

**ВЫЖИВАЕМОСТЬ ОРГАНОТРОФНЫХ
МИКРООРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ
ОТСУТСТВИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО
СУБСТРАТА**
Эксперимент и Теория

ГУСЕВ ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, пр.

Коптюга, 4, Новосибирск, 630090

Новосибирский государственный университет, Россия

vgus@math.nsc.ru

**МИКРООРГАНИЗМЫ, ВОДА,
СПОНТАННЫЙ МУТАГЕНЕЗ В
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ
РАДИОВОЛН**

**МИКРООРГАНИЗМЫ, ВОДА И
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ**

Chemical Evolution in a Thunderstorm Cloud

- V. A. Gusev
- Sobolev Institute of Mathematics, Siberian Division, Russian Academy of Sciences, Koptiyuga pr. 4, Novosibirsk, 630090 Russia
vgus@math.nsc.ru
- Published in:
 - 1. Dokl. Russian Academy of Science, v. 385, N 3, pp. 352-354, 2002.
 - 2. Proceedings of the Second European Workshop on Exo-Astrobiology. 16-19 September 2002, Graz, Austria, pp. 205-207

Немного истории



- В 1986 г. при подборе оптимальных условий культивирования для разных штаммов органотрофных микроорганизмов *E. coli* мы столкнулись со странным явлением – некоторые штаммы могли размножаться при концентрации органики на порядки ниже стандартной нормы. Позже выяснилось, что процесс размножения не прекращается и при полном отсутствии органики то есть в физрастворе, солевых буферах и даже дистиллированной воде.



Начался длительный процесс поиска источников вещества и энергии, необходимых для конструирования биомассы клеток. Были перепробованы различные способы очистки воды от потенциальной органики.

Я не буду утомлять коллег рутинной экспериментов, перейду к сути. На следующем слайде представлена типичная кривая роста популяции в многократно перегнанной чистой дистиллированной воде.

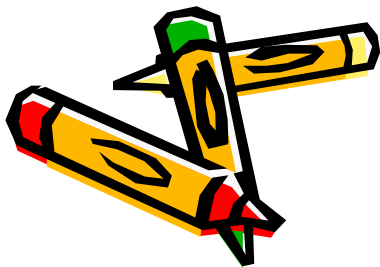
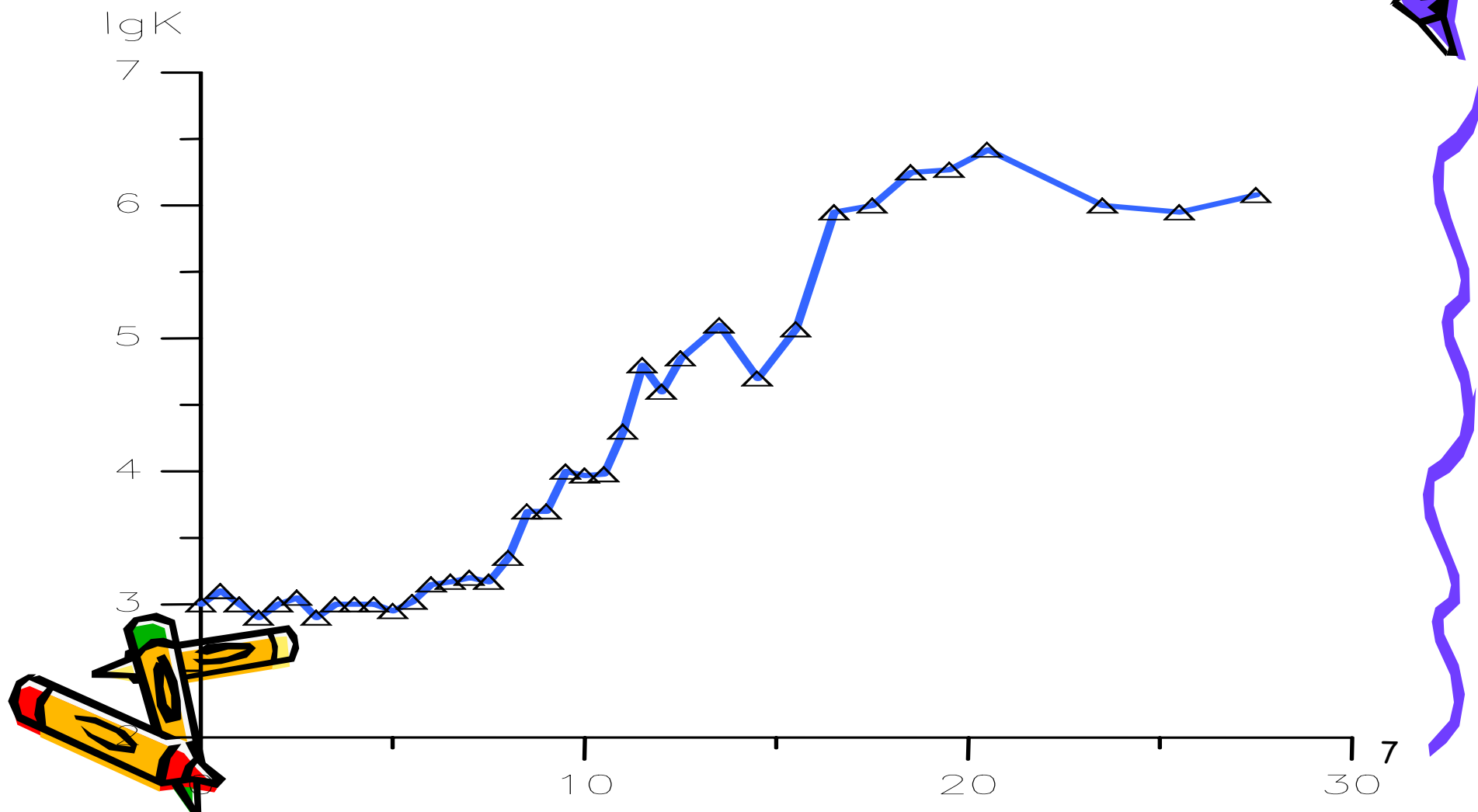




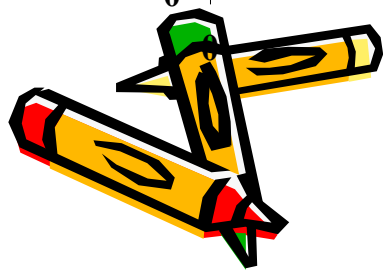
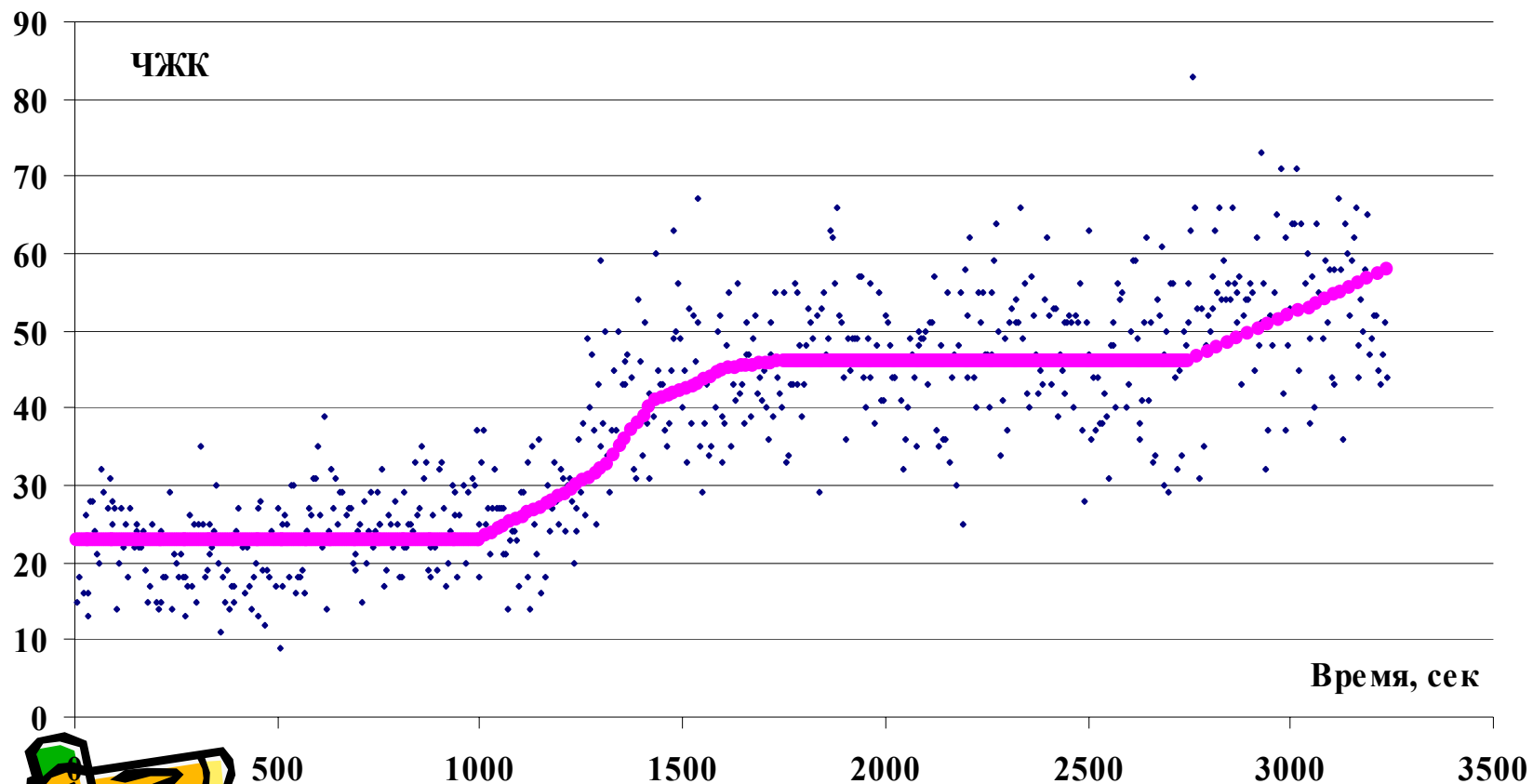
Рис. 1.1.1. Амплификация клеток *E. coli* в дистиллированной воде. По оси ординат десятичный логарифм концентрации клеток в мл, по оси абсцисс время час.



- Как видно из рисунка, в логарифмической фазе время удвоения клеток составляло менее 60-ти минут.
- А на отдельных участках уменьшалось до 20-ти минут (см. далее).
- Отмечу, что в классических фолиантах по микробиологии (Миллер, Герхард и др.) сказано, что это предельно минимальное время для удвоения клеток в оптимальных для культивирования условиях.



клеток в дистиллированной воде.
Температура 22°C. По оси ординат
ЧЖК в пробе объемом 10 мкл.



- Интригующим оказался и тот факт, что не зависимо от начальной концентрации клеток от 10^2 до 10^9 см⁻³, все популяции асимптотически стремились к стационарной концентрации 10^6 см⁻³.

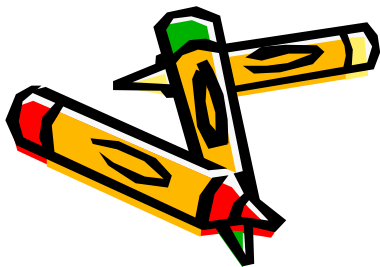


Рис. 1.1.3. Независимость конечного состояния популяций от начальной концентрации клеток

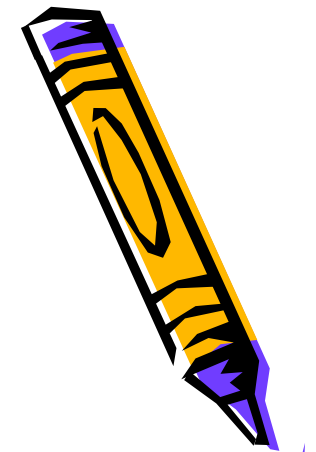
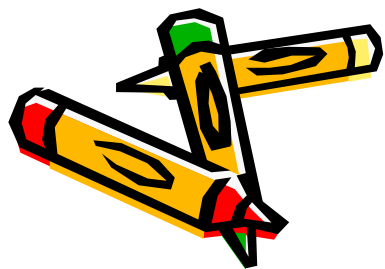
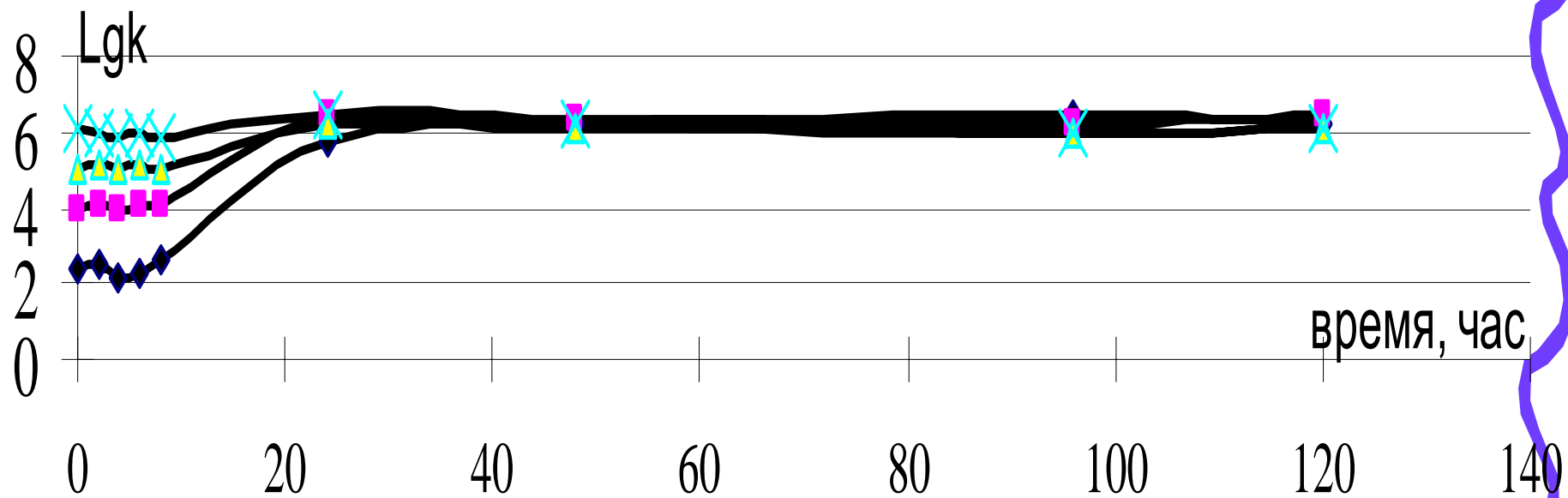
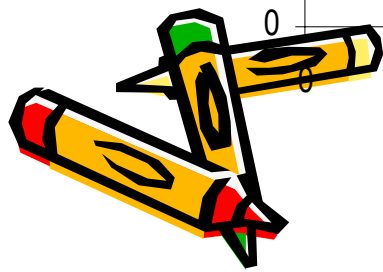
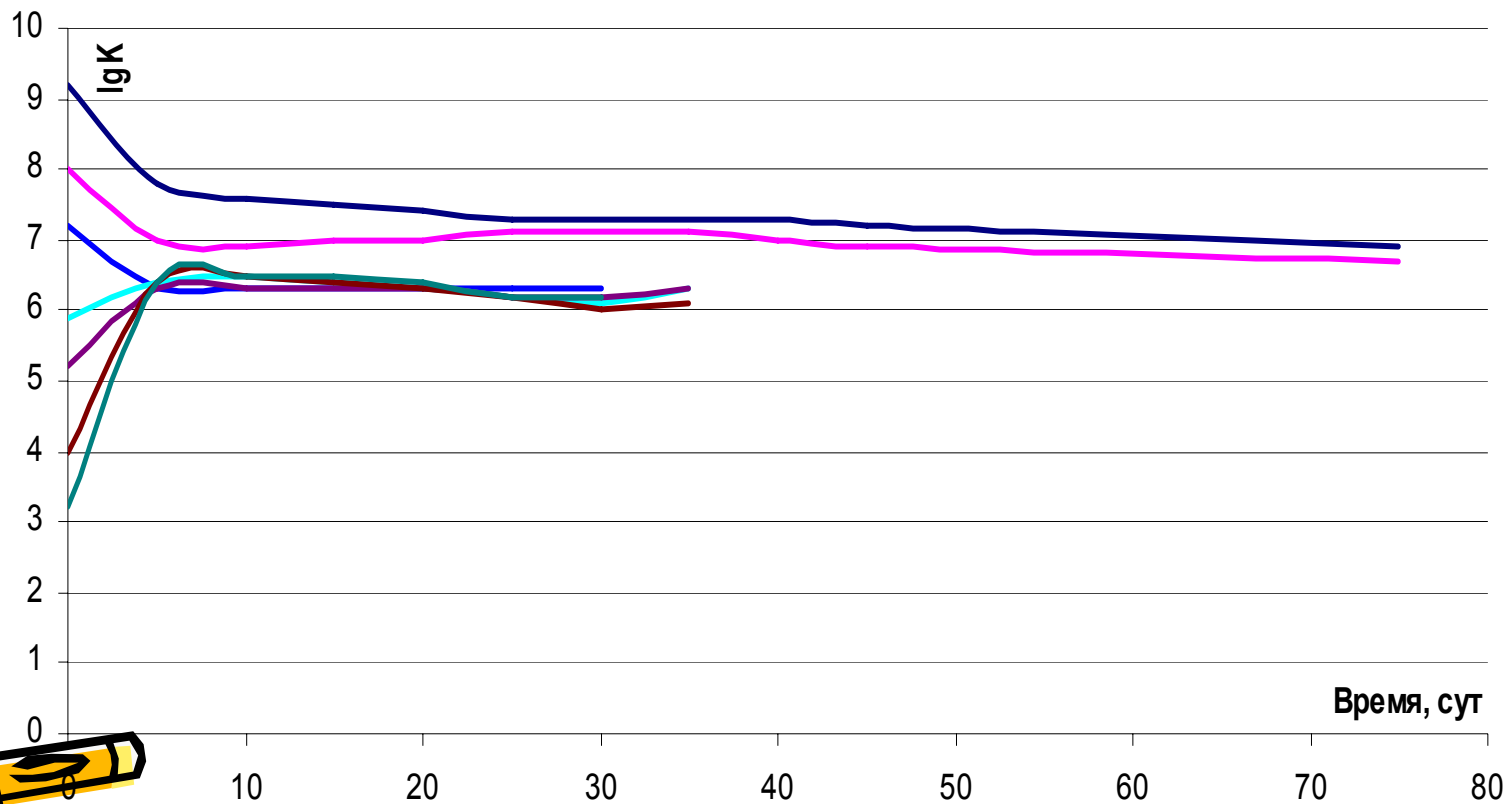
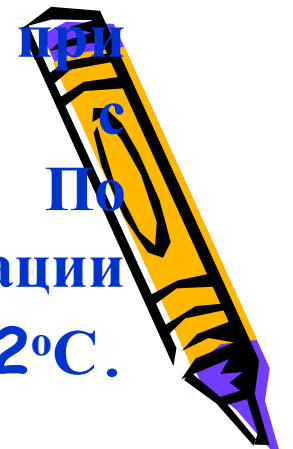


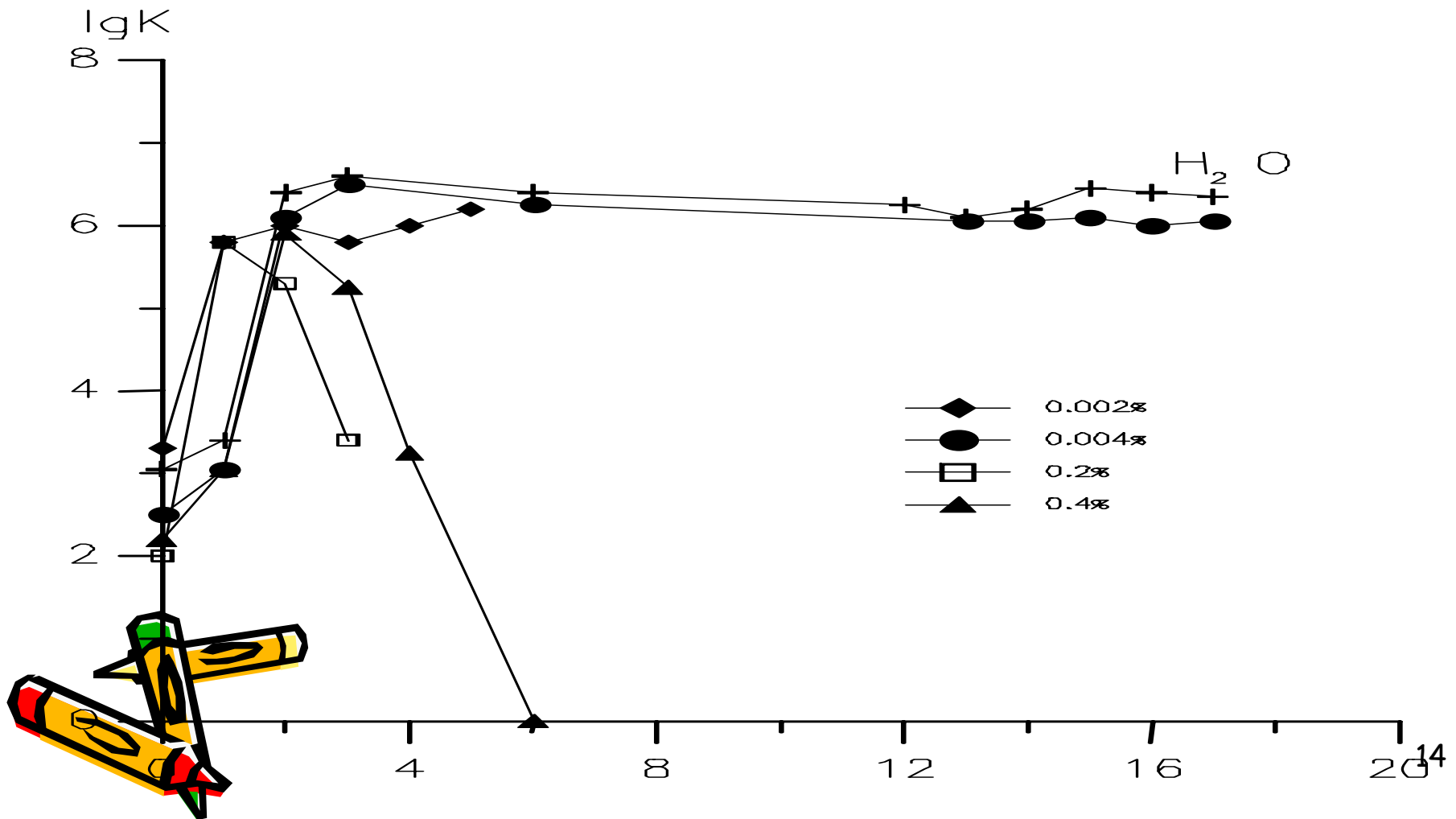
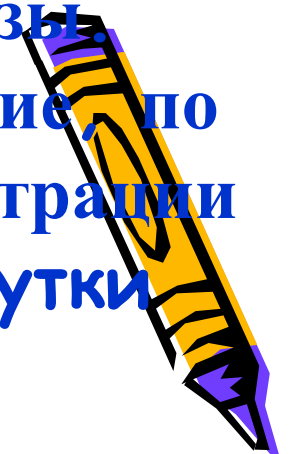
Рис.1.1.4. Динамика популяций при инкубировании в дистиллированной воде с различной начальной концентрацией клеток. По оси ординат десятичный логарифм концентрации клеток в мл, температура инкубирования 22°C.



Наконец, третий интригующий факт необычного поведения популяций в дистиллированной воде – **инактивирующее действие физиологических доз субстратной органики.**



воде при различном содержании глюкозы.
Цифрами указано ее процентное содержание, по
оси ординат десятичный логарифм концентрации
клеток в мл, по оси абсцисс время, сутки



- Таким образом, вся серия представленных экспериментов свидетельствует о том, что органический субстрат не является источником энергии и вещества для синтеза новых клеток.



О МАТЕРИАЛЬНОМ БАЛАНСЕ

- Легко показать, основываясь на литературных данных, что концентрации растворенных в воде атмосферных газовых компонент CO_2 и окислов азота вполне достаточно для синтеза популяции с концентрацией 10^6 клеток в мл.
- Источником Н и О является вода, а минорные элементы фосфор, сера, Na, K и др. попадают в дистиллированную воду в результате выщелачивания стеклянной посуды.
- Соответствующие расчеты были проведены – материальный баланс не нарушался. Оставалось дело за малым – найти источник энергии.



- Основываясь на том факте, что фотосинтетические микроорганизмы способны использовать электромагнитную энергию квантов света, поставили эксперименты по инкубированию популяций в темноте и на свету. Никаких достоверных различий в динамике популяций обнаружено не было.
- Для проверки предположения об электромагнитном энергоисточнике оставалась единственная возможность – **экранировать популяции от электромагнитных волн радиодиапазона металлическим экраном.**



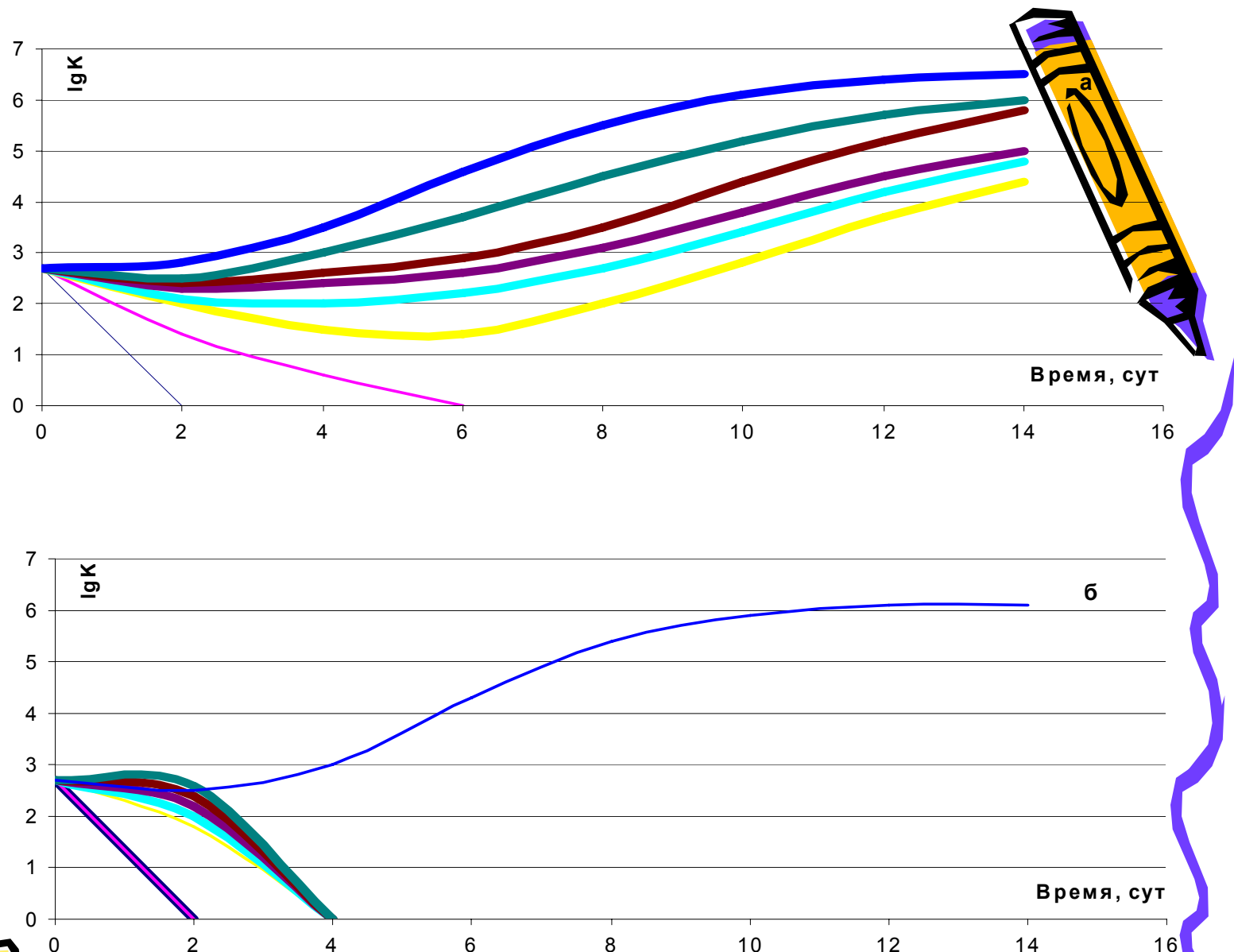
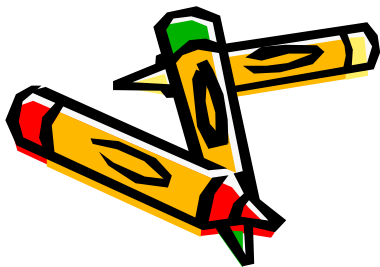


Рис. 1.1.6. Амплификация клеток *E. coli* в дистиллированной воде в обычном термостате (а) и при наличии дополнительного металла (б)

**Анализ свойств
энергоисточника,
обеспечивающего
выживаемость и
амплификацию клеток *E.coli* в
дистиллированной воде,
вплотную подводит нас к
мысли о том, что этим
источником является
электромагнитное поле.**

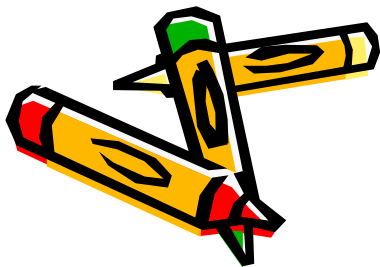


Физическое моделирование



Ниже кратко изложены основные принципы построения физической модели процесса преобразования энергии электромагнитных волн в энергию универсального внутриклеточного биохимического аккумулятора АТФ.

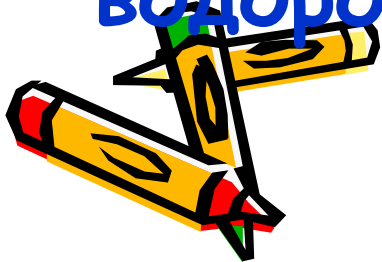
Все рутинные детали теории подробно изложены в статьях и монографии.



- Определив источник свободной энергии в виде электромагнитного поля, необходимо определить и механизм его рецепции клетками. Естественным претендентом на роль приемника энергии электромагнитного поля в клетках, может быть бислойная липидная мембрана, которая способна аккумулировать энергию поля в виде электрического заряда. При обратном процессе разрядки мембраны, сопряженном с ферментативным синтезом АТФ за счет этой энергии, клетка получает свой универсальный энергоисточник. Известно, что синтез АТФ из АДФ и неорганического фосфата осуществляется, в том числе ферментативным аппаратом, использующим энергию протонного трансмембранного потенциала



- Водную среду можно рассматривать как ионную плазму в конденсированной среде, в которой присутствуют при нормальном $pH=7.0$ ионы H^+ и OH^- в равной концентрации $n_H = [H^+] = [OH^-] = 6 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$. В отличие от газовой и твердотельной плазмы в металлах и полупроводниках, в которых свободными носителями заряда являются электроны, в воде эту роль выполняют ионы водорода, способные свободно перемещаться по трехмерной сети водородных связей.



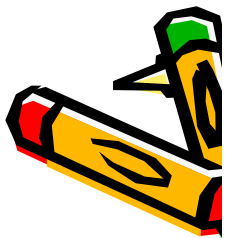
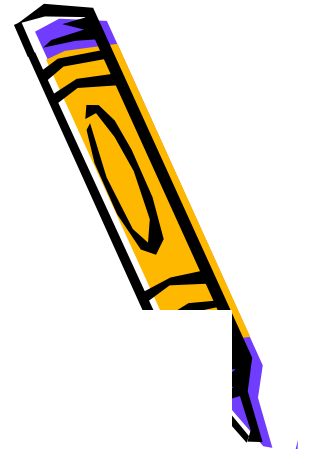
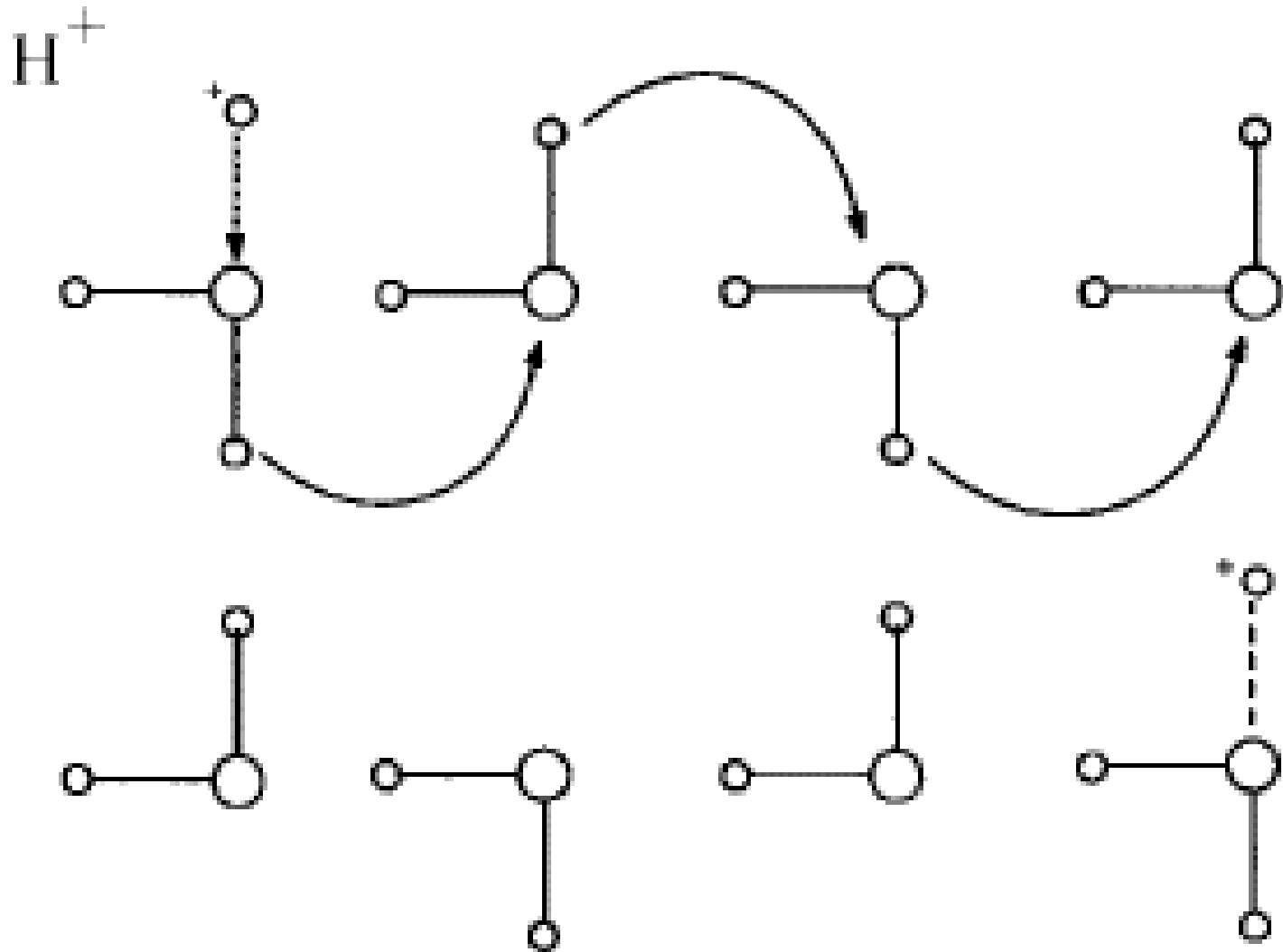
- Легко показать, что длина свободного пробега протона в дистиллированной воде может достигать 7×10^{-4} см. Эта величина определяется по формуле Больцмана

$$L = \frac{V_o e^{\frac{U_H}{kT}}}{\pi r_H^2 N_o}$$

- и намного превышает молекулярные масштабы.
- Выполнение этих условий позволяет использовать модель конденсированной плазмы, в которой ионы водорода, могут свободно перемещаться по сети водородных связей.



Grotthus chain mechanism

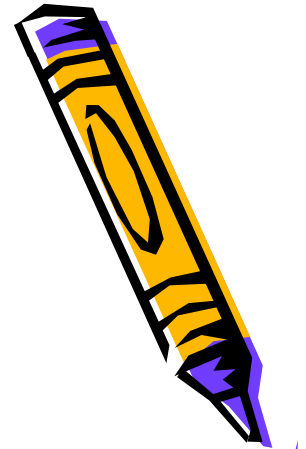


- Кроме того, такая трактовка не противоречит известному эмпирическому факту - необычайно высокой подвижности протона, величина которой как минимум в пять раз превышает теоретически возможную подвижность, если считать, что протон связан только с одной молекулой воды в виде иона гидроксония H_3O^+ .
- Собственная плазменная или Лэнгмюровская резонансная частота, на которой протон можно разгонять внешним электромагнитным полем:

$$v_0 = q(n_H / \pi m \epsilon)^{1/2}$$



**Численные
расчеты
показывают что**



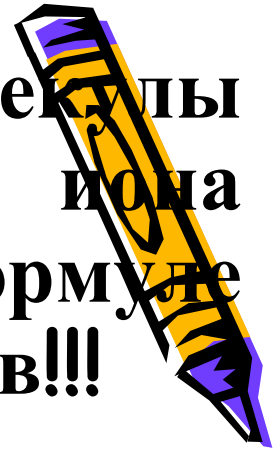
- При нейтральном pH=7 резонансная частота равна $\nu_o = q(n_H / \pi t \epsilon)^{1/2} = 1.8 \times 10^8 \text{ Гц}$, что соответствует 180 МГц, то есть радиодиапазону!!! электромагнитных волн.
- На основании предложенной модели можно показать, что трансмембранный потенциал однозначно определяется только физико-химическими свойствами воды!



$$\varphi \leq \frac{qn_H \nu_o}{\epsilon r_H} \left(\frac{2\nu_o}{3\nu_H} \right) e^{\frac{2U_H}{kT}},$$

- где $v_o = V_o / N_o$ - объем одной молекулы воды, $v_H = 4\pi r_H^3 / 3$ - объем иона водорода. Равенство в этой формуле достигается при $pH=7$, тогда $\phi=0.1$ в!!!

- Численные значения параметров, характеризующих свойства воды, «удивительным» образом оказались близки именно к таким величинам, какие требуются для выполнения необходимых и достаточных условий для сохранения жизнеспособности и размножения микроорганизмов в воде. В формуле нет свободных параметров, допускающих произвол в численных оценках.



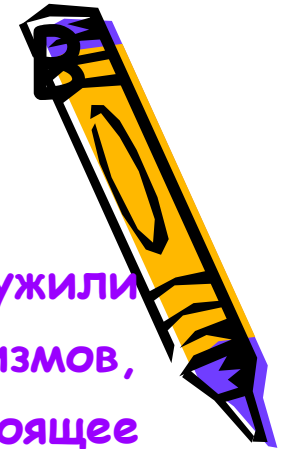


- Я больше не буду утомлять уважаемых коллег тонкостями физических и математических выкладок. Скажу только, что они более подробно приведены и проанализированы в опубликованных статьях и в подготовленной к публикации монографии.
- Как вы убедились из моего краткого доклада монография наполовину насыщена биологическим экспериментальным материалом, а наполовину интерпретацией его с точки зрения физики радиоволн, химии воды и биологии клетки.



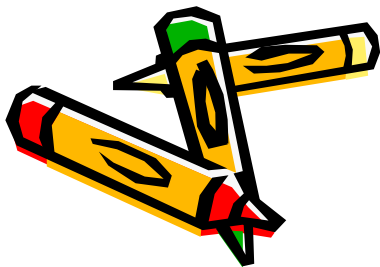
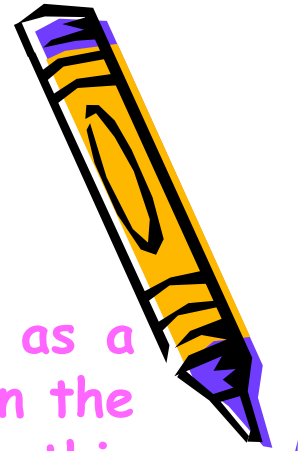
ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ В ГРОЗОВОМ ОБЛАКЕ

- Коацерватные капли Опарина [1] длительное время служили прообразом первичных клеток микроорганизмов, появившихся на Земле 4 – 4.5 млрд лет назад. В настоящее время этот образ имеет лишь историческую ценность, так как его конструктивное начало было сформулировано в рамках классической термодинамики 20-х годов прошлого столетия. По современным представлениям трансформация хаоса в порядок и возникновение сложных молекулярных структур возможны лишь в условиях, далеких от термодинамического равновесия. Однако, для этих условий пока не сформулирована новая парадигма, сопоставимая с опаринской идеей естественного происхождения жизни и эвристическая роль коацерватной капли, по-прежнему, остается привлекательной

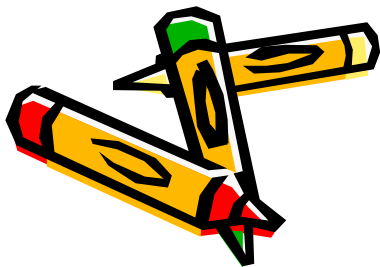


Chemical Evolution in a Thunderstorm Cloud

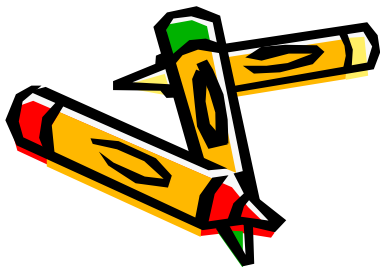
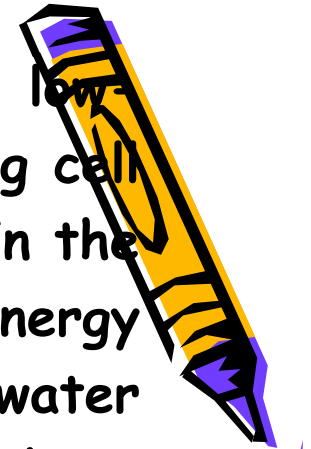
- Oparin's coacervate droplets [1] have long served as a prototype of primary microbial cells that appeared in the Earth 4 to 4.5 billion years ago. At present, this concept is only of historical value because its constructive principles were formulated in the 1920s in terms of classical thermodynamics. According to the modern views, the transformation of chaos into order and the appearance of complex molecular structures are possible only under conditions far from thermodynamic equilibrium. However, no new paradigm commensurable with Oparin's idea of the natural origin of life has been formulated so far for these conditions, and the heuristic role of a coacervate droplet still remains attractive.



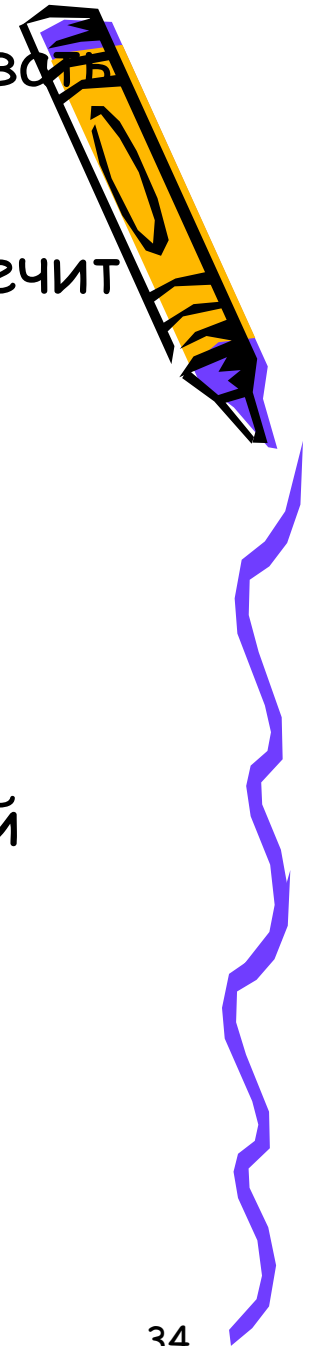
- В статье излагается гипотеза о возможности синтеза низкомолекулярных органических молекул - предшественников компонентов живой клетки - из неорганических окислов в присутствии переменного электромагнитного поля как источника энергии. Этот синтез может быть реализован в каплях воды, парящих в грозном облаке первичной атмосферы Земли или другой планеты. Как известно, при разряде молний возбуждается широкий спектр электромагнитных волн. Последние, в свою очередь, могут возбуждать лэнгмюровские колебания протонов в каплях воды. Молекулярный механизм этого процесса подробно описан в наших работах [2, 3].



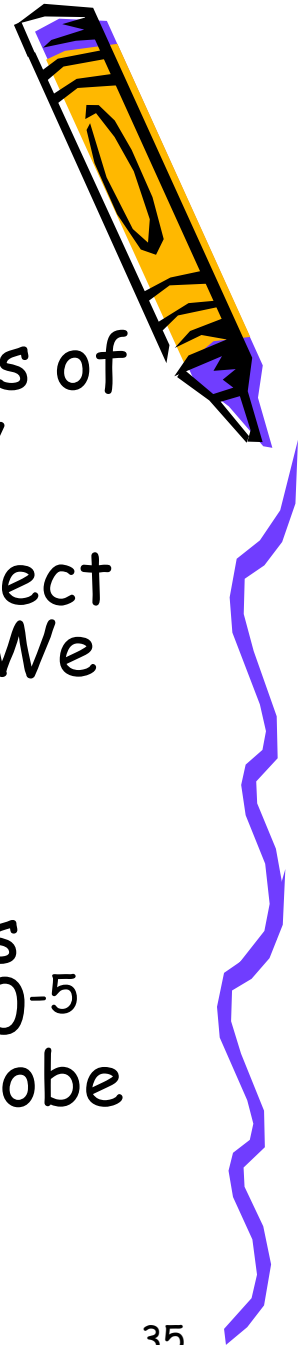
- This paper advances the hypothesis stating that low-molecular-weight organic compounds, precursors of living cell components, may be synthesized from inorganic oxides in the presence of alternating electromagnetic field as an energy source. This synthesis can be implemented in the water droplets hovering in a thunderstorm cloud of the Earth or another planet prebiotic atmosphere. A stroke of lightning is known to excite a broad spectrum of electromagnetic waves. These, in turn, can excite the Langmuir vibrations of protons in water droplets. The molecular mechanism of this process has been described in detail [2, 3].



- Для удобства моделирования будем рассматривать идеальный случай - лэнгмюровские колебания протонов в среднем обладают сферической симметрией. Данная идеализация не противоречит физике процесса - так как объект является сферически симметричным, то геометрия стационарных колебательных процессов, протекающих в нем также должна иметь сферическую симметрию. Другими словами, будем считать, что форма лэнгмюровских колебаний представляет собой периодическое сгущение и разряжение протонов в центральной зоне капли. Будем рассматривать процессы в каплях радиуса $R_0=0.5$ мкм, что соответствует среднему размеру микроорганизмов.



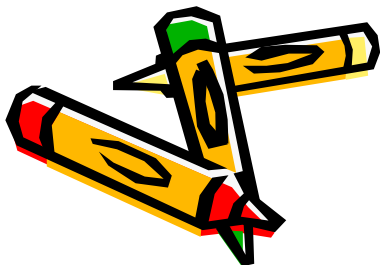
- For the convenience of simulation, we will consider the ideal case, namely, that the Langmuir proton vibrations possess, on average, a spherical symmetry. This idealization does not contradict the physics of the process: since the object is spherically symmetrical, the geometry of stationary vibration processes taking place in this object should also possess a spherical symmetry. We will assume that the form of the Langmuir vibrations is represented by periodic thickening and thinning of protons in the central area of the droplet. We will discuss processes in droplets whose radius $R_0=5 \times 10^{-5}$ cm, which corresponds to the average microbe size.



- Легко показать, что средняя энергия u_H , которую приобретает протон при формировании сферического сгустка в центральной зоне радиуса R капли равна:

$$u_H = \frac{2\pi n_H R^2 q^2}{\varepsilon} \left(\frac{R_o^3}{R^3} - 1 \right)$$

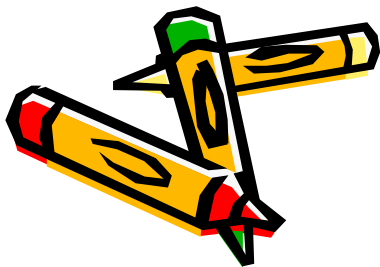
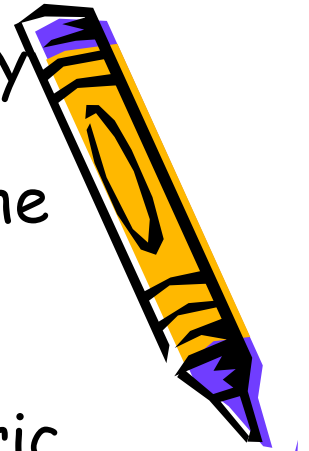
- где q - заряд протона, ε - диэлектрическая проницаемость, n_H - концентрация протонов. Численная оценка энергии протонов при $R=R_o/2$ и концентрации протонов $n_H \geq 6 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ (это соответствует $\text{pH} \leq 4$) составляет $u_H \geq 3$ эВ. Энергия активации большинства гомогенных химических реакций лежит в диапазоне 1-3 эВ, поэтому в центральной зоне радиуса $R=R_o/2$ энергии протонов достаточно как для активации реакций синтеза, так и для обеспечения собственно синтеза.



- It can be easily shown that the average energy u_H acquired by a proton upon the formation of the spherical clot in the droplet central area having the radius R amounts to

- $$u_H = \frac{2\pi n_H R^2 q^2}{\epsilon} \left(\frac{R_0^3}{R^3} - 1 \right)$$

- where q is the proton charge, ϵ is the dielectric constant, and n_H is the proton concentration. The numerical estimate of the proton energy at $R=R_0/2$ and for the proton concentration $n_H \geq 6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (this corresponds to $\text{pH} \leq 4$) gives $u_H \geq 3 \text{ eV}$. The activation energies of most homogeneous chemical reactions fall in the 1-3 eV range; therefore, in the central area with the radius $R=R_0/2$, the energy of protons is sufficient both for activating the reactions and for the synthesis itself to proceed.



- Далее рассмотрим динамику синтезированных *de novo* молекул с учетом их физико-химических свойств: *наличия дипольного момента, заряженных или алифатических групп.* Молекулы, обладающие собственным дипольным моментом, будут втягиваться в центральную зону капли из-за неоднородности центрально-симметричного поля лэнгмюровских протонов.

- Максимальный размер молекул, сконцентрированных вблизи центра, можно оценить из их времени вращательной релаксации τ при условии, что лэнгмюровская частота $\omega_L = q(4\pi n_H / m\epsilon)^{1/2}$ и $\tau = \pi \eta a^3 / 6kT$ (здесь m - масса протона, η - вязкость воды, kT - тепловой фактор) связаны соотношением $\omega_L \tau < 1$. При этом условии диполи молекул успевают изменять ориентацию синхронно со сменой заряда в центральной зоне и, следовательно, испытывать однонаправленное к центру капли притяжение:

$$a \leq \left(\frac{6kT}{\pi \eta q} \right)^{1/3} \left(\frac{\epsilon m}{4\pi n_H} \right)^{1/6}$$

- Численная оценка дает значение $a \leq 6^\circ \text{A}$. В этот диапазон укладываются размеры всех основных низкомолекулярных *posterior* молекул микроорганизмов.



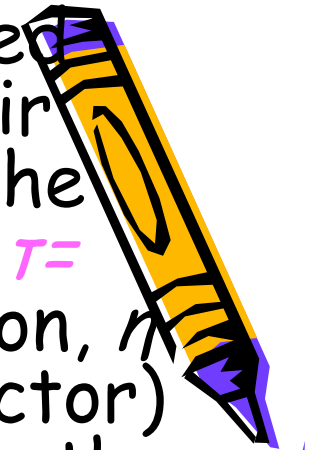
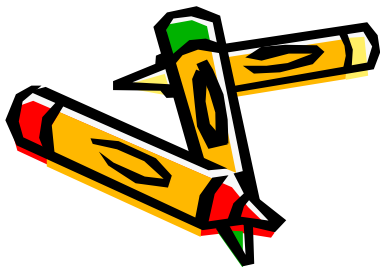
- Further we will consider the dynamics of the *de novo* synthesized molecules with allowance for their physicochemical properties, namely, the presence of a dipole moment and charged or aliphatic groups. The molecules possessing an intrinsic dipole moment will be drawn into the central area of the droplet due to the nonuniformity of the centrosymmetrical field of the Langmuir protons. The maximum size of molecules concentrated near the center can be estimated from their rotational relaxation time τ provided that the Langmuir frequency $\omega_L = q(4\pi n_H/m\epsilon)^{1/2}$ and $\tau = \pi\eta a^3/6kT$ (where m is the mass of the proton, η is the water viscosity, kT is the thermal factor) are related as $\omega_L\tau < 1$.



- The maximum size of molecules concentrated near the center can be estimated from their rotational relaxation time τ provided that the Langmuir frequency $\omega_L = q(4\pi n_H / m\epsilon)^{1/2}$ and $\tau = \pi\eta a^3 / 6kT$ (where m is the mass of the proton, η is the water viscosity, kT is the thermal factor) are related as $\omega_L \tau < 1$. If this condition holds, the molecule dipoles have time to change orientation simultaneously with the change of the charge in the central area and, hence, they are all attracted to the droplet center

- $$a \leq \left(\frac{6kT}{\pi\eta q}\right)^{1/3} \left(\frac{\epsilon m}{4\pi n_H}\right)^{1/6}$$

- The numerical estimate gives $a \leq 60 \text{ \AA}$. The sizes of all most important low-molecular-mass polar molecules of microorganisms fit in this range.





- Стационарную концентрацию таких молекул в центральной зоне капли оценим из условия **равенства осмотического и электрического давлений**:

- $$n = n_H \left(\frac{R_o}{R} \right)^3 \frac{4qd}{3\sqrt{2}\epsilon a^2 kT}$$

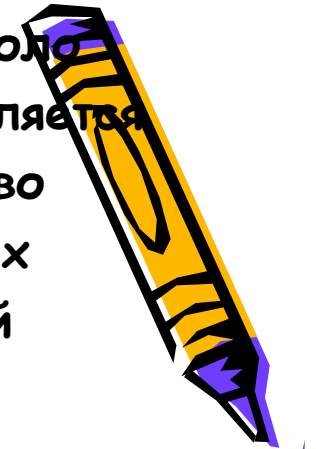
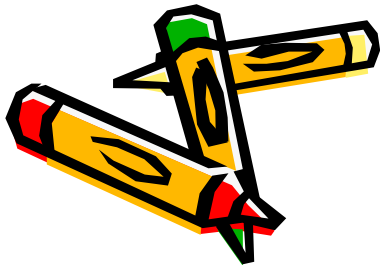
- где d - дипольный момент молекулы. Так для глицина равновесная концентрация при **pH=4** достигает величины **$n \approx 10 n_H \approx 1 \text{ mM}$** , что соответствует средней концентрации биохимических субстратов в клетке микроорганизма.



- При указанном pH частота колебаний протонов составляет около 6×10^9 Гц. Если считать, что при каждом колебании осуществляется хотя бы один акт химической реакции синтеза, то в секунду во всем объеме капли осуществляется приблизительно 10^{14} таких реакций. Для сравнения - органический состав бактериальной клетки *E. coli* содержит всего $N_c \approx 10^{10}$ атомов углерода. Предполагая, что внутри капли происходит полное химическое преобразование CO_2 , оценим время t накопления органического углерода. Считаем процесс диффузии стационарным, тогда:

- $$t = \frac{N_c}{8\pi D_c n_c R_o}$$

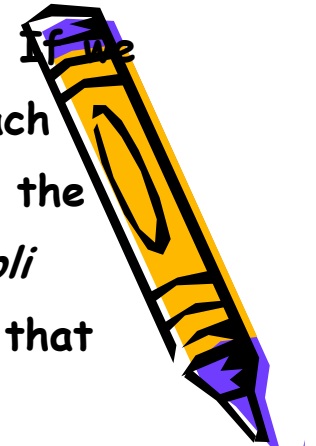
- здесь n_c и D_c - равновесная концентрация и коэффициент диффузии CO_2 в воде. Численная оценка времени составляет $t \approx 1$ сек ($n_c \approx 5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ - здесь учтено, что при pH=4 в водяной капле, концентрация CO_2 в атмосфере должна на два порядка превышать современное содержание углекислоты в атмосфере).



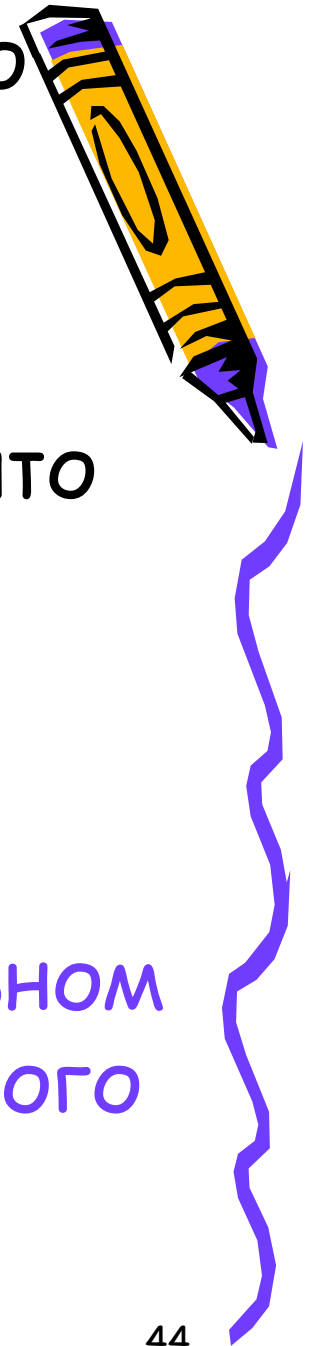
- At the given pH, the frequency of proton vibrations is about 6×10^9 Hz. If we assume that at least one chemical synthesis event takes place during each vibration, about 10^{10} chemical steps occur throughout the whole bulk of the droplet per second. For comparison, the organic composition of the *E coli* bacterial cell contains, on the whole, $N_C \approx 10^{10}$ carbon atoms. Assuming that CO_2 undergoes complete chemical transformation within the cell, we can estimate the time t of accumulation of organic carbon. If diffusion is considered as a steady-state process, then

$$t = \frac{N_C}{8\pi D_C n_C R_o}$$

- where n_C and D_C are the equilibrium concentration and the diffusion coefficient of CO_2 in water. The numerical estimate of time gives $t \approx 1$ sek ($n_C \approx 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$; here we take into account the fact that for pH = 4 in a water droplet, the CO_2 concentration in the atmosphere should exceed the today's carbon dioxide content in the atmosphere by two orders of magnitude)

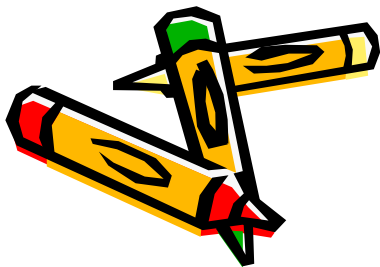


- Из приведенных оценок следует, что лимитирующей стадией в процессе синтеза органики в капле является скорость поступления CO_2 из атмосферы. Кроме того, очевидно, что даже если не каждый акт взаимодействия протона с растворенным окислом приводит к химической реакции, **накопление органики в рассматриваемом капельном реакторе происходит за времена, много меньшие геологических масштабов.**



А следовательно...

- Модель верифицируема в лабораторных условиях в реальном времени и не нужно ссылаться на то, что за сотни миллионов и уж за миллиарды лет что-нибудь да и произойдет.
- Да, в присутствии **жестких для ковалентных связей** источников энергии: световой и УФ, гамма и бета излучений, термоисточников, электрического разряда и других активных форм на протяжении миллионов лет многократно происходили сначала синтез макромолекул, а потом неизбежный их распад - «и никакой перспективы»



МЯГКИЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

- Наоборот, очень слабые по энергозапасу электромагнитные волны радиодиапазона способны в резонансном для водных протонов режиме вести перманентный синтез высокополимерной органики без ее последующего разрушения.
- Так и возникла жизнь 😊

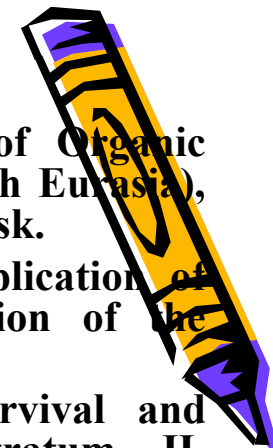


- It follows from the given estimates that the rate of CO_2 ingress from the atmosphere is the rate-determining step in the synthesis of organic compounds in a droplet. In addition, it is obvious that even in the case where a proton interaction event with the dissolved oxide does not always result in a chemical reaction, the accumulation of organic matter in the drop reactor considered here takes place over periods of time much shorter than geological periods.



Список основных публикаций

1. Gusev, V.A. 2000. Multiplication of Heterotrophs in the Absence of Organic Substratum. BDENE (Biodiversity and Dynamics of Ecosystems in North Eurasia), Novosibirsk, Russia, August 21-26, 2000, v.1, p. 170-173. IC&G, Novosibirsk.
2. Gusev V.A. 2001. On the Source of Energy for Survival and Multiplication of Heterotrophs in the Absence of Organic Substratum. I. Formulation of the Hypothesis. //Biophysics (Rus), v. 46, N5, pp. 862-868.
3. Gusev V.A., Neigel N.J. 2001. On the Source of Energy for Survival and Multiplication of Heterotrophs in the Absence of Organic Substratum. II. Varification of the Hypothesis. //Biophysics (Rus), v. 46, N5, pp. 869-874.
4. Gusev V.A. 2001. On the Source of Energy for Survival and Multiplication of Heterotrophs in the Absence of Organic Substratum. III. The Necessary and Sufficient Condition. //Biophysics (Rus), v. 46, N5, pp. 875-878.
5. Gusev V.A. 2002. Chemical Evolution in a Thunderstorm Cloud. //Dokl. RAN (Rus), v. 385, N3, pp. 352-354.
6. Gusev V.A. 2002. Chemical and Prebiological Synthesis in the Droplets of Thunderstorm Cloud. //Proceedings of the Second European Workshop on Exo/Astrobiology Graz, Austria, 16-19 September 2002, pp. 205-208.
7. Gusev, V.A. 2003. Survival and multiplication of heterotrophs in the absence of organic substratum. //Frontiers of Life. Ed. By L.M. Celnikier, J. Tran Thanh Van. The Giol, Vietnam, 2003, pp. 141-143.
8. Gusev, V.A. 2003. Spontaneous mutational back-ground of microorganisms in the absence of substrate. //Biophysics (Rus.), v. 48(2), pp. 265-272, 2003.
9. Victor A. Gusev and Dirk Schulze-Makuch. 2005. Low frequency electromagnetic waves as a supplemental energy source to sustain microbial growth? *Naturwissenschaften*. Volume 92, N3, March 2005. P.115-120.
<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00114-004-0594-9>



В заключение пролистаю» слайды с выводами, их много, поэтому прокомментирую только некоторые, наиболее важные с моей точки зрения.



1. Сформулирована концепция электромагнитного источника свободной энергии, используемого гетеротрофными микроорганизмами в отсутствие органического субстрата.
2. Разработана физическая модель использования клетками микроорганизмов энергии внешнего электромагнитного поля радиочастотного диапазона, возбуждающего лэнгмюровские колебания водных протонов.
3. Предложен молекулярный механизм трансформации энергии возбужденных протонов в электрическую энергию цитоплазматической мембраны и далее в энергию АТФ.



- 4. Выведено аналитическое соотношение, связывающее трансмембранный потенциал микроорганизмов с физико-химическими свойствами воды.
- 5. Экспериментально установлено, что после адаптации клеток к субстратному голоду и переходе на указанный источник энергии, происходит существенная перестройка внутриклеточного метаболизма, в результате которой естественный органический субстрат глюкоза воспринимается клетками как токсичное инактивирующее соединение.



Экспериментальная часть работы выполнена в НПО «Вектор», Кольцово Новосибирской области, НИБХ СО РАН, ИЛФ СО РАН (г. Новосибирск), а так же в ИБФМ РАН (г. Пущино). Теоретические исследования и математическое моделирование проводились в ИМ им. С.Л. Соболева СО РАН (г. Новосибирск).



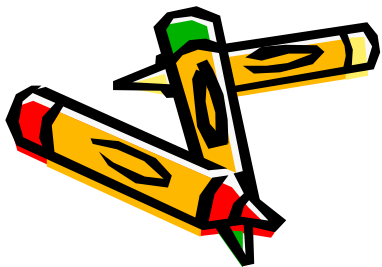
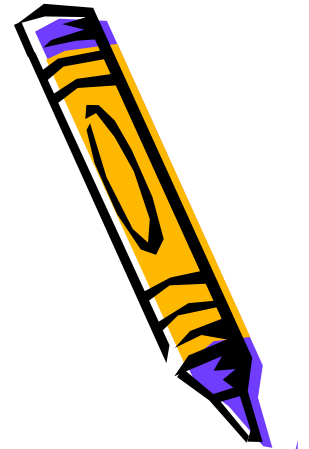
Благодарности



- *Непосредственным участникам экспериментов:* Вороновой Т., Бобровской-Нейгель Н., Камыниной Т., Белкиной А., Бутцевой И.
- *Критикам, экспертам, консультантам:* акад. Н. Колчанову, М. Лаврентьеву, проф. А. Груздеву, Е. Головлеву, С. Шнолю, а также В. Велькову и Dr. D. Schulze-Makusch.
- *Финансовая поддержка:* РФФИ гранты 02-02-16499-а, 03-02-17673-а, 05-02-17710-а, 06-02-16897-а, 07-01-00331-а, интеграционные гранты СО РАН №148 и №83.



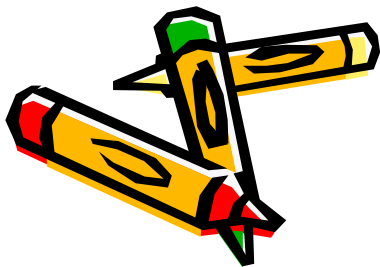
**Thanks many!
Have you any question,
please?**



- Для начала оценим радиус Дебая или размер зоны экранирования электрического поля иона водорода в воде оценим по формуле:

$$(2.2.4) \quad r_D = \left(\frac{\varepsilon k T}{4\pi n_H q^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, q – заряд иона, ε – диэлектрическая постоянная воды.



- Расчет численных значений радиуса Дебая протона при $T = 300^\circ\text{K}$ для нейтрального $\text{pH} = 7.0$ дает величину $1.4 \times 10^{-4} \text{ см}$. Это значение много больше толщины цитоплазматической мембраны клетки $h \approx 8 \times 10^{-7} \text{ см}$, следовательно, на этом масштабе неизбежно будут возникать зоны нескомпенсированного электрического заряда.



Population dynamics of *E. coli* in tetra-distilled water, upper regression using an ordinary thermostat, lower regression line using a permalloy chamber.

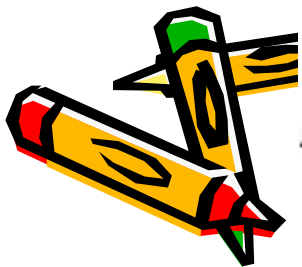
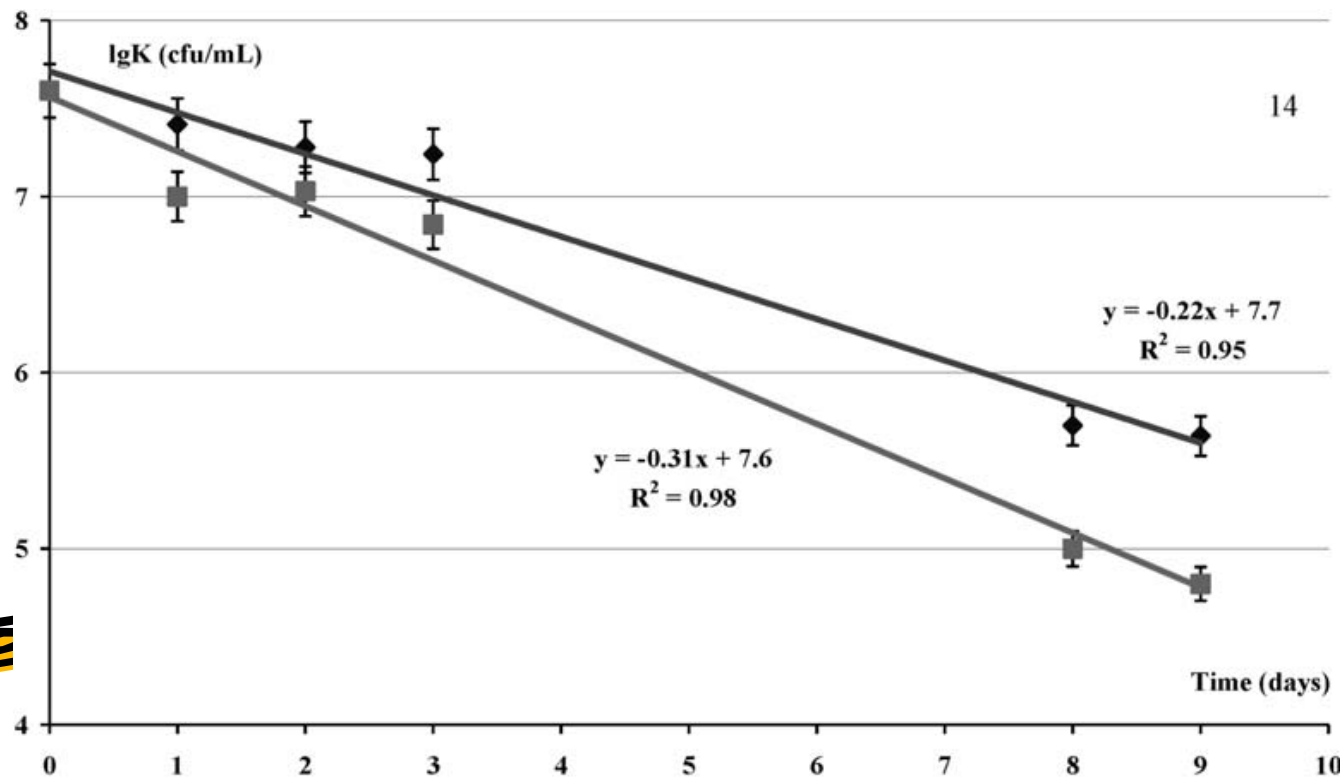
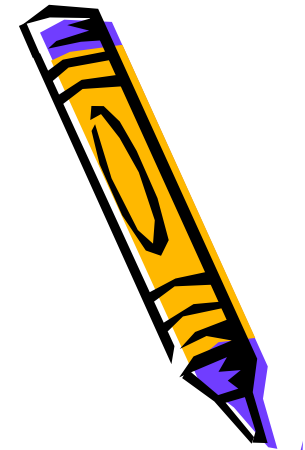


Рис.1.3.6. Групповое распределение популяций по эффективности роста после суток инкубирования в дистиллированной воде. Цифры по оси аппликат соответствуют концентрации в мкл жизнеспособных клеток в ячейках

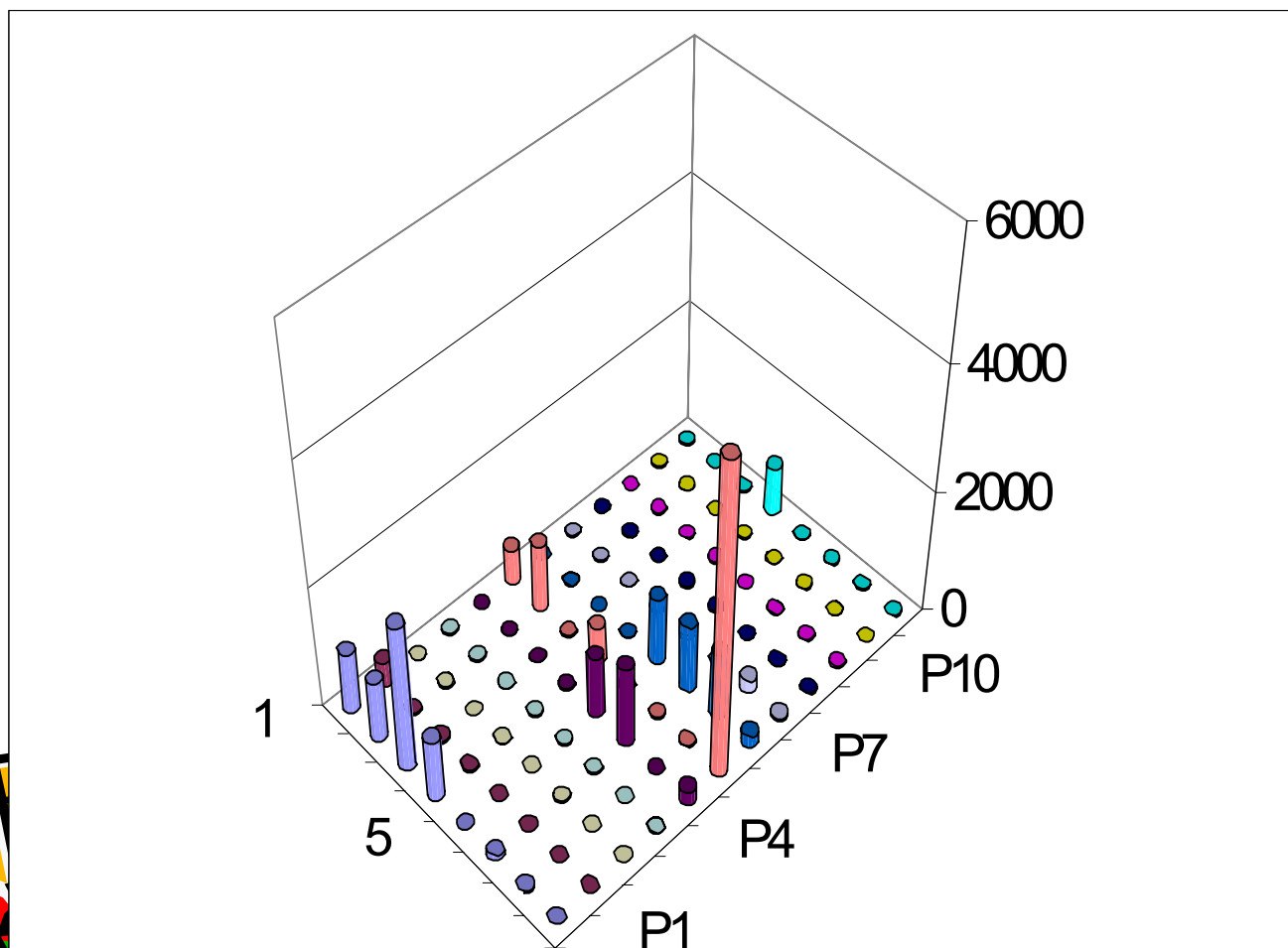


Рис.1.1.6. Распределение спонтанных мутантов по длине тefлонового капилляра, содержащего водную суспензию клеток *E.coli*. По оси ординат нормированные значения величин: кривая 1 – относительный мутационный фон клеток с Rif⁺ фенотипом (коэффициент нормировки 10⁻⁹), кривая 2 – общая концентрация клеток (коэффициент нормировки 10⁹).

Рис. 1.1.6

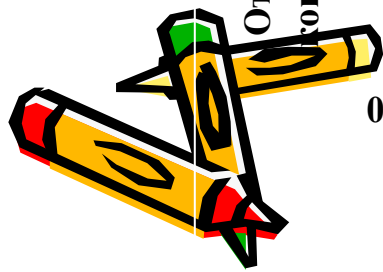
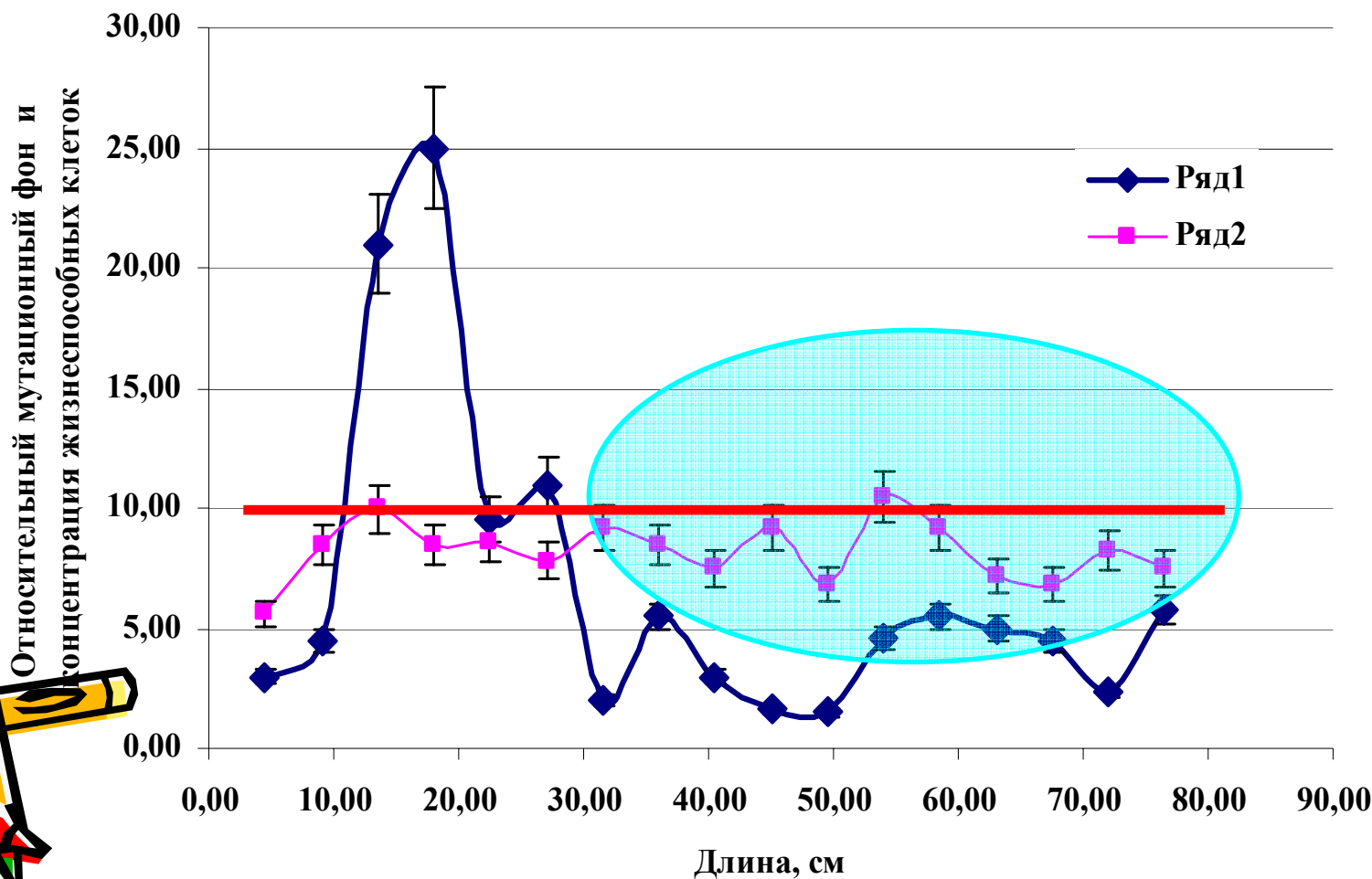
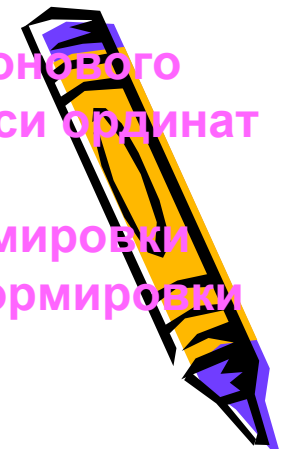


Рис.1.1.4. Динамика популяций при инкубировании в дистиллированной воде с различной начальной концентрацией клеток. По оси ординат десятичный логарифм концентрации клеток в мл, температура инкубирования 22°C.

