биополей", которые, как полагают, выступают связующим звеном между заключенной в геноме информацией и ее реализацией в формообразовательном процессе многоклеточного организма. Обзор посвящен рассмотрению экспериментальных результатов, полученных разными авторами, и иллюстрирующих полевую (нехимическую) форму межклеточного взаимодействия посредством оптического излучения. Подчеркнуто, что основное противоречие полевой коммуникации биосистем заключается в распознавании сверхслабых сигналов биохемилюминесценции на фоне существенно более интенсивной естественной освещенности.

Для распознавания сверхслабых сигналов биохемилюминесценции на фоне существенно более интенсивной естественной освещенности необходимо допустить, что клетки обладают способностью генерировать когерентные (коррелированные по фазам) фотоны и реагировать на них повышением своей функциональной активности. Наряду с этим в биологической среде не должно проходить значительной стохастизации (нарушения корреляции фаз) фотонного коллектива по крайней мере на протяжении нескольких клеточных слоев. Эксперименты, проведенные на пыльце, семенах, плодах растений и крови человека, показали, что в живых организмах выполняются необходимые условия существования полевого коммуникационного канала. В частности, установлено:

- низкоинтенсивное когерентное излучение усиливает эффект дистанционного межклеточного взаимодействия;

INTERCELLULAR COMMUNICATION USING COHERENT RADIATION

A.V.Budagovsky, I.V.Michurin
All-Russia Research Institute of Genetics and Selection
of Fruit Plants,
O.N.Budagovskaya, I.V.Michurin
All-Russia Research Institute of Horticulture,
Michurinsk;
I.A.Budagovsky, P.N.Lebedev
Physical Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow

The distant intercellular interaction is the key to understanding the nature of so-called "biofields", which are deemed to be the connecting link between the information contained in genome and its implementation in morphogenesis process of multicellular organism. Experimental results of various authors illustrating the field (non-chemical) form of intercellular interaction using optical radiation are considered. The main contradiction of field communication of biosystems, which consists in the recognition of superweak signals of biochemical luminescence against the background of significantly more intense natural illumination, is determined.

In order to recognize superweak signals of biochemical luminescence against the background of significantly more intense natural illumination, it is necessary to assume that cells have the capability to generate coherent (correlated by phases) photons and response to them by the increase of their functional activity. At the same time, the significant stochastization (violation of phase correlation) of photon group should not occur in biological medium at least within several cell layers. Experiments conducted with pollens, seeds, fruits of plants and human blood showed that the required conditions of existence of field communication channel are met in living organisms. In particular, it is established that:

- Low-intensity coherent radiation increases the effect of distant intercellular interaction.
- Intrinsic radiation of cells performing the communication function has higher statistical orderliness (coherence) in comparison with natural light.



- собственное излучение клеток, выполняющее коммуникационную функцию, обладает более высокой, чем у естественного света статистической упорядоченностью (когерентностью);
- при рассеянии в биологических тканях когерентного света его статистическая упорядоченность на протяжении десятков клеточных слоев остается достаточной для распознавания фазовым детектором;
- величина фотоиндуцированной реакции, как прокариот так и эукариот зависит от статистической упорядоченности действующего излучения. Наибольший стимуляционный эффект имеет место, когда клетка полностью помещается в объеме когерентности поля.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что загадочным биополем является биохемилюминесценция, точнее, ее когерентный компонент, а когерентное излучение отдельных клеток, объединенное в поле целостного организма может выступать в качестве форморегулирующего фактора.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Проблема полевой (нехимической) коммуникации биологических систем возникла более ста лет назад при попытке объяснить механизм реализации наследственной информации в морфогенетическом процессе. Описать сложную и изменяющуюся в онтогенезе архитектуру многоклеточного организма исходя только из химических, механических и электрических взаимодействий оказалось невозможным. Необходимо было, согласно Г. Дриша, найти "инженера развития", который мог бы на базе генетической информации выстраивать пространственную структуру. В различные годы на эту роль предлагались такие обобщающие понятия, как "энтелехия" Г. Дриша [1], "динамически преформированная морфа" А. Г. Гурвича [2], "организаторы" Г. Шпемана [3], "физиологические градиенты" Ч. М. Чайлда [4], "креоды" К. Х. Уоддингтона [5]. Несмотря на различия в терминах, во всех случаях подразумевалось существование некоторого "генерализующего начала", определяющего целостность и неразрывность развития живых организмов. Пытаясь объяснить природу явления, "...биологи не смогли придумать ничего лучшего, как постулировать наличие морфогенетического поля, которое определяет облик образуемой структуры" [6, с. 184].

В биологическом контексте поле впервые упоминается Г. Шпеманом – "organizationsfeld"

- During the scattering of coherent light in biological tissues, its statistical orderliness remains sufficient within tens of cell layers for the recognition by phase detector.
- The value of photo-induced response of procaryotes and eukaryotes depends on the statistical orderliness of active radiation. The highest stimulation effect takes place when cell is completely located in the volume of field coherence.

Carried out studies allow drawing the conclusion that biochemical luminescence or its coherent component, to be more precise, is the mysterious biofield, and coherent radiation of certain cells unified into the field of integral organism can play the role of form-regulatory factor.

HISTORY OF SUBJECT MATTER

The problem of field (non-chemical) communication of biological system occurred more than one hundred years ago at the attempt to explain the implementation mechanism of hereditary information in morphogenetic process. The description of complex architectonics of multicellular organism which is changing in ontogenesis on the basis of chemical, mechanical and electric interactions only turned out to be impossible. According to H. Driesch, it was necessary to find the "development engineer" who could construct the spatial structure on the basis of genetic information. In different years, such generalizing concepts as "entelechy" of H. Driesch [1], "dynamically preformed morph" of A. G. Gurvich [2], "organizers" of H. Spemann [3], "physiological gradients" of C. M. Child [4], "chreods" of C. H. Waddington [5] were suggested to such role. Despite the difference in terms, in all cases the existence of some "generalizing basis" determining the integrity and continuity of development of living organisms was implied. Trying to explain the phenomenon nature, "...biologists could not think of something better than to postulate the presence of morphogenetic field, which determines the appearance of formed structure" [6, p. 184].

In biological context, the field – "organizationsfeld" was mentioned by H. Spemann for the first time in 1921 [7]. The further development of this hypothesis belongs to A. G. Gurvich [8, 9]. He noted that "... the idea of field arises from the necessity of recognition of spatial relationship between the molecules, which does not result from their near action" [10, p. 162].



в 1921 году [7]. Дальнейшее развитие этой гипотезы принадлежит А.Г.Гурвичу [8, 9]. Он отмечал, что "...идея поля возникает из необходимости признания пространственных взаимоотношений между молекулами, не вытекающих из их ближнедействия" [10, с.162].

Представления о полях биологических систем были весьма популярны среди эмбриологов и морфологов в 30–50 годы прошлого века. В различных трактовках это понятие использовали Г.Шпеман, Дж.Гексли, Р.Сноу и М.Сноу и другие для описания процессов морфогенеза. Так, например, П.Вейсс полагал, что поле присуще организму как целому и представляет собой изменяющуюся систему сил (векторов) [11]. В процессе онтогенеза оно расчленяется на соподчиненные поля, которые служат факторами детерминации новообразующихся тканей и органов. Концепция П.Г.Светлова [12] строилась на базе формативных раздражителей – внутренних и внешних: "...раздражитель, воспринятый какими-то рецепторами, трансформируется в силовую конструкцию, т.е. морфогенное поле" [12, с. 249]. Несмотря на широкое использование термина "поле", его природа и механизм регуляции оставались отвлеченными понятиями. Как метко заметил Э.Синнот [13, с.474], этот термин "...всего лишь название, а отнюдь не объяснение".

Точка зрения Н.К.Кольцова на морфогенетическое поле во многом созвучна с представлениями Г.Шпемана, Ч.М.Чайлда, П.Вейсса, но имеет от них и существенные отличия. Важным шагом вперед выилось утверждение о физической природе силового поля зародыша, его неразрывности и связи с биохимическими процессами в клеточных системах [14].

Биоэлектрические поля как фактор формообразования живой материи рассматривались Г.Берром и Ф.Норсропом [15], Э.Лундом [16], С.Н.Маслобродом [17]. Согласно концепции Г.Берра, в основе биологической организации лежат биопотенциалы, на что, в частности, указывает обнаруженная им взаимосвязь между формой организма и его электрическим полем [18]. Однако Г.Берру не удалось ответить, причиной или следствием морфогенетических процессов является это поле.

Биорегуляторная роль электромагнитных волн низкой (дотепловой) интенсивности показана Н.Д.Девятковым с соавторами. Им удалось выявить существенное влияние высококогерентного излучения крайне высоких частот (КВЧ) на жизнедеятельность клеток, а также

The ideas of the fields of biological systems were very popular among embryologists and morphologists in 30th-50th of the last century. In various interpretations this concept was used by H. Spemann, J. Huxley, R. Snow and M. Snow etc. for the description of morphogenesis processes. Thus, for example P. Weiss thought that the field is characteristic to the organism as the whole and corresponds to varying system of forces (vectors) [11]. In the process of ontogenesis it is divided into subdominant fields, which serve as the determination factors of newly formed tissues and organs. The concept of P.G. Svetlov [12] was based on the formative stimulants – internal and external: "the stimulant perceived by some receptors is transformed into the load-bearing structure, or in other words morphogenetic field" [12, p. 249]. Despite the wide use of the term "field", its nature and regulation mechanism remained the abstract concepts. As A. Synnott [13, p. 474] accurately said, this term "...refers to name only and not explanation".

The point of view of N.K. Koltsov on the morphogenetic field is in tune with the ideas of H. Spemann, C.M. Childe, P. Weiss for the most part but also has significant distinctions from them. The statement on the physical nature of force field of fetus, its continuity and connection with biochemical processes in cell systems has become the major improvement [14].

Bioelectrical fields as the factor of morphogenesis of living matter were considered by H.Berr and F.Horthrop [15], E.Lund [16], S.N.Maslobrod [17]. According to the concept of G.Berr, biopotentials form the basis of biological organization, and the interconnection between the organism form and its electrical field confirms this idea [18]. However, G.Berr could not answer if such field is the reason for or consequence of morphogenetic processes.

The bioregulatory role of electromagnetic fields with low (pre-thermal) intensity was shown by N.D.Devyatkov et al. They managed to discover the significant influence of highly-coherent radiation with extremely high frequencies (EHF) on the life activity of cells and establish the ability of various organisms to generate such radiation [19, 20]. Mechanism of these processes is connected with the structural-functional adjustment of biomembranes, which results in the occurrence of acoustoelectric waves with EHF. The data on cooperative behavior of human lymphocytes, which form the ordered periodic structures in the solution of sodium chloride, is given in the paper [21]. Such behavior





установить способность различных организмов генерировать такое излучение [19, 20]. Механизм этих процессов связывают со структурно-функциональной перестройкой биомембран, в результате которой возникают КВЧ акустоэлектрические волны. В работе [21] приведены данные о кооперативном поведении лимфоцитов человека, которые в растворе хлористого натрия образуют упорядоченные периодические структуры. Такое поведение клеток объясняют генерацией ими когерентных электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона длин волн [22]. В результате диполь-дипольного взаимодействия возникают дальнедействующие силы притяжения и отталкивания, уравнивающие друг друга на определенном расстоянии. Взаимную координацию движения парамеций, инфузорий и других простейших также связывают с электромагнитным полем, отмечая возможную роль его когерентности [23].

Особое место в развитии представлений о биологических полях занимает дистанционное межклеточное взаимодействие (ДМВ). Оно происходит за границей действия вандерваальсовых сил и без участия трансмембранного молекулярного и зарядового обмена. Этот феномен получил надежное экспериментальное подтверждение и стал основным аргументом в пользу существования полевой (нехимической) коммуникации биологических систем. Впервые такая форма межклеточного взаимодействия была обнаружена в 1923 году А.Г.Гурвичем. Активно делящиеся клетки кончика корня на расстоянии 3...5 мм индуцировали митоз в меристематической ткани другого корня [24].

Эксперименты по ДМВ успешно воспроизводились во многих лабораториях и на различных моделях [25-31]. Чаще всего использовали следующую схему эксперимента. Биологические образцы, выполняющие функцию индуктора сигналов (биоиндукторы), размещали на удалении нескольких миллиметров или даже сантиметров от таких же или совсем иных организмов, которые служили приемником сигналов, т.е. биодетектором. Во многих случаях между ними полностью исключалась возможность химических, электрических или механических контактов. В качестве биоиндукторов и биодетекторов использовали колонии микроорганизмов, тканевые препараты, кровь человека, отдельные органы или целые организмы. Индуктор возбуждали посредством какого-либо физического, химического или биотического воздействия.

of cells is explained by the generation of coherent electromagnetic oscillations with millimeter wavelength range [22]. As a result of dipole-dipole interaction, the long-range attractive and repulsive forces, which balance each other at the certain distance, occur. The scientists also connect the mutual coordination of movement of slipper animalcules, infusoria and other protozoa with electromagnetic field mentioning the potential role of its coherence [23].

The distant intercellular interaction (DII) has special place in the development of concepts of biological fields. It occurs beyond the boundary of action of Van der Waals' forces and without participation of transmembrane molecular and charge exchange. This phenomenon obtained reliable experimental prove and became the major argument in favor of existence of field (non-chemical) communication of biological systems. Such form of intercellular interaction was discovered for the first time by A.G. Gurvich in 1923. Actively dividing cells of root apex induced mitosis in meristem tissue of the other root at the distance of 3...5 mm [24].

Experiments in relation to DII were successfully carried out in many laboratories and with different models [25-31]. The following experimental patterns were used. Biological samples fulfilling the function of signal inducers (bioinducers) were located at the distance of several millimeters or even centimeters from the same or totally different organisms, which served as the signal detectors or biodetectors. In many cases, possibility of chemical, electrical and mechanical contacts between them was totally excluded. Colonies of microorganisms, tissue specimen, human blood, individual organs or whole organisms were used in the capacity of bioinducers and biodetectors. The inducer was excited by means of any physical, chemical or biotical exposure. Researchers could observe the alteration of functional activity of detector coordinated with it but only in case of the presence of optical contact (visibility zone) with inducer.

The concept of stimulating action of low doses of ionizing radiation and biological role of natural radiation background (NRB) suggested by A.M. Kuzin has great significance in understanding the mechanism of field interaction [32, 33]. According to this concept, low doses of radiation by the components of NRB result not only in ionization but also in excitation of biopolymer molecules, which is accompanied by the generation of coherent photons [32]. Such light quanta can





При этом могли наблюдать согласованное с ним изменение функциональной активности у детектора, но только при наличии оптического контакта (зоны видимости) с индуктором.

Важное значение для понимания механизма полевого взаимодействия имеет предложенная А.М.Кузиным концепция стимулирующего действия малых доз ионизирующего излучения и биологической роли природного радиационного фона (ПРФ) [32, 33]. Согласно этой концепции, малые дозы облучения компонентами ПРФ приводят не только к ионизации, но и к возбуждению молекул биополимеров, которое сопровождается генерацией когерентных фотонов [32]. Такие кванты света могут стимулировать функциональную активность других клеток. В качестве экспериментального подтверждения использовали следующую модель ДМВ [33–35]. Различные индукторы (семена редиса и овса, почки сирени, пекарские дрожжи и др.), возбужденные γ -излучением ^{60}Co , вызывали на расстоянии порядка 1 см существенное (в 1,3–2,1 раза) усиление функциональной активности биодетектора, которым служили прорастающие семена редиса (*Rafanus sativus* L.). В то же время необлученные индукторы заметного влияния на них не оказывали. Эффект имел место только при наличии оптического контакта через прозрачную среду (воздух, кварцевое стекло), и не исчезал в течение 2–6 часов после γ -облучения индуктора. Важно отметить, что индуктор сохранял способность к генерации вторичного излучения лишь в нативном состоянии. При его инактивации, например высокой температурой, дистанционное взаимодействие не наблюдали [35].

Столетний период изучения нехимической коммуникации клеток надежно подтвердил факт существования биополей, но не прояснил их природы. На этот счет высказывались весьма противоречивые точки зрения. Например, по мнению А.Г.Гурвича, живым организмам присуще особое поле нефизической природы: "Наша формулировка основного свойства биологического поля не представляет по своему содержанию никаких аналогий с известными в физике полями..." [10, с.166]. Трактровка В.М.Инюшина и П.Р.Чекурова, наоборот, слишком физическая и столь же непонятная: "Голограмма, "вмороженная" в биоплазму, вероятно, и есть биополе" [36, с.57]. Для объяснения ДМВ пользуются еще и такими мифическими понятиями, как торсионное поле, Ψ -частицы и др. [37, 38]. Все эти ненаучные определения являются след-

stimulate the functional activity of other cells. The following model of DII was used in the capacity of experimental proof [33–35]. At the distance of about 1 cm, the different inducers (seeds of garden radish and oat, lilac buds, bakery yeast etc.) excited by γ -irradiation of ^{60}Co caused the significant (by 1.3–2.1 times) amplification of functional activity of biodetector, which was represented by the sprouting seeds of garden radish (*Rafanus sativus* L.). At the same time, non-irradiated inducers did not have evident influence on them. The effect occurred only in case of optical contact through transparent medium (air, quartz glass); it did not disappear within 2–6 hours after γ -irradiation of inducer. It should be noted that the inducer kept the capability of generation of secondary radiation only in native state. In case of its inactivation, for example, using high temperature, the distant interaction was not observed [35].

One hundred years period of study of non-chemical communication of cells reliably confirmed the fact of existence of biofields but did not explain its nature. Very contradictory points of view were expressed in this respect. For example, according to the opinion of A.G. Gurvich, the special field with non-physical nature is attributable to living organisms: "Our formulation of the main property of biological field does not provide any analogies by its content with the fields known in physics..." [10, p. 166]. And vice versa, the interpretation of V.M. Inyushin and P.R. Chekurov is too physical and incomprehensible to the same extent: "Hologram frozen-in bioplasma is probably biofield" [36, p. 57]. Such mythical concepts as torsion fields, Ψ -particles etc. were also used for the explanation of DII [37, 38]. These non-scientific definitions are the consequence of poor knowledge of physics hidden behind the curtain of the terms which are difficult to understand. The paper [39], in which it is stated that "...constructive (radiation amplification upon unidirectionality of waves) and destructive (beam annihilation upon multidirectionality of waves) interference occurs between the monochromatic beams in coherent field (coordinated behavior of wave processes)". Probably, in this sentence, which is hardly translated into the Russian language, it is referred to the variation of intensity of interfering light beams with different phase displacement. The authors [39] forget that light quanta – photons refer to bosons. Particles of such type do not interact with each other and all the more so cannot annihilate upon the meeting as opposed to fermions.

ствием слабого знания физики, которое скрывают за завесой малопонятных терминов и дефиниций. Примером может служить работа [39], в которой утверждается, что "...между монохроматическими лучами в когерентном поле (согласованное протекание волновых процессов) возникает конструктивная (амплификация излучения при однонаправленности волн) и деструктивная (аннигиляция лучей при разнонаправленности их волн) интерференция". Вероятно, в этом труднопереводимом на русский язык предложении речь идет об изменении интенсивности интерферирующих световых пучков при различном фазовом сдвиге. Авторы [39] забывают, что кванты света – фотоны относятся к бозонам. Частицы такого типа не взаимодействуют между собой и тем более не могут аннигилировать при встрече в отличие от фермионов.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ

Дистанционное межклеточное взаимодействие наблюдают у организмов различного уровня организации: от прокариот до высших эукариот, что говорит об эволюционной устойчивости, а следовательно, и о биологической значимости такого коммуникационного канала. Наиболее вероятно его функционирование происходит посредством низкоинтенсивных электромагнитных полей оптической области спектра. Это вытекает из многочисленных экспериментальных данных и не противоречит свойствам живых организмов. Световые потоки играют важную роль в различных цепях управления, вплоть до экспрессии генов [40–42]. Клетки обладают специальными фотоакцепторами – фитохромом (ФХ), криптохромом (КХ), цитохромом (ЦХ), родопсином (РД) и другими, возбуждение которых приводит к активации различных регуляторных систем. Примером могут служить фототаксис бактерий, фотоморфогенез и фотопериодизм растений, ретинальные процессы высших животных. В том же диапазоне, что и спектры действия этих реакций, наблюдают биохемилюминесценцию – сверхслабое свечение клеток, вызванное их жизнедеятельностью [43, 44]. Из целого ряда работ следует, что в фоторегуляторных процессах может участвовать не только солнечный свет, но и собственное излучение живых организмов [26–30, 33, 45]. Однако механизм такого канала регуляции биосистем остается неясным. Камнем преткновения явилась чрезвычайно низкая интенсивность биохемилюминесценции, на много порядков уступаю-

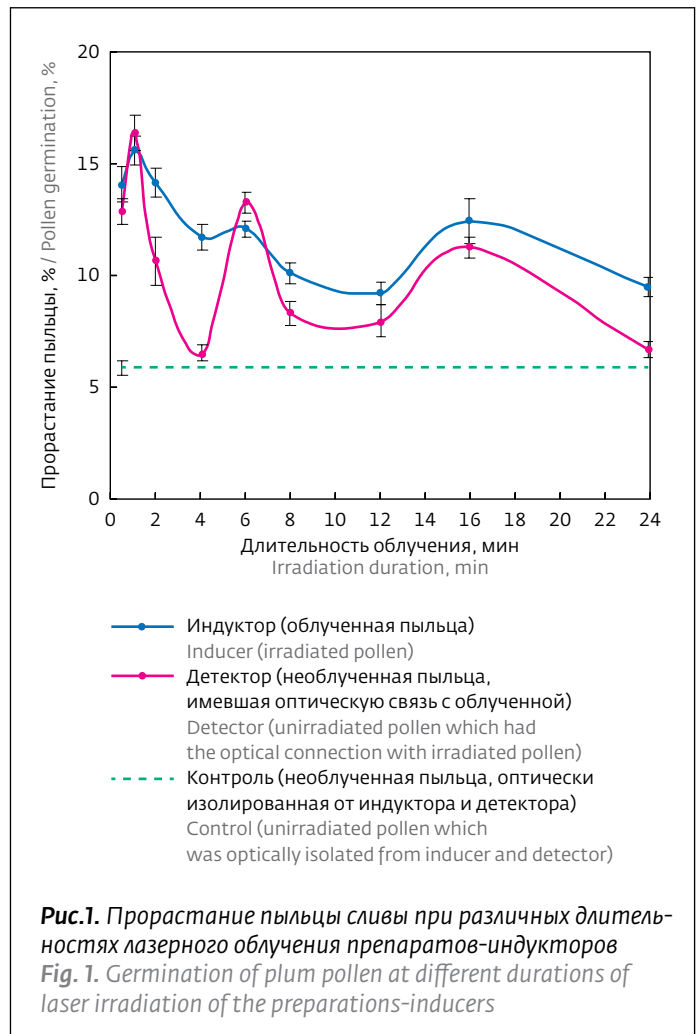


Рис.1. Прорастание пыльцы сливы при различных длительностях лазерного облучения препаратов-индукторов
 Fig. 1. Germination of plum pollen at different durations of laser irradiation of the preparations-inducers

FORMALIZATION OF PROBLEM

The distant intercellular interaction is observed in the organisms with different levels of organization: from procaryotes to higher eukaryotes, and this fact speaks about the evolutionary stability and thus biological significance of such communication channel. Most likely, its functioning takes place by means of low-intensity electromagnetic fields of optical spectral region. It follows from multiple experimental data and does not contradict to the properties of living organisms. Light fluxes play significant role in the various control circuits up to the gene expression [40–42]. The cells have special photo-acceptors – phytochrome (PC), cryptochrome (CrC), cytochrome (CC), rhodopsin (RD) etc. excitation of which results in the activation of different regulatory systems. Phototaxis of bacteria, photo-morphogenesis and photoperiodism of plants, retinal processes of higher animals can serve as examples. Biochemical luminescence – superweak fluorescence of cells caused by their

щая естественной освещенности. Полагали, что в таких условиях выявить сверхслабые оптические сигналы не представляется возможным. Но это не так. На фоне более мощной стохастической помехи, которой является солнечный свет, даже незначительные по интенсивности потоки фотонов будут надежно детектироваться, если они обладают достаточной когерентностью [46]. Тогда необходимым условием передачи регуляторных сигналов посредством эндогенного излучения является его статистическая упорядоченность. В настоящее время существует достаточно оснований говорить о возможности реализации живыми организмами этого условия.

Теоретические [47–50] и экспериментальные [50, 51] исследования показали, что под действием стохастических факторов биополимеры в конденсированной фазе способны к образованию кооперативных возбужденных состояний, релаксирующих с излучением когерентных фотонов. Световые потоки с низкой интенсивностью, но высокой когерентностью, были зарегистрированы у различных организмов [30, 49, 52]. Однако способность генерировать когерентные фотоны служит необходимым, но не достаточным условием существования полевого коммуникационного канала биосистем. Для этого клетки должны обладать еще рядом свойств, реальность существования которых доказывает комплекс проведенных нами экспериментов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Понимание механизма межклеточной коммуникации посредством когерентного света требует решения ряда вопросов, которые не получили определенных ответов или вообще не рассматривались в научной литературе.

Может ли когерентное излучение стимулировать ДМВ?

Дистанционное межклеточное взаимодействие моделировали на пыльце сливы домашней (*Prunus domestica* L.). Пыльцу наносили на поверхность предметных стекол, покрытых тонким слоем питательной среды, содержащей 0,8% агара, 15% сахарозы и 0,001% борной кислоты. Средняя плотность посева составляла 20 зерен на квадратный миллиметр. Выполненные таким образом препараты служили в качестве индуктора, детектора и контроля. Индуктор облучали когерентным светом с плотностью мощности 10 Вт/м² и длиной волны 632,8 нм. Для этого использовали одномодовый гелий-неоновый

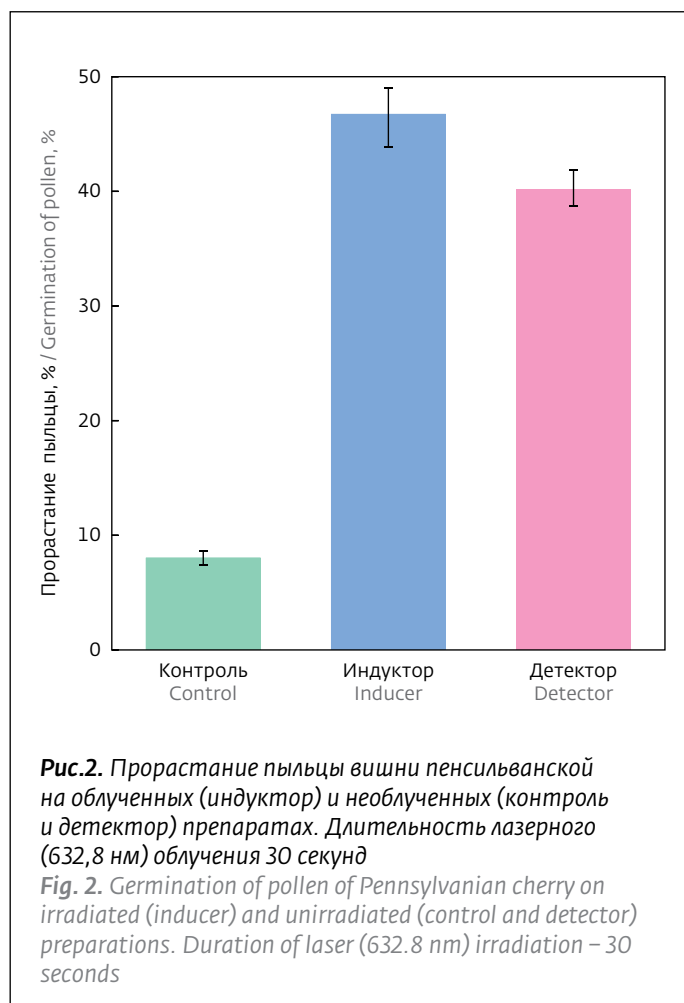


Рис.2. Прорастание пыльцы вишни пенсильванской на облученных (индуктор) и необлученных (контроль и детектор) препаратах. Длительность лазерного (632,8 нм) облучения 30 секунд

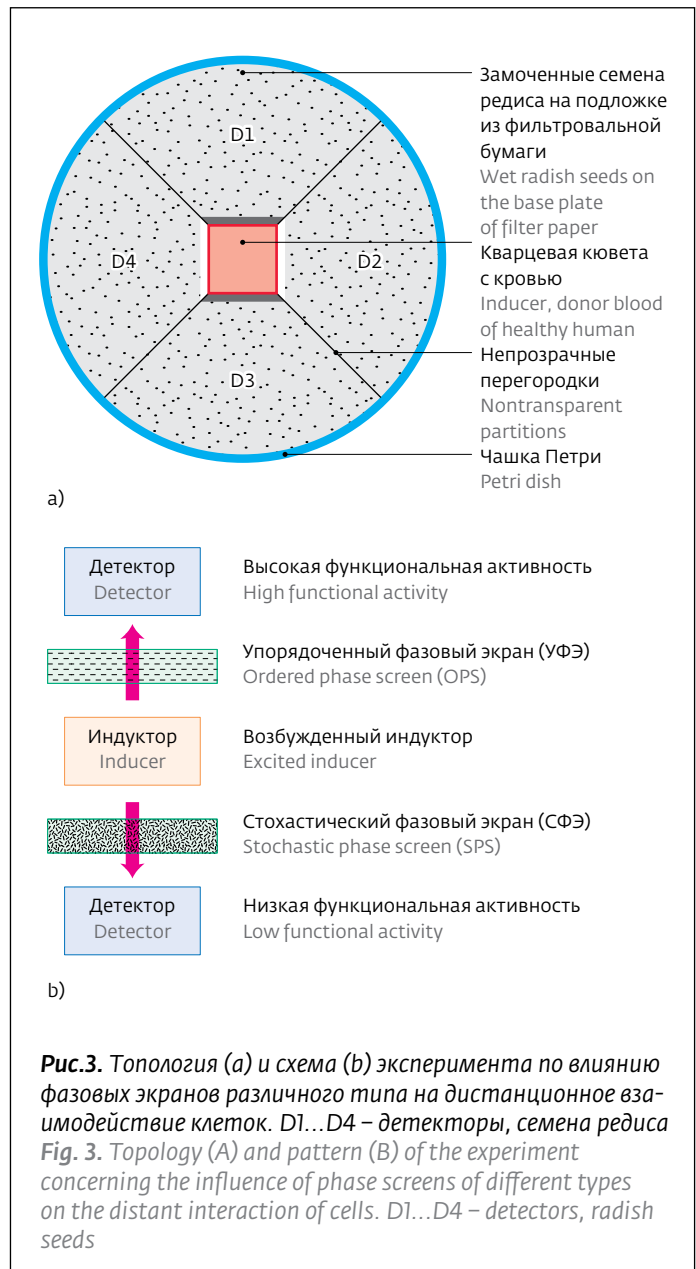
Fig. 2. Germination of pollen of Pennsylvania cherry on irradiated (inducer) and unirradiated (control and detector) preparations. Duration of laser (632.8 nm) irradiation – 30 seconds

vital activity is observed within the same range as the spectrums of action of these responses [43, 44]. It follows from a number of works that not only sunlight but also intrinsic radiation of living organisms can participate in photo-regulatory processes [26–30, 33, 45]. However, the mechanism of such channel of biosystem regulation remains unclear. Extremely low intensity of biochemical luminescence, which is lower than the natural illumination by several orders, is the stumbling block. It was thought that under such conditions it is impossible to detect superweak optical signals. But it is not the case. Even photon fluxes, which are insignificant by intensity, will be reliably detected against the background of more powerful stochastic interference if they have sufficient coherence [46]. Then, its statistical orderliness is the required condition for the transmission of regulatory signals by means of endogenous radiation. Currently, there is sufficient number of reasons to speak about the capability of living organisms to fulfill this condition.

лазер ЛГН-222. Длительность облучения изменяли в диапазоне от 0,5 до 24 минут. Далее препараты размещали во влажных камерах: чашках Петри или в специально изготовленном герметичном боксе с ячейками на 64 стекла. Инкубация проходила 24 часа при температуре 28°C. В этот период индукторы и детекторы имели между собой оптический контакт, а контрольные препараты были изолированы от них светонепроницаемыми перегородками. Далее пыльцу инактивировали хлороформом. О биологическом эффекте судили по числу проросших пыльцевых зерен, для чего просматривали по 50 независимых полей зрения у каждого типа препаратов.

Лазерное облучение в 2-4 раза повысило проращаемость пыльцы препаратов-индукторов в сравнении с интактным контролем (рис.1). Как и у других объектов, ее ответная реакция имела сложную, многомодальную зависимость от длительности облучения [53]. Необлученная пыльца биодетекторов на большинстве препаратов также показала статистически значимые различия с контролем ($P > 0,99$). Функциональная активность пыльцы обработанного лазерным излучением индуктора и необработанного детектора, наоборот, была практически одинаковой. Уровень значимости нулевой гипотезы весьма высок ($\alpha > 0,4$), а коэффициенты корреляции временных зависимостей по ряду опытов превосходили 0,8. Столь заметное совпадение функциональной активности детектора и индуктора говорит о наличии дистанционного взаимодействия, возникающего между пыльцевыми зернами при наличии оптического контакта. Такое явление наблюдали на многих (но не на всех) режимах, и оно было особенно выражено в области коротких (0,5-4 мин) длительностей облучения. Расстояние, на котором происходило взаимодействие, составляло в среднем 12,5 мм.

Аналогичные эксперименты были проведены на пыльце вишни пенсильванской (*Cerasus pensylvanica* L). Полученные результаты подтвердили наличие дистанционного взаимодействия в системе двух изолированных препаратов с облученной и необлученной пыльцой [54]. Эффект наиболее устойчиво воспроизводился при длительности лазерного облучения индуктора в течение 30 секунд. Заключался он в существенной (в 3-5 раз) и статистически значимой ($\alpha < 0,001$) по отношению к контролю стимуляции функциональной активности как индукто-



Theoretical [47-50] and experimental [50, 51] studies showed that under the action of stochastic factors biopolymers in condensed phase are capable to the creation of cooperative excited states relaxing with the radiation of coherent photons. Light fluxes with low intensity but high coherence were registered in different organisms [30, 49, 52]. However, the capability to generate coherent photons is necessary and insufficient condition for the existence of field communication channel of biosystems. For this, cells must have additional number of properties, reality of existence of which proves the complex of carried out experiments.

ров, так и сопряженных с ними биодетекторов (рис. 2).

Прорастание пыльцы на контрольных (не облученных) препаратах, расположенных как по отдельности, так и попарно, не различалось, и было существенно ниже, чем у биодетекторов. Как следует из полученных результатов, высококогерентное лазерное излучение способно не только повышать функциональную активность клеток, но и стимулировать коммуникационное взаимодействие между ними в пострадиационный период.

Значима ли когерентность излучения для осуществления дистанционного взаимодействия клеток?

Ответ на этот вопрос можно получить, изменив свойства оптического канала связи. Он должен осуществлять стохастизацию излучаемого клетками света, но без его ослабления и изменения спектрального состава, т.е. только снижать когерентность. Если это повлияет на эффект ДМВ, то ответ будет положительным.

Возбуждение биоиндукторов и оценку ответной реакции биодетекторов проводили по методике, разработанной А.М.Кузиным [32, 33]. Индуктором служила донорская кровь здорового человека. Ее стабилизировали гепарином и подвергали γ -облучению ^{60}Co на радиационной установке РХМ- γ -20 в стимулирующей дозе 10 Гр. В качестве биодетектора использовали семена редиса сорта Жара, расположенные на влажной фильтровальной бумаге в чашках Петри с диаметром 100 мм.

Об эффекте дистанционного взаимодействия судили по предложенному А.М. Кузиным индексу роста (ИР), который определяли как $\text{ИР} = \Sigma \cdot 100 / N$, где Σ – суммарная длина всех проростков каждой повторности опыта, N – общее количество проросших и не проросших семян в данной повторности. Индекс роста подсчитывали через 48 часов культивирования в темноте при температуре 28°C. Эксперименты проводили со свежей донорской кровью (1 час после отбора) или выдержанной в течение 48 часов в холодильнике при температуре 4°C.

В методику было внесено принципиальное изменение [34, 45]. Заключалось оно в том, что излучение одного и того же биоиндуктора попадало на биодетекторы через фазовые экраны с различной микроструктурой. Достигалось это с помощью фотометрических кювет из кварцевого стекла сечением 10×10 мм, у которых две

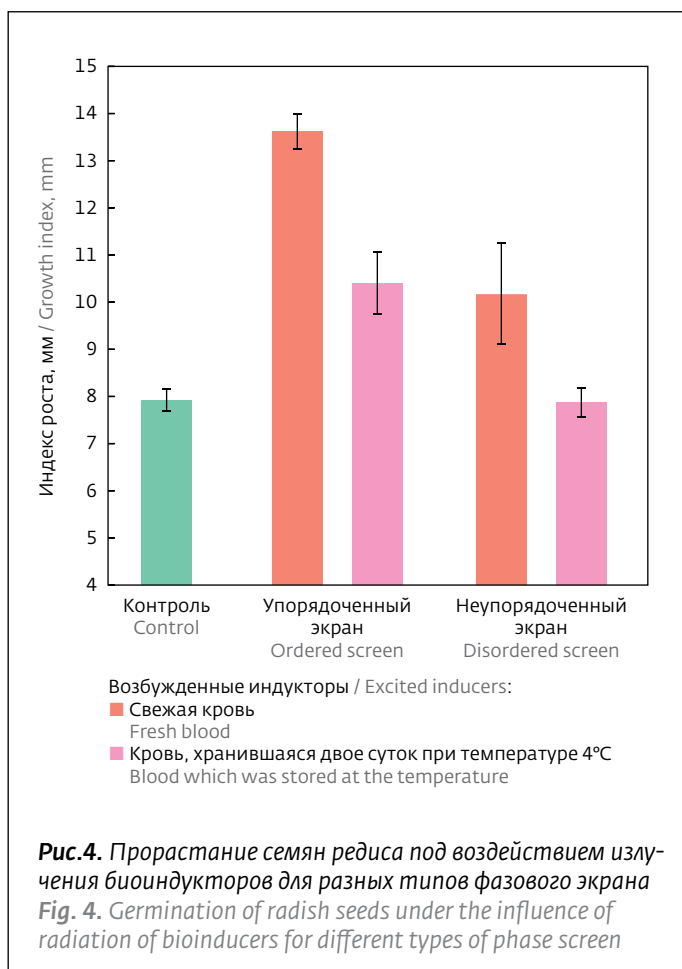


Рис.4. Прорастание семян редиса под воздействием излучения биоиндукторов для разных типов фазового экрана
Fig. 4. Germination of radish seeds under the influence of radiation of bioinductors for different types of phase screen

EXPERIMENTAL RESEARCH

Understanding of the mechanism of intercellular communication by means of coherent light requires the solution of a number of issues, which did not receive definite answers or were not considered in the scientific literature.

Can coherent radiation stimulate DII?

The distant intercellular interaction was simulated on the pollen of plum (*Prunus domestica* L.). The pollen was applied on the surface of microscope slides covered with thin layer of nutrient medium, which contained 0.8% of agar, 15% of sucrose and 0.001% of boric acid. The average density of inoculation was 20 seeds per square millimeter. Preparations executed in such manner served in the capacity of inducer, detector and control. The inducer was irradiated by coherent light with the power density of 10 W/m² and wavelength of 632.8 nm. Single-mode helium-neon laser LGN-222 was used for it. The irradiation duration varied within the range from 0.5 to 24 minutes. Then, the preparations were located in moist chambers: Petri

противоположенные грани матированы, а две другие не матированы. Все грани одинаково слабо поглощают свет, но матированные рассеивают его, снижая пространственную когерентность. После заполнения γ -облученной кровью кюветы ее боковые стенки становятся фазовыми экранами (пространственными фильтрами) для собственного излучения клеток биоиндуктора. Саму кювету герметично закрывали крышкой и устанавливали в центре чашки Петри, разделенной на четыре сектора непрозрачными перегородками (рис.3). Против каждой грани в своем секторе находился биодетектор – влажные семена редиса. На детекторы D1 и D3 излучение индуктора попадало через матированные грани – стохастический (неупорядоченный) фазовый экран (СФЭ), а на детекторы D2 и D4 – через нематированные – упорядоченный фазовый экран (УФЭ). Другие формы оптического взаимодействия были исключены непрозрачными перегородками. Контроль организован таким же образом, но кровь в кюветах не возбуждали γ -облучением. Собранные контрольные и опытные препараты (чашки Петри с семенами и кюветы с кровью) оставляли в термостате на 48 часов, в течение которых проходило прорастание семян и осуществлялось дистанционное взаимодействие между индуктором и детектором.

Как следует из результатов эксперимента, упорядоченный и неупорядоченный фазовые экраны по-разному влияли на ДМВ (рис. 3b и рис. 4). Стимуляция функциональной активности была значительно выше у семян, расположенных против нематированных граней, т.е. там, где фазовые искажения поля носили регулярный характер. Индекс роста семян детекторов D1 и D3, отделенных от индуктора СФЭ, несущественно ($P < 0,92$) отличался от контрольного показателя. Прорастание семян у детекторов D2 и D4, связанных с индуктором оптическим трактом с упорядоченным фазовым экраном, статистически достоверно превосходило контроль. Уровень значимости нулевой гипотезы $\alpha \ll 0,001$. У крови, выдержанной двое суток в холодильнике и частично потерявшей функциональную активность, наблюдали такую же закономерность, что и у свежей, но с меньшими значениями индекса роста биодетекторов (рис.4).

Эксперимент показал, что между индуктором и детектором возникало дистанционное взаимодействие. Однако надежный характер оно имело только в случае упорядоченного фазового экрана, т.е. при сохранении исходной статистики излу-

ishes or purpose-made sealed compartment with the cells intended for 64 glasses. Incubation took place during 24 hours at the temperature of 28°C. During this period the inducers and detectors had optical contact between each other, and control preparations were isolated from them with light-tight partitions. Then, the pollen was inactivated using chloroform. Conclusion on the biological effect was made on the basis of number of sprouted pollen grains, and for this purpose 50 independent fields of view in every type of preparation were checked.

Laser irradiation caused the increase of germination capacity of pollen of preparations-inducers by 2–4 times in comparison with intact control (Fig. 1). As in other objects, its response had complex, multimode dependence on the irradiation duration [53]. Unirradiated pollen of biodelectors also showed statistically significant difference in the majority of preparations in comparison with control ($P > 0.99$). And vice versa, the functional activity of pollen of the inducer treated with laser radiation and untreated detector was practically identical. Significance level of null hypothesis was quite high ($\alpha > 0.4$), and correlation coefficients of time dependence were more than 0.8 in a number of experiments. Such noticeable coincidence of the functional activity of detector and inducer indicates the existence of distant interaction occurring between the pollen grains upon the optical contact. Such phenomenon was observed under many (but not all) conditions, and it was particularly expressed in the area of short (0.5–4 min) irradiation durations. The distance at which the interaction took place was 12.5 mm in average.

Analogous experiments were carried out with the pollen of Pennsylvanian cherry (*Cerasus pensylvanica* L.). Obtained results confirmed the existence of distant interaction in the system of two isolated preparations with irradiated and unirradiated pollen [54]. The effect was reproduced in the most stable manner upon the duration of laser irradiation of inducer during 30 seconds. It consisted in considerable (by 3–5 times) and statistically significant ($\alpha < 0.001$) stimulation of functional activity of inducers and biodelectors associated with them in relation to control (Fig. 2).

Germination of pollen on control (unirradiated) preparations located individually and in pairs did not have difference and was considerably lower than in biodelectors. As it follows from obtained results, highly coherent laser radiation is capable



чения, осуществляющего коммуникационную функцию. Следовательно, излучение клеток может иметь более высокую, чем рассеянный свет, когерентность, и именно это его свойство является необходимым условием ДМВ.

Отметим, что биохемилюминесценция неоднородна по своей природе. В реакциях свободнорадикального окисления элементарные экзотермические акты, приводящие к эмиссии квантов света, не коррелированы между собой, и такое излучение носит стохастический характер. Однако полученные результаты свидетельствуют, что в клетках существуют и иные механизмы, приводящие к генерации когерентных фотонов.

В продолжение статьи будет рассмотрено, сохраняются ли статистические свойства когерентного излучения при прохождении нескольких клеточных слоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дриш Г. Витализм, его история и система. – С-Пб, 1915.
2. Gurwitsch A.G. Der Vererbungs - mechanismus der Form. – Arch. Entwicklungsmech, 1914, Bd. 39, p. 516-577.
3. Spemann H. Uber Organisatoren in der tierischen Entwicklung. – Naturwiss, 1924, Jg.12, p. 1092-1094.
4. Child C.M. Patterns and problems of development. – Chicago Univ. Press., 1941.
5. Уоддингтон К.Х. Основные биологические концепции. – На пути к теоретической биологии. – М.: Мир, 1970, с. 11-38.
6. Уоддингтон К.Х. Морфогенез и генетика. – М.: Мир, 1964.
7. Spemann H. Die Erzeugung tierischer Chimären durch heteroplastische embryonale Transplantation zwischen Triton cristatus und taeniatus. – Arch. Entwicklungsmech d. Organismen., 1921, Bd.48, p. 533-570.
8. Gurwitsch A.G. Über den Begriff des embryonalen Feldes. – Arch. Entwicklungsmech., 1922, Bd.51, H.3/4, p. 383-415.
9. Гурвич А.Г. Теория биологического поля. – М.: Советская Наука, 1944.
10. Гурвич А.Г. Принципы аналитической биологии и теории клеточных полей. – М.: Наука, 1991.
11. Weiss P. Principles in the field of morphogenesis. – Quart. Rev. Biol., 1950, 25, p. 177-198.

not only to increase the functional activity of cells but also stimulate the communication interaction between them during post-radiation period.

Is radiation coherence significant for the distant interaction of cells?

The answer to this question can be received by variation of the property of optical communication channel. It must perform the stochastization of light radiated by cells but without its attenuation and variation of spectral composition, in other words, the coherence should be decreased only. If it influences on the effect of DII the answer will be positive.

Excitation of bioinducers and evaluation of response were performed in accordance with the methodology developed by A.M. Kuzin [32, 33]. Donor blood of healthy human served as the inducer. It was stabilized using heparin and exposed to γ -irradiation ^{60}Co at the radiation unit RHM- γ -20 in the stimulating dose of 10 Gy. The seeds of Zhara radish located on the wet filter paper in Petri dishes with the diameter of 100 mm were used in the capacity of biodelector.

The conclusion on the effect of distant interaction was made on the basis of growth index (GI) offered by A.M. Kuzin, which was determined as $GI = \Sigma \cdot 100 / N$, where Σ is the total length of all germinants of every experiment repeatability, N is the total number of germinating and non-germinating seeds in such repeatability. Growth index was calculated in 48 hours of cultivation in darkness at the temperature of 28°C. Experiments were carried out with fresh donor blood (1 hour after withdrawal) or blood kept in refrigerator at the temperature of 4°C during 48 hours.

The fundamental changes were introduced into the methodology [34, 45]. It consisted in the fact that radiation of the same bioinducer got on biodelectors through phase screens with various microstructure. It was achieved with the assistance of photometric cells of quartz glass with the cross section 10×10 mm, which had two matted opposite sides and two non-matted opposite sides. All sides poorly absorb light in the same manner but the matted sides scatter it decreasing the spatial coherence. After γ -irradiated blood fills the cell, its sides become the phase screens (spatial filters) for intrinsic radiation of bioinducer cells. The cell was tightly covered with cap and located in the center of Petri dish divided into four sectors with nontransparent partitions (Fig. 3). Biodelector – wet seeds of radish were located opposite every side in their sector. Inducer radiation



12. **Светлов П.Г.** Физиология (механика) развития. Т. 1. Процессы морфогенеза на клеточном и организменном уровнях. – Л.: Наука, 1978.
13. **Синнот Э.** Морфогенез растений. – М.: Иностранная литература, 1963.
14. **Кольцов Н.К.** Организация клетки. – М. – Л.: Государственное издательство биологической и медицинской литературы, 1936.
15. **Burr H.S. , Northrop F.S.C.** Evidence for the existence of an electro-dynamic field in living organisms. – Proc. Natl. Acad. Sci., 1939, 25, p. 284-288.
16. **Lund E.J.** Bioelectric fields and growth. – University of Texas Press. Austin, 1947.
17. **Маслоброд С.Н.** Электро-физиологическая полярность растений. – Кишинев: Штиинца, 1973.
18. **Burr H.S. , Sinnott E.W.** Electrical correlates of form in cucurbit fruits. – Amer. Jour. Bot., 1944, 31, p. 249-253.
19. **Девятков Н.Д., Голант М.Б.** О выявлении когерентных КВЧ колебаний, излучаемых живыми организмами. – Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения. – М.: ИРЭ АН СССР, 1987, с. 126-130.
20. **Девятков Н.Д., Голант М.Б. Бецкий О.В.** Миллиметровые волны и их роль в вопросах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991.
21. **Голованов М.В., Дерягин Б.В.** О формировании и устойчивости периодических суспензий ореолообразующих клеток. – ДАН, 1983, т. 272, № 2, с. 479-480.
22. **Голант М.Б., Савостьянова Н.А., Тарасова Т.П.** Роль генерации клетками когерентных колебаний в организации клеточных ансамблей. – Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, 1988, вып. 7, с. 29-33.
23. **Пресман А.С.** Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968.
24. **Gurwitsch A.G.** Die Natur des spezifischen Erregers der Zellteilung. – Arch. Entwicklungsmech., 1923, Bd. 100, H. 1/2, S. 11-40.
25. **Казначеев В.П., Шурин С.П., Михайлова Л.П., Игнатович Н.В.** О межклеточных дистанционных взаимодействиях в системе двух тканевых культур, связанных оптическим контактом. – Сверхслабые свечения в биологии. – М.: Наука, 1972, с. 224-227.
26. **Казначеев В.П., Михайлова Л.П.** Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях. – Новосибирск: Наука, 1981.

got on the detectors 1 and 3 through the matted sides – stochastic (disordered) phase screen (SPS) and on the detectors 2 and 4 – through the non-matted sides, ordered phase screen (OPS). Other forms of optical interaction were excluded by nontransparent partitions. The control was organized in the same manner but the blood in dishes was not excited with γ -irradiation. Collected control and experimental preparations (Petri dishes with seeds and cells with blood) were kept in thermostat for 48 hours, during which the germination of seeds took place and distant interaction between inducer and detector was performed.

As it follows from the experiment results, ordered and disordered phase screens influenced on DII in different manner (Fig. 3B and Fig. 4). Stimulation of functional activity was considerably higher in the seeds located opposite non-matted sides, in other words where the phase distortions of field had regular character. Growth index of seeds of the detectors D 1 and D 3 separated from the inducer SPS did not differ from the control parameter significantly ($P < 0.92$). Seed germination of the detectors D 2 and D 4 connected with the inducer by optical tract with ordered phase screen statistically reliably exceeded control. Significance level of null hypothesis was $\alpha \ll 0.001$. The same regularity was observed in the blood kept in refrigerator for two days, which partially lost its functional activity, as in fresh blood but with lower values of growth index of biodetectors (Fig. 4).

Experiment showed that the distant interaction occurred between inducer and detector. However, it had reliable character only in case with ordered phase screen, in other words upon the maintenance of initial statistics of radiation fulfilling the communication function. Thus, the radiation of cells can have higher coherence in comparison with scattered light, and particularly this property refers to the condition which is required for DII.

It should be noted that biochemical luminescence is heterogeneous by its nature. In the reactions of free-radical oxidation the elementary exothermal acts causing the emission of light quanta are not correlated between each other, and such radiation has stochastic character. However, obtained results indicate that there are other mechanisms in cells which result in the generation of coherent photons.

In the article continuation it will be considered if the statistical properties of coherent radiation are maintained when passing through several cell layers.



27. **Киркин А.Ф.** Нехимические дистанционные взаимодействия между клетками в культуре. – Биофизика, 1981, т. 26, вып. 5, с. 839–843.
28. **Molchanov A.A., Galantsev V.P.** On the functional role of spontaneous photon emission in the mammary gland. *Biophotonics*. – М.: BioInform Services, 1995, p. 341–347.
29. **Ропп Е.А.** Some essential question of biophoton. Research and probable answers. – Recent advances in biophoton research and its applications. – World Scientific publishing, Singapore, 1992, p.1–46.
30. **Shen X.** Information transfer from the neutrophils undergoing respiratory burst to a second chemically separated but optically coupled neutrophil population. – М.: BioInform Services, 1995, p. 303–315.
31. **Chang, J.J.** Communication between dinoflagellates by means of photon emission. – М: BioInform Services, Co, 1995. – p. 317–330.
32. **Кузин А.М.** Значение для биоты природных уровней атомной радиации. – Успехи современной биологии, 1995, т. 115, вып. 2, с. 133–140.
33. **Кузин А.М.** Роль природного радиоактивного фона и вторичного биогенного излучения в явлениях жизни. – М.: Наука, 2002.
34. **Кузин А.М., Суркенова Г.Н., Будаговский А.В., Гуди Г.А.** Вторичное биогенное излучение γ -облученной крови человека. С. – Радиационная биология. Радиоэкология, 1997, т. 37, вып. 4, с. 577–580.
35. **Кузин А.М., Суркенова Г.Н., Ревин А.Ф.** Нативный белок, возбуждённый γ -радиацией в малых дозах как источник вторичных биогенных излучений. – Радиационная биология. Радиоэкология, 1996, т. 36, вып. 2, с. 284–289.
36. **Инюшин В.М., Чекуров П.Р.** Биостимуляция лучом лазера и биоплазма. – Алма-Ата: Казахстан, 1975.
37. **Акимов А.Е., Курик М.В., Тарасенко В.Я.** Влияние спинорного (торсионного) поля на процесс кристаллизации мицеллярных структур. – Биотехнология, 1991, № 3, с. 69–70.
38. **Петухов В.Г.** О физической регистрации и природе ультрафиолетового излучения микроорганизмов. – Биохемилюминесценция. – М.: Наука, 1983, с. 210–221.
39. **Владимирская Е.Б., Мильман В.Д.** Биофотонный механизм активации клеточных про-



- грамм: колониеобразование в мягком агаре. – Клеточная трансплантология и тканевая инженерия 2012; 7 (1): 92–96.
40. **Конев С.В., Волотовский И.Д.** Фотобиология. – Минск: Из-во БГУ, 1979.
 41. **Chamovitz D.A.** Light Signaling in Plants. – Critical Reviews in Plant Sciences, 1996, vol. 15, p. 455–478.
 42. **Kuhlemeier C.** Regulation of gene expression in higher plants. – Annual Review of Plant Physiology, 1987, vol. 38, p. 221–257.
 43. **Баренбойм Г.М., Доманский А.Н., Туровцев К.К.** Люминесценция биополимеров и клеток. – М. – Л.: Наука, 1966.
 44. **Веселовский В.А., Веселова Т.В.** Люминесценция растений. Теоретические и практические аспекты. – М.: Наука, 1990.
 45. **Будаговский А.В.** Дистанционное межклеточное взаимодействие. – М.: НПЦЛ Техника, 2004. – 104 с.
 46. **Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С.** Введение в статистическую радиофизику и оптику. – М.: Наука, 1981.
 47. **Быховский В.К.** О передаче когерентности в электронную оболочку биологических макромолекул и их комплексов. – Биофизика, т. 18, вып. 1, с. 184–186.
 48. **Vajpai R.P.** Implications of biophotons and their coherent nature. – Biophotonics and coherent systems. – М.: Moscow University Press, 2000, p. 135–140.
 49. **Popp F.-A.** Die Botshagtder Nahrung Unsere Lebensmittel in neuer Sicht. – Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag GmbH, 1994.
 50. **Popp F.-A.** Hyperbolic relaxation as a sufficient condition of a fully coherent ergodic field. – Int. J. Theor. Phys., 1993, v. 32, № 9, p. 1573–1583.
 51. **Nagl, W., Popp F.A.** – Cytobios., 1983, vol. 37, p. 45–62.
 52. **Vajpai R.P.** Coherent nature of the radiation emitted in delayed luminescence of leaves. – J. Theor. Biol., 1999, vol. 198, № 3, p. 287–299.
 53. **Budagovsky A.V.** Principles of action of coherent electromagnetic fields upon living organisms. – М: BioInform Services, Co, 1995, p. 233–256.
 54. **Будаговский А.В., Туровцева Н.И., Будаговский И.В.** Когерентные электромагнитные поля в дистанционном межклеточном взаимодействии. – Биофизика, 2001, т. 46, № 5, с. 894–900.