

Heliogeophysical effects of nonlocality – shadows of the future in the present

C.M. TO Orotayev

Doctor of Physical and Mathematical Sciences

(Received August 12, 2004; published August 13, 2004)

There is reason to believe that, contrary to popular belief, the phenomenon of nonlocality can reach the macro level, leading to the correlation of practically isolated dissipative processes. Although there is no consistent theory for such output, a heuristic model that can be tested experimentally can be proposed. Such experiments have been carried out. The presence of nonlocal correlations of large-scale natural processes with test laboratory processes was discovered. Their most interesting property turned out to be the presence of a leading lag, which allows, in a sense, to “see” the future uncontrolled by the observer.

Strange correlations

Over the past decades, geophysics and astrophysics have accumulated a number of statistically reliable facts about the dependencies of remote irreversible processes of various natures, which can have neither direct nor indirect connections based on known (electromagnetic and gravitational) interactions. This includes, for example, the non-tidal component of the dependence of the seismicity of the Earth and the Moon, the dependence of the rate of some physicochemical reactions on solar activity, the dependence of the rate of geological sedimentation on the same solar activity, the dependence of variations in cosmic ray muons and the natural radioactivity of rocks [1,2]. Such correlated processes can have a very different nature; the only thing they have in common is their significant dissipativity (irreversibility).

These strange correlations were discovered by scientists of various specialties - astronomers, physicists, chemists, geologists, geophysicists and remained isolated for a long time, since they remained known to a disunited narrow circle of specialists. In recent years, a “critical mass” of facts has been reached, their commonality has become visible, and thus the need for targeted study has intensified. Three approaches emerged.

The first approach: “the mechanism of correlations is unknown, but not new.” By “unknown” some “weak low-frequency electromagnetic field” was assumed. It is characteristic that this assumption was put forward precisely by non-specialists in the electromagnetic field. As a specialist in the electromagnetic field, I have more than once had to deal with the fact that many people tend to associate everything mysterious and incomprehensible with it. Probably, the roots of such associations go back to Messmer with his “animal magnetism.” In our case, it is obvious to a specialist that there can be no talk of communication between remote non-electromagnetic processes through a weak, sometimes accompanying, electromagnetic field. This field is often hopelessly weak even for measurement, not to mention the fact that it could influence anything. And such influence on radioactive processes is in principle excluded.

The second approach is most clearly represented by S.E. Shnolem, who declares after Newton: “I do not invent hypotheses.” Over the course of half a century, S.E. Shnol and his team conducted a huge amount of research that proved the connection between fluctuations of various *isolated* laboratory irreversible processes among themselves and with cosmophysical factors [3]. This path has now been successfully completed, the reliability of the connections has been proven, and the question of their physics has arisen with particular urgency.

The third approach is the search for a fundamentally new mechanism for connecting isolated dissipative processes. The logic of this approach is as follows: observational astrophysical and geophysical data can only suggest the existence of such a mechanism; then, based on certain postulates, a theory must be developed that predicts certain consequences that are subject to experimental verification. If the mentioned correlations of processes are among these consequences, then the mechanism has been found. This approach is associated primarily with the name of N.A. Kozyrev [1]. Although the main observational motive for starting to build a theory, which he called causal mechanics, was not the very correlations that interest us, but other intriguing astrophysical patterns, it is important that the “output” he got was precisely the effects of interaction of practically isolated irreversible processes. The main postulate of causal mechanics is the recognition of the fundamental asymmetry of time (absent in the generally accepted description of basic physical interactions except weak ones). This ultimately led N.A. Kozyrev came to the conclusion about the interaction of isolated irreversible processes, which was tested in an extensive series of laboratory and astrophysical experiments. Moreover, the recognition of the fundamental asymmetry of time paradoxically led to the conclusion that for processes uncontrolled by the observer there should be an interaction in reverse time, which was also confirmed experimentally [4-6]! The results were so unexpected that they met with a generally negative reaction. One of the reasons was doubts about the purity of his experiments (although no one took the trouble to check them). The situation began to change, as usual, after the death of the author. Experiments by N.A. Kozyrev were successfully reproduced in various laboratories around the world. However, doubts about their purity remained. Indeed, most of N.A.’s experiments Kozyrev’s position was clearly not strict, but his followers remained at the same (or worse) level. Therefore, although until the mid-90s the possible causal-mechanical nature of strange correlations of isolated processes was repeatedly discussed in scientific classrooms, the question remained open.

The purpose of the study, carried out at the Institute of Geoelectromagnetic Research of the Russian Academy of Sciences (IGEMI), was to test the hypothesis about the causal-mechanical nature of the correlations of some heliogeophysical processes. The basis for such a test was to be a full-scale experiment conducted at the modern level of rigor.

Hypothesis formulation

Before conducting an experiment, it was necessary to very clearly formulate the hypothesis being tested. It is not enough to simply assume the presence of a new interaction; this assumption must be associated with the concepts of modern physics. The principle of correspondence must be fulfilled - the introduction into consideration of non-classical interaction must provide for a limiting transition to its absence in the classics.

Results N.A. Kozyrev and his followers (D. Savage, M.M. Lavrentiev, etc., for example, [7,8]) can be summarized in the following provisions:

1. There is a fundamentally new type of interaction between irreversible processes of any nature.
2. This interaction transfers energy, angular momentum, but not momentum.
3. Interaction energy is directly related to entropy production and is inverse to the square of the distance.
4. The interaction is shielded by the substance, but the shielding properties of the substance differ from these properties for the electromagnetic field.

5. Interaction can occur with a delay, instantly and with a symmetrical advance.

Having written out these provisions, we saw that with the exception of the reference to irreversibility, all this is very reminiscent of quantum nonlocality - an effect that goes back to the Einstein-Podolsky-Rosen paradox (proposed by them in the forever famous disputes about the consistency of quantum mechanics). The essence of the effect is that particles scattered to any distance and having a common wave function, i.e. those in an entangled state are capable, without the mediation of any intermediate media, of exchanging information through a space-like interval, i.e. at superluminal speed. True, in order to decipher this information, it is necessary, in addition to this new *non-local* channel for its transmission, to have a classical (local, sub-light) channel. The nonlocality effect has been brilliantly confirmed in many experiments and is currently being intensively studied, including in connection with practical applications. The time symmetry of quantum correlations was predicted - entangled states not only *after* the local interaction of particles but also *before* it [9]. Despite the noticeable similarity with the Kozyrev interaction, there is an important *but* : until recent years, it was believed that nonlocality was observed only at the level of individual particles, but could not be noticed at the macro level. However, recently, theoretical developments by various scientists, primarily Indian physicists D. Homa and A. Mayumdar [10], have shown that the nonlocality effect should somehow persist in *the strong macrolimit* , although the idea of experimental verification was not proposed by them. But not only does Kozyrev interaction take place for macroscopic processes, these processes must be essentially dissipative. Meanwhile, it is known that dissipativity leads to decoherence—the destruction of quantum correlations. And only, again, quite recently, the Russian physicist A.M. Basharov showed that the dissipativity of processes in the presence of a common thermostat (which can be an electromagnetic field) plays precisely a constructive role in the formation of quantum correlations [11].

At this point it is time to make a terminological digression. Although above and below we talk about nonlocal interaction, in quantum mechanics it is customary to talk about nonlocal (quantum) correlations. The reason is that a nonlocal connection cannot exist in isolation from any of the four known fundamental interactions, so it cannot be considered the fifth (this “fifth” is also being sought, but that is a completely different story). Correlation is also not the best term, since it does not necessarily arise from the direct physical connection that occurs in the phenomenon of nonlocality. Therefore, in the English-language literature, for this kind of unusual interaction the term is now used not “ interaction ”, but “ transaction ”. Alas, the last term in Russian has already been occupied by financiers. So, in the absence of an exact Russian equivalent, we will still talk about “interaction”, where in English we would say “ transaction ”.

Quantum mechanics itself describes the effect of nonlocality, but its interpretation is a matter of debate. One of the promising interpretations was proposed by the American physicist J. Cramer [12]. He proposed an explanation of the nonlocality effect within the framework of the Wheeler-Feynman theory of direct interparticle interaction. This is the only physical theory that is consistent with experiment, providing for the existence, along with the retarded one, of an advanced field (i.e., in the literal sense, signals traveling in reverse time). As a result of the interference of the fields of all charges, the leading fields are exactly canceled out, and the only observable result of their existence is the effect of radiative attenuation. But any irreversible process is associated with the latter. This creates the precondition for explaining the most striking, last in our list, property of the Kozyrev interaction - symmetrical retardation and advance (instantaneous interaction can then be apparent - the result of interference of the retarded and advanced). The modern development of the theory of direct interparticle interaction

undertaken by the outstanding English astrophysicist F. Hoyle and the Indian J. Narlikar [13] showed that the retarded and advanced electromagnetic fields are asymmetric (and this manifests the time asymmetry postulated by N.A. Kozyrev) - the first is ultimately due be completely absorbed by the substance, but the second is not. This indicates the possibility of explaining the penultimate property of the Kozyrev interaction in our list.

The synthesis of the ideas of causal mechanics, quantum nonlocality and the theory of direct interparticle interaction allowed us to formulate a hypothesis in the form of an equation of macroscopic nonlocality:

$$\dot{S}_d = \sigma \int \frac{\dot{S}_x}{x^2} \delta\left(t^2 - \frac{x^2}{v^2}\right) dV$$

$$\sigma \approx \frac{\hbar^4}{m_e^2 c^4}, \quad v^2 \leq c^2$$

where \dot{S}_d is the entropy production in the test process (detector), \dot{S}_x is the interaction cross section, \hbar is Planck's constant, m_e is the electron mass, c is the speed of light, σ is the density of entropy production in the sources, \dot{S}_x is distance, t is time, v is effective propagation speed, integration is carried out over the volume of sources V . The δ -function shows that the interaction occurs with symmetrical delay and advance. If the interaction occurs through the medium by diffusion (through microscopic Wheeler-Feynman electromagnetic fields), then v will be small and, therefore, the resulting values of retardation and advance will be large. In the classical limit ($\hbar \rightarrow 0$) the effect disappears.

But have we gone too far when talking about anticipatory interaction? What about causality? In 1980 J. Cramer introduced a distinction between the principles of strong and weak causation. The principle of strong (or local) causation sounds like this: *the cause precedes all possible consequences*. This, in fact, is what both ordinary people and physicists usually call the "principle of causality." But here is the principle of weak causality: *a cause initiated by an observer precedes all possible consequences*. The phenomenon of quantum nonlocality violates strong causality while preserving weak causality. This means that the observer cannot send a "telegram to the past." It cannot be that any device will react to the inclusion of a source of influence before you press the power button. But if the source process is spontaneous, the reaction to its future state, unknown in advance, can be observed!

Therefore, the experiments with spontaneous processes are the most interesting; our main efforts were focused on them, and it is about them that the further story will go. Observer-initiated experiments, i.e. controlled processes are, of course, necessary for comparison, and they were also carried out, but in the context of this article I will limit myself to just mentioning them.

How to test a hypothesis

Preliminary estimates, according to our equation, showed that diverse and constantly occurring spontaneous geophysical and heliophysical processes should give a greater effect on the detector than those that are easy to create in the laboratory. It became clear why random evidence of the existence of the supposed new effect appeared in geophysics!

Задачей эксперимента является обнаружение связи изменения энтропии в некотором пробном процессе с изменением энтропии в окружающей среде в соответствии с уравнением нелокальности при исключении всех известных видов классического локального взаимодействия. Хотя в качестве пробного процесса в детекторе может использоваться любой необратимый процесс, непосредственно измеряется не энтропия, а некоторый косвенно связанный с ней наблюдаемый макропараметр. Поэтому вопрос о выборе типа детектора переходит в практическую плоскость: пробный процесс должен быть теоретически «прозрачен» (теория детектора должна позволять расчет левой части уравнения нелокальности по измеряемому сигналу и должен быть ясен полный список возможных локальных влияний на данный процесс. Детектор должен быть максимально чувствителен и, в то же время, допускать надежную экранировку от классических воздействий. Исходя из этого, в ИГЭМИ была построена установка на базе двух типов детекторов, основанных на связи энтропии с высотой потенциального барьера. В одном измерялись спонтанные вариации разности собственных потенциалов слабополяризующихся электродов в электролите (U), в другом - темнового ток фотоумножителя (I).

Источниками помех, т.е. локального воздействия, на эти детекторы являются изменения температуры, давления, электрического и магнитного поля и т.п. Эти факторы необходимо исключить, а если какой-либо из них не удастся подавить полностью, он должен контролироваться. С этой целью были предприняты многочисленные меры, в частности оба детектора были помещены в дьюары, защищены многослойной экранировкой, возможные помехообразующие факторы непрерывно измерялись как в лаборатории, так и внутри корпусов детекторов. Так, пассивное термостатирование (активное здесь непригодно), сколь бы совершенным оно ни было, не может полностью подавить вариаций температуры, поэтому детекторы были снабжены внутренними термодатчиками, непрерывно измеряющими их температуру с точностью до тысячной градуса.

Установка измеряет также некоторые геофизические параметры, отражающие интенсивность естественных необратимых процессов. В частности, с помощью квантового магнитометра велись высокоточные измерения магнитного поля.

Важна не только техника эксперимента, но и методика анализа данных. Этот анализ несложен в случае искусственных контролируемых процессов-источников или даже в случае естественных спонтанных процессов, когда последние представляют отдельные мощные кратковременные события, например, солнечные вспышки. Но, как правило, естественный процесс непрерывен, его нельзя выключить по желанию экспериментатора. В этом случае изучается корреляционная функция сигнала детектора и какого-либо характерного макропараметра процесса (индекса). При классическом локальном взаимодействии главный максимум модуля корреляционной функции будет всегда наблюдаться при запаздывании сигнала детектора (следствия) относительно индекса процесса- источника (причины). Вообще говоря, могут быть максимумы и в области опережения, но они связаны с периодической составляющей сигнала и в суммарном сигнале они всегда меньше запаздывающих. Если же опережающий максимум окажется статистически достоверно больше всех запаздывающих, значит, мы наблюдаем искомое неклассическое взаимодействие в обратном времени. Беда только в том, что хотя из теории Хойла-Нарликара действительно следует меньшая эффективность поглощения промежуточной средой опережающего поля по сравнению с запаздывающим (откуда

вытекает неклассическая асимметрия корреляций), величину отношения эффективностей теория не предсказывает. Оно может быть близко к 1, поэтому полагаться только на корреляционный анализ нельзя. Вдобавок, чаще всего измеряемый макропараметр связан с производством энтропии нелинейно, поэтому корреляционная функция искаженно характеризует зависимость процессов.

На помощь приходит метод причинного анализа. Он был создан в свое время для формализации слишком интуитивных исходных положений причинной механики Н.А. Козырева [14]. Но оказалось, что он представляет инструмент очень полезный в широком круге задач, где необходимо разбираться, что является причиной, а что – следствием. Дело в том что, несмотря на широкое применение принципа (сильной) причинности, под ним понимается только запаздывание следствия относительно причины, что же такое «следствие» и «причина» остается формально неопределенным. Однако запаздывание является необходимым, но недостаточным условием причинной связи. Даже у юристов есть формула: «Post hoc non est propter hoc» (после того не значит вследствие того). А между тем, в ряде ситуаций разница между причиной и следствием очевидно, запаздывание подразумевается, но не измеряется. Например, включилась лампочка и сработал фотоэлемент. Очевидно, что ток в цепи лампочки – причина, ток в цепи фотоэлемента – следствие. Это значит, что причинно-следственная связь асимметрична и значит *можно* определить различие между причиной и следствием, а уже потом ввести запаздывание как аксиому.

Наши интуитивные представления можно формализовать следующим образом. Положим, есть два процесса X и Y , для них можно рассчитать их безусловные $H(X)$, $H(Y)$ и условные $H(X|Y)$, $H(Y|X)$ шенноновские энтропии. Отметим, что H - энтропии уровней, в отличие от фигурирующей в уравнении нелокальности энтропии положений, иначе говоря (безразмерной) термодинамической энтропии S ; H и S имеют одинаковые математические формы, но отличаются пространствами определения вероятностей, их можно связать в рамках теории расслоенных пространств [19]. Можно определить пару *функций независимости*:

$$i_{X|Y} = H(X|Y)/H(X), \quad i_{Y|X} = H(Y|X)/H(Y), \quad 0 \leq i \leq 1.$$

$i_{X+Y} = 0$ соответствует однозначной зависимости X от Y , $i_{X+Y} = 1$ – отсутствию зависимости X от Y (последнее также влечет $i_{X+Y} = 1$). Грубо говоря, функции независимости ведут себя обратно корреляционной функции. Однако они асимметричны (в общем случае $i_{X+Y} \neq i_{Y+X}$) и универсальны – равно пригодны для любых видов нелинейной (или линейной) связи X и Y . Их асимметрию характеризует *функция причинности* g :

$$g = i_{Y|X} / i_{X|Y}, \quad 0 \leq g \leq \infty.$$

Мы *определяем*, что причиной Y и следствием X называются процессы, для которых $g > 1$. Если $g < 1$, то наоборот X - причина, Y - следствие. Если же $g = 1$, то связь X и Y не причинная (адиабатическая).

Теперь пусть t - сдвиг времени между Y и X ($t = t_Y - t_X$). Принцип сильной (локальной) причинности утверждает тогда, что если $g > 1$ то $t < 0$, если $g < 1$ то $t > 0$, если $g \approx 1$, то $t \approx 0$.

Этот подход можно обобщить и на множество процессов X, Y, Z, \dots , образующих причинную сеть [17]. Заметим, что во всех случаях, когда разграничение процессов на

причины и следствия очевидно, формальный расчет g дает результат, соответствующий интуитивно ожидаемому [15, 16, 18, 19].

Если Y - заведомо соответствует причине (например, Y - индекс солнечной активности), а X - следствию (X - сигнал детектора), то для любого классического взаимодействия главный $\min i_{X+Y}$ будет наблюдаться при $t < 0$ и этому минимуму будет соответствовать главный $\max g > 1$. Только при нелокальной корреляции процессов возможно $g > 1$ при $t > 0$.

Это и есть нужный критерий. Но, следуя традиции, наличие нелокальных корреляций следует проверить нарушением неравенства типа Белла. Такое неравенство в нашем случае выглядит так:

$$i_{XZ} \geq \max(i_{XY}, i_{YZ}).$$

Оно означает следующее. Если Z может воздействовать на X только через Y по локальной причинной цепи $Z \rightarrow Y \rightarrow X$, то связь между Z и X будет слабее самой слабой из связей в звеньях $Z \rightarrow Y$ и $Y \rightarrow X$. Представим, например, что в окружающей среде (в лаборатории) происходят случайные (спонтанные) вариации температуры. Это будет наш процесс Z . Процесс X - измеряемый макропараметр пробного процесса, например разность электродных потенциалов. Электроды находятся пассивно-термостатирующего контейнера, в котором отсутствуют собственные источники тепла. Вариации наружной температуры ослабляются внутри контейнера, но остаются конечными. Это будет наш промежуточный процесс Y . Z не может локально никак иначе повлиять на X как через Y . Только нелокальная связь может привести к нарушению записанного выше неравенства.

Эксперименты

Первый эксперимент по изучению эффекта нелокальности естественных процессов-источников выполнялся на установке ИГЭМИ в течение года (декабрь 1996 – декабрь 1997). В непрерывном режиме измерялись сигналы электродного детектора U , фотокатодного I , их внутренние температуры T_U и T_I , температура воздуха в лаборатории T_e и магнитное поле в непосредственной близости от детекторов B .

Предварительные оценки показали, что наибольший вклад в сигналы детекторов должны вносить процессы синоптической и солнечной активности. В эксперименте в качестве макропараметров этих процессов мы использовали, соответственно, приземную температуру T_a и давление P в Москве и поток солнечного радиоизлучения на 11 стандартных частотах в диапазоне 245–15400 МГц. Измеренные на установке вариации геомагнитного поля (B) характеризуют заведомо более слабый, но удобный для количественной интерпретации процесс омической диссипации магнитосферно-ионосферных токов. Чтобы подчеркнуть масштаб этого процесса оказалось целесообразным использовать также Dst -индекс глобальной геомагнитной активности (рассчитываемый по данным экваториальных обсерваторий и характеризующий наиболее крупномасштабные токи в магнитосфере). Рассматривались также некоторые другие процессы, о чем будет речь далее.

Этот эксперимент был первым. Но как будет рассказано в следующем разделе, идеи, во-первых, носят в воздухе и реализуются независимо разными исследователями – за счет этого материалы эксперимента оказались богаче; во-вторых, под идею можно иногда приспособить эксперименты, выполненные с другими целями – за счет этого мы получили

вторую серию измерений с устройством подобным нашему электродному детектору, естественно, худшего качества, но за более длительный срок (1993 – 1997).

Третья серия измерений с электродным детектором установки ИГЭМИ начата в октябре 2001г. и представляет наиболее длительный целенаправленный эксперимент.

В следующем разделе кратко описываются результаты, вытекающие из анализа данных первых двух серий и немного - третьей, которые на момент написания этой статьи еще обрабатываются. Полное описание приведено в работах [20-31].

Кроме того, выполнялись также эксперименты с контролируемыми (искусственными процессами-источниками). Эти эксперименты методически сложнее – применяется дифференциальная схема измерений для исключения влияния природных источников, требуются дополнительные меры для исключения локального воздействия близких и мощных искусственных источников. При этом наблюдается, естественно, только запаздывающая реакция детекторов. Поэтому я не буду здесь касаться их результатов (подробно опубликованных в [32,33]) отмечу лишь, что они подтвердили, в основном, соответствующие результаты Н.А. Козырева.

Результаты

Корреляция сигналов на различных детекторах. Прежде всего, имело смысл сравнить измерения обоих детекторах установки. Это сразу позволяет проверить, а не являются сигналы столь надежно защищенных от внешних шумов детекторов их чисто внутренними шумами? Оказалось, что сигналы внешнего происхождения действительно есть - коэффициент корреляции сигналов обоих детекторов достигает $0,75 \pm 0,01$. Но может быть в этом виноват тривиальный общий фактор - вариации лабораторной температуры, которые, пусть в сильно подавленном виде, проникают внутрь дьюаров? Оказалось, что при математическом исключении влияния лабораторной температуры, корреляция лишь увеличивается ($0,78 \pm 0,01$). Таким образом, тривиальный общий фактор не является общей причиной. Это иллюстрирует рис.1, на котором показаны синхронные амплитудные спектры сигналов детекторов U и I и лабораторной температуры T_e в диапазоне периодов от 5 часов до 10 суток. Видно, что спектры U , I подобны, спектр T_e выглядит совершенно иначе.

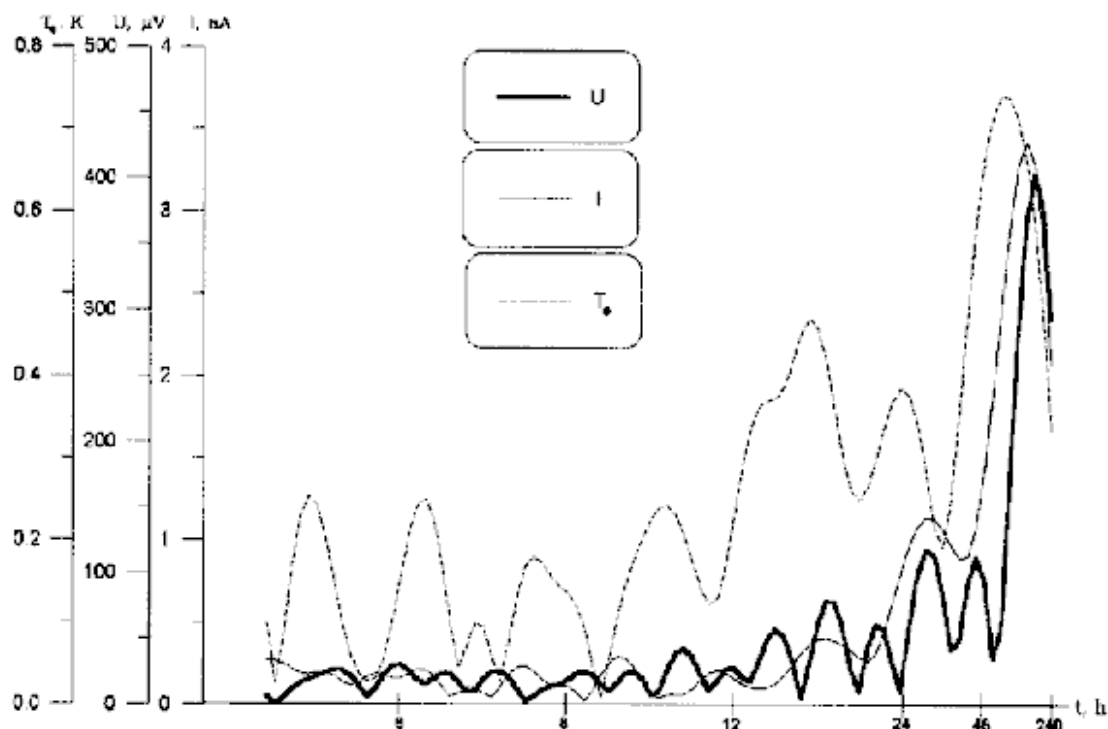


Рис.1. Амплитудные спектры сигналов электродного U и фотокатодного I детекторов и лабораторной температуры T_e (t – период в часах).

По стечению обстоятельств, в течение части срока нашего эксперимента и совершенно независимо сходные измерения собственных потенциалов электродов в других целях выполнялись сотрудником ИГЭМИ В.И. Наливайко. Его установка размещалась в другом здании в 300 м от нашей. Она не предусматривала мер защиты от помех подобных нашим, но если полезный сигнал, связанный с крупномасштабными геофизическими процессами, в вариациях потенциалов U достаточно велик, можно было рассчитывать на корреляцию с нашими данными. Так оно и оказалось - корреляция достигала $0,68 \pm 0,01$, а при исключении влияния внутренней температуры $0,74 \pm 0,01$. Таким образом, локальное влияние температуры не является общей причиной коррелирующих вариаций потенциалов. Такой общей причиной остается считать нетривиальное воздействие геофизических процессов. А факт высокой корреляции электродных потенциалов позволил нам использовать и предыдущие измерения В.И. Наливайко (с 1993г.) для сопоставления с гелио-геофизическими данными.

Когда наш эксперимент был уже закончен, я неожиданно узнал, что в течение части срока наших измерений подобный эксперимент (на иных технических принципах, но с той же целью) выполнялся в Центре прикладной физики (ЦПФ) МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством профессора А.Н. Морозова. Установка ЦПФ включала детектор, в котором производство энтропии связано не с высотой потенциального барьера, а с флуктуациями подвижности ионов в электролите. Уровень защищенности от помехообразующих факторов был сопоставим с нашим. Расстояние между установками ЦПФ и ИГЭМИ 40 км. Выполнив, совместно с А.Н. Морозовым, сопоставление синхронных данных детекторов,

мы получили коэффициент корреляции $0,715 \pm 0,005$. Это окончательно убедило в наличии нетривиального влияния на детекторы общих крупномасштабных процессов.

Далее рассмотрим основных групп таких процессов, опуская детали связанные с нелегкой, но вполне рутинной задачей разделения сигналов.

Синоптическая активность. Энтропия окружающей среды изменяется при изменениях температуры, фазовых переходах и т.п. Изменения температуры как индикатор изменений энтропии качественно наиболее удобны, т.к. происходят непрерывно и легко доступны измерению. При этом окружающая среда включает три обособленных масштаба: собственно геофизический - синоптический масштаб (амплитуда ~ 10 K), масштаб лаборатории (~ 1 K) и, наконец, масштаб самого детектора ($\sim 0,1$ K). Начнем с последнего.

Вследствие малости амплитуд внутренней температуры детектора T_U из обычных представлений следовало ожидать небольшой отрицательной (таков знак температурного коэффициента электродов) корреляции потенциалов U и температуры T_U с запаздыванием U относительно T_U порядка десятка часов (в соответствии с тепловой инерцией электролита). И действительно оказалось, что для электродного детектора запаздывающая корреляция равна -0.33 ± 0.02 при запаздывании на 20.4 ч. Но в области опережения, где корреляция классически должна затухать, обнаружился необычный максимум корреляции 0.87 ± 0.01 при опережении на 12.8 ч. При тех же временных сдвигах обнаруживаются и минимумы функций независимости, причем опережающий минимум значительно глубже. Анализ связи сигнала с внешней температурой T_e показал наличие трех максимумов корреляции (минимумов независимости) при сдвигах 0 и ± 27 ч. Самым большим оказался опережающий максимум, вследствие чего он не мог быть объяснен каким-либо эффектом периодичности. Такая картина соответствует теоретическому предсказанию: мы наблюдаем симметричное запаздывание и опережение, опережающий сигнал сильнее вследствие меньшего поглощения промежуточной средой. Наличие кажущегося синхронного сигнала может быть объяснено интерференцией запаздывающего и опережающего сигналов. Подробный анализ взаимодействия T_e , T_U , U в прямом и обратном времени, с учетом того что T_U только запаздывает относительно T_e (в среднем на 11.5 ч) позволил количественно объяснить и асимметрию связи U с T_U при симметрии U с T_e .

Комбинация измерений внешней и внутренней температур и сигнала детектора позволила провести тест на нелокальность корреляций по нарушению неравенства типа Белла в том самом виде, как это было разобрано в предыдущем разделе. Оказалось, что имеются два канала связи сигнала детектора с внешней температурой: классический локальный запаздывающий и необычный нелокальный опережающий. Для первого это неравенство выполняется, для второго – нарушается.

Рассмотрим теперь изменения атмосферной температуры T_a как пример крупномасштабного (сотни км) геофизического процесса. Учитывая термостатирование, локальная причинная связь $T_a \otimes T_e \otimes T_U \otimes U$ может приводить лишь к слабой корреляции потенциалов U с атмосферной температурой T_a с многосуточным запаздыванием. Для исключения возможного влияния мелкомасштабных неоднородностей, в качестве T_a мы

взяли измерения атмосферной температуры выполненные в 40 км от нашей установки (вблизи установки ЦПФ). В этом случае обнаружены симметричные по сдвигу времени опережающие и запаздывающие корреляции, при этом уровень опережающих, примерно, вдвое выше уровня запаздывающих. Максимум корреляции (0.73 ± 0.01) наблюдается при опережении сигнала на 13 дней. Если же в качестве индекса взять атмосферное давление (масштаб порядка тысяч км) пик корреляции достигает -0.86 при опережении 2.5 месяца. Аналогичное соотношение наблюдается для функций независимости и причинности. Последние, как указывалось в предыдущем разделе, более адекватны для выявления эффекта нелокальности, поэтому рассмотрим пример результата их расчета на рис.2. Самый глубокий минимум функции независимости $i_{U \rightarrow P} \gg 0.30$ и наивысший пик функции причинности $g = i_{P \rightarrow U} / i_{U \rightarrow P} \gg 2.3$ наблюдаются при опережении $t = 69$ сут.

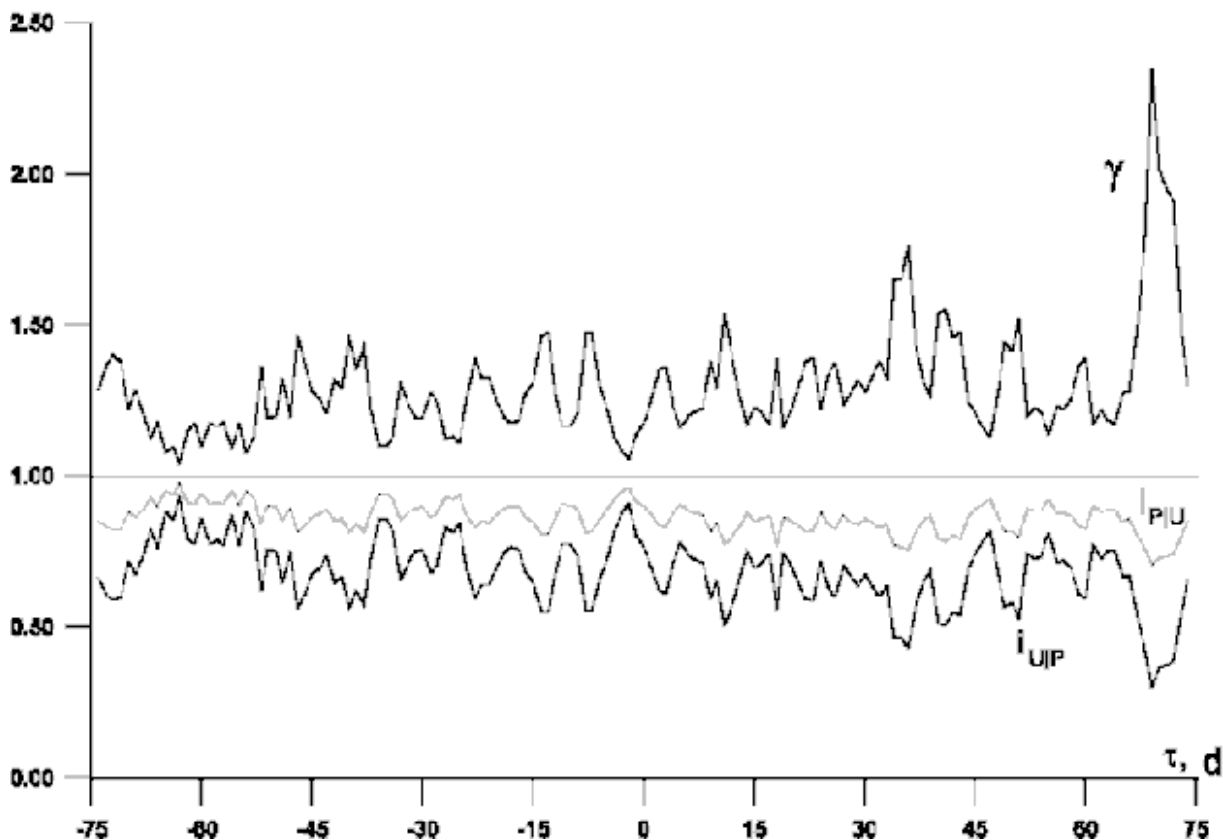


Рис.2. Функции независимости и причинности сигнала электродного детектора U за март - апрель 1997 и атмосферного давления P (t - временной сдвиг в сутках; $t < 0$ соответствует запаздыванию, $t > 0$ - опережению U относительно P).

Этот результат не зависит от типа детектора. На рис.3 показан тот же пример с фотокатодным детектором. Картина подобна и опережение почти то же ($t = 73$ сут.).

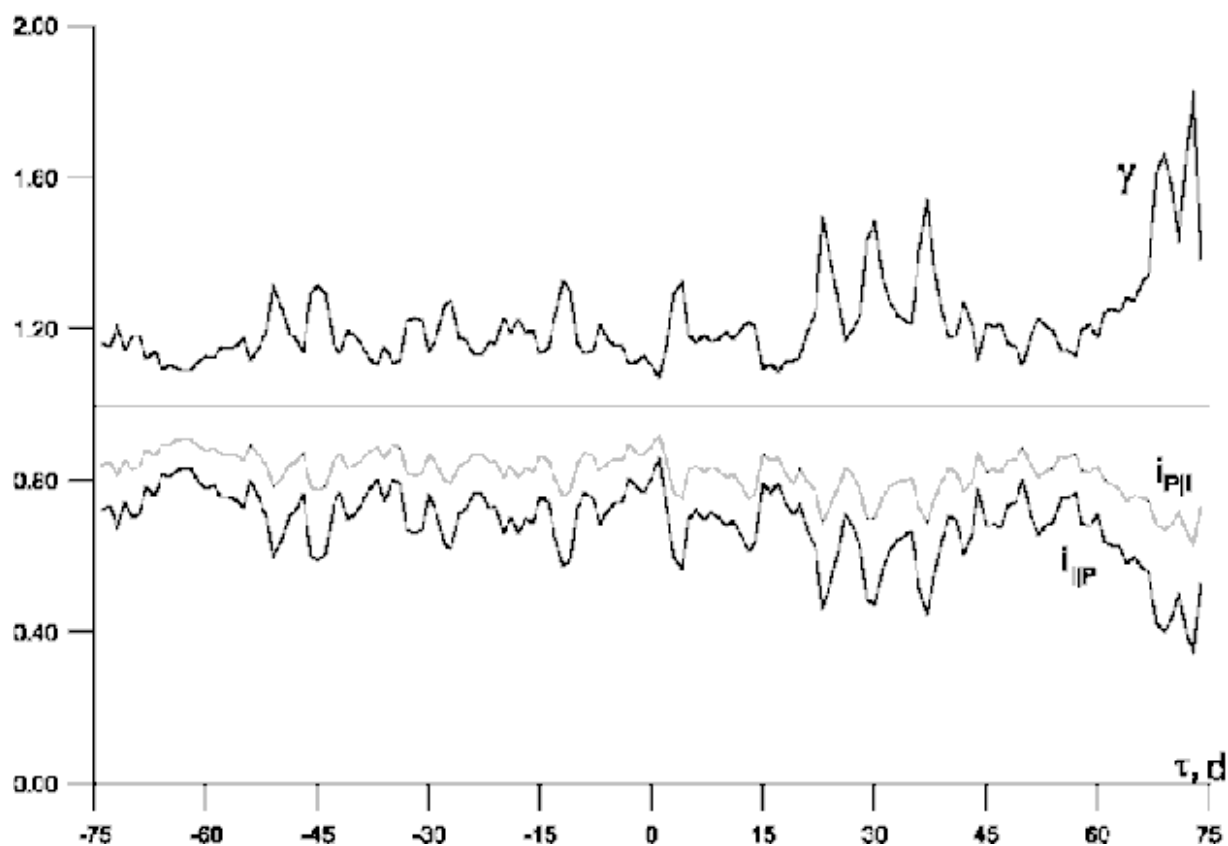


Рис.3. Функции независимости и причинности сигнала фотокатодного детектора I за март – апрель 1997 и атмосферного давления P .

Возможно даже дать простейший прогноз. На рис.4 для того же примера показана временная вариация давления (прохождение циклона) и предшествующая на 73 дня вариация темнового тока.

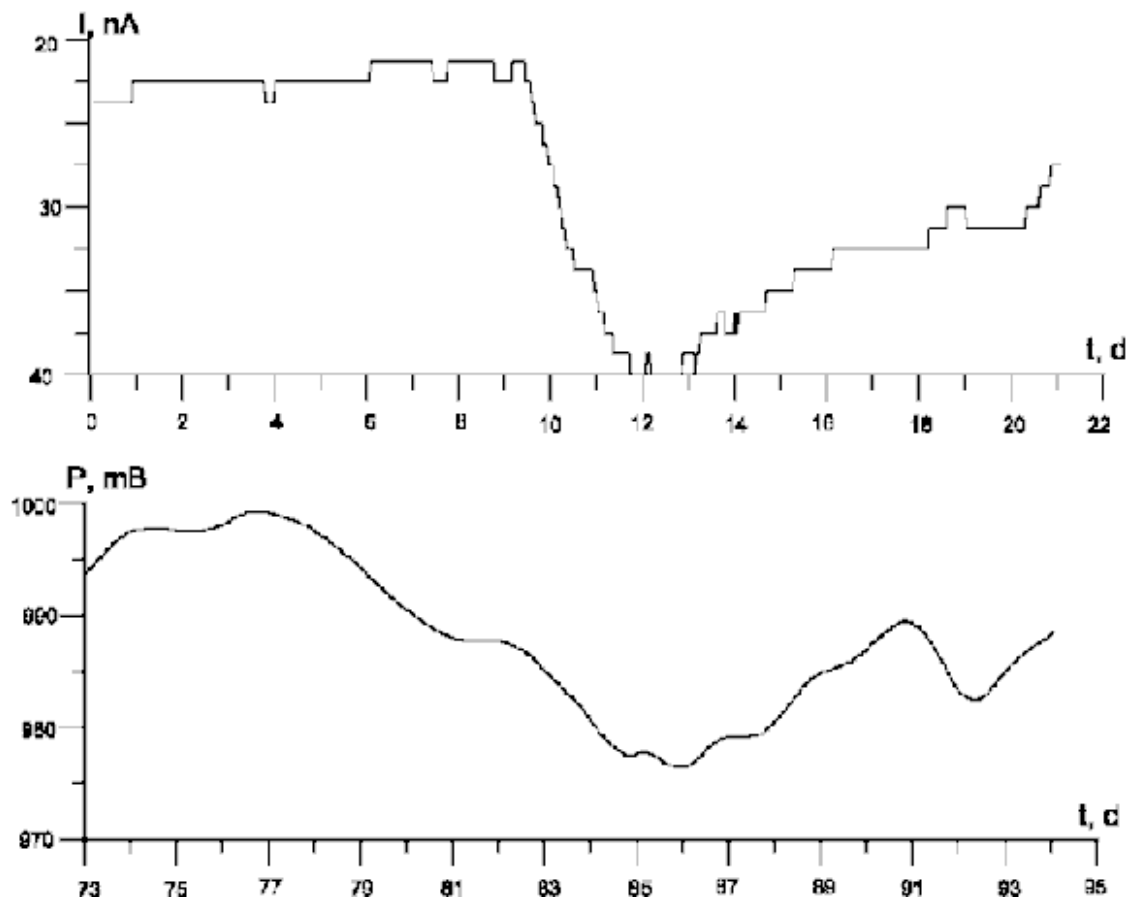


Рис.4. Вариация сигнала детектора I , прогнозирующая вариацию давления P с заблаговременностью 73 сут. Начало отсчета времени (в сутках) соответствует 24 марта 1997.

Итак, во всех этих случаях (и во всех прочих изученных, рассматриваемых ниже) наблюдается опережающая реакция детектора на диссипативный процесс. Очень важно, что детектор реагирует не на предвестник в обычном прогностическом смысле (т.е. не как барометр на предстоящее изменение погоды). Как ни странно это звучит, детектор реагирует на будущее состояние процесса как на существующую реальность. Мы наблюдаем своего рода тени будущего!

Геомагнитная активность. В качестве геофизического процесса иного рода рассмотрим процесс диссипации токов, связанных с геомагнитными вариациями. Дело в том, что величина сигнала электродного детектора U теоретически никак не должна быть связана с магнитным полем B (фотокатодный детектор, хотя и в ничтожной степени для геомагнитного поля уязвим). Поэтому хорошим тестом для нашей гипотезы было бы обнаружение корреляции U с естественными вариациями магнитного поля Земли, поскольку эти вариации легко могут быть связаны с омической диссипацией в источниках поля. На всякий случай было проверено влияние искусственного магнитного поля на детектор. Никаких следов такого влияния замечено не было даже в весьма сильном поле - на пять порядков большем характерного для геомагнитных вариаций.

Анализ показал, что искомая корреляция есть, причем ее единственно значимый пик (-0.56 ± 0.01) наблюдается при опережении U относительно B на двое суток, запаздывающая корреляция полностью подавлена.

В рассмотренных ранее синоптических процессах энтропия зависит от температуры, давления, но не только от них и установить эту зависимость количественно, учитывая весь комплекс процессов в атмосфере и подстилающей Земле, крайне затруднительно. В этом смысле производство энтропии в процессе диссипации токов, возбуждающих геомагнитные вариации, гораздо удобнее. Это дает возможность количественно проверить уравнение макроскопической нелокальности.

Уравнение макроскопической нелокальности совместно с теорией электродного детектора и теоретической моделью источника магнитного поля дает важное предсказание: отношение спектральных амплитуд потенциалов и геомагнитного поля U/B зависит от периода вариаций, но U/B^2 от периода не зависит.

Указанная зависимость обнаружилась. Любопытно, что эта зависимость соответствует фликкер-шуму, т.е. отношение амплитуд U/B пропорционально корню из периода, соответственно отношение спектральных плотностей – периоду. Фликкер-шум знаменит своей поразительной универсальностью, он наблюдается в самых различных областях – от флуктуаций удельного сопротивления малых образцов вещества до сейсмической и солнечной активности. Существующие теории фликкер-шума дают его объяснение для малых образцов, но бессильны для крупномасштабных явлений. Дело в том что, в теории пространственный масштаб области генерации фликкер-шума должен покрываться масштабом диффузии. Поэтому для малых масштабов механизм, делающий микрофлуктуации когерентными, понятен. Для крупномасштабных процессов аналогичного механизма не находилось. Вполне вероятно, что им как раз является макроскопическая нелокальность. Интересно, что U/B по размерности пропорционально некоторому удельному сопротивлению, но это шумящее сопротивление мы не можем локализовать!

Далее, оказалось, что U/B^2 с хорошей точностью от периода не зависит – в соответствии с теоретическим предсказанием. Используя это отношение, удалось оценить сечение взаимодействия $s \approx 2 \times 10^{-21} \text{ м}^2$, т.е. порядка сечения атома, как и ожидалось.

Если вместо B в качестве показателя геомагнитной активности взять Dst -индекс, величина опережения главного максимума корреляции с U возрастает до 1–2 месяцев. Уровень корреляции, как правило, становится больше (предпринимая средства по разделению сигналов его удастся поднять иногда до 0.70 ± 0.02). Корреляция слабее, чем для синоптической активности, так же как меньше и экстремумы функций независимости и причинности, но качественно картина та же – главные максимумы g и минимумы $i_{U \pm Dst}$ наблюдаются в области опережения U относительно Dst . Величина опережения нестабильна, но главные пики укладываются в пределы вышеуказанного диапазона t . Можно сдвинуть реализации и на величину этого t и воочию убедиться в прогностическом эффекте (рис.5).

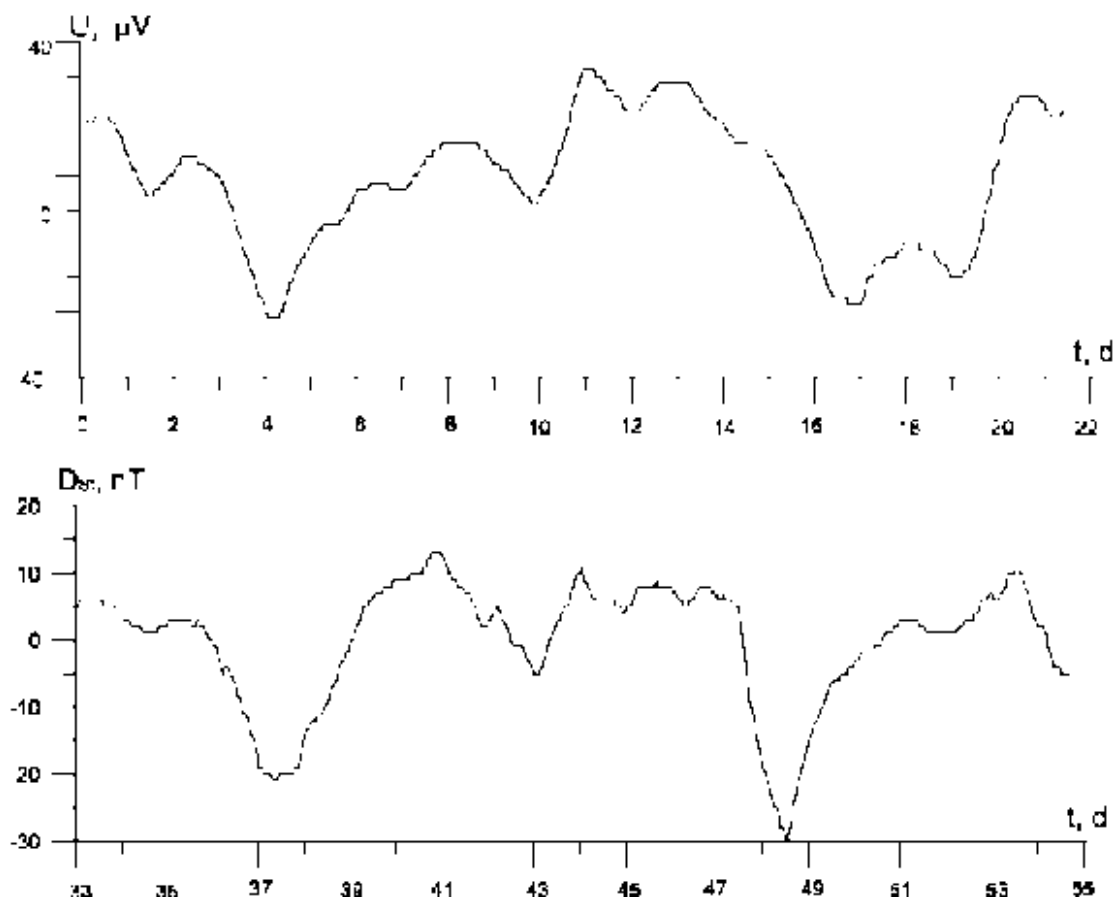


Рис.5. Вариации сигнала детектора U , прогнозирующие геомагнитную активность Dst с заблаговременностью 33 сут. Начало отсчета времени (в сутках) соответствует 11 января 1997.

Солнечная активность. Солнечная активность – важнейший астрофизический процесс, влияющий на многие земные процессы. В настоящее время глубоко изучены механизмы влияния переменного волнового и корпускулярного излучения Солнца на состояние магнитосферы, ионосферы, магнитного поля, на распространение радиоволн, т.е. на весь комплекс электромагнитных геофизических процессов. Гораздо менее ясен механизм воздействия солнечной активности на нижнюю атмосферу, океан и твердую Землю. Например, установлена связь солнечной и сейсмической активности. Некоторые исследователи, рассматривая механизм этой связи, считают атмосферу промежуточным звеном - солнечная активность вызывает колебания давления, которые и стимулируют землетрясения (а что еще тут можно предложить?). Аналогично, установлена связь темпов накопления некоторых осадочных пород с солнечной активностью. Проще всего было бы объяснить промежуточными метеорологическими изменениями. Но в том-то и дело, что связь солнечной активности с процессами в нижней атмосфере слаба, неоднозначна и даже до сих пор не признана большинством метеорологов. Многочисленные попытки использовать солнечные данные в прогнозе погоды ни к чему не привели. А с теоретической точки зрения найти механизм влияния солнечных электромагнитных воздействий на гораздо более мощные неэлектромагнитные процессы во всех оболочках Земли ниже ионосферы – задача, по-видимому, обреченная. Другое дело, если существует иной физический механизм связи. Поскольку все такие коррелирующие с солнечной активностью процессы существенно диссипативны, то макроскопическая нелокальность

может стать ключом ответа на многие вопросы. Но для начала надо выяснить, присутствует ли в сигналах детекторов составляющая, связанная с солнечной активностью.

В качестве индексов солнечной активности были взяты потоки радиоизлучения Солнца на различных частотах (именно индексов – разумеется, не может быть и речи о прямом влиянии этого радиоизлучения на детектор). Различные частоты соответствуют различным глубинам источников излучения в атмосфере Солнца – чем больше частота, тем глубже. Оказалось, что сигналы детекторов высококоррелированы с потоком солнечного радиоизлучения, причем уровень корреляции закономерно зависит от его частоты. Максимум функции корреляции и минимум функции независимости совпадают и всегда приходятся на частоты 610–2800 МГц. Эта полоса частот соответствует источником на уровне низов короны – верхов хромосферы. Но это, как известно как раз уровень наибольшей диссипации энергии магнитозвуковых волн в солнечной атмосфере!

Может, однако, возникнуть сомнение: что если связь сигнала детектора с солнечной активностью все-таки локальна, т.е. опосредована каким-то механизмом? Таких механизмов мыслимо два: геомагнитная активность и вариации космических лучей. Но мы уже показали, что связь U с геомагнитной активностью является нелокальной. А версию о космических лучах нетрудно было проверить - благо, космофизическая обсерватория ИЗМИРАН находится всего в 100 м от нашей установки. Оказалось, что связь сигналов нашего детектора с вариациями космических лучей статистически незначима. Таким образом, связь U с солнечной активностью действительно носит прямой характер.

Но, может быть, связь U с солнечной активностью носит все же косвенный характер, т.е. солнечная активность за счет хорошо известных локальных механизмов возбуждает геомагнитную активность, а та уже нелокальным образом коррелирует с U ? Такая связь, конечно, есть, поэтому более точный вопрос таков – верна ли теоретическая оценка того, что прямая нелокальная связь сигнала детектора с солнечной активностью преобладает над вышеописанной косвенной? Ответ положительный и его дает нарушение неравенства типа Белла. Чуть забегаая вперед, скажем, что вариации U также опережают поток солнечного радиоизлучения (обозначаемый R), запаздывающая корреляция подавлена. Dst связана с R классически и запаздывает относительно него примерно на сутки. Выбираются значения функций независимости в своих главных минимумах при соответствующих сдвигах времени. Локальное воздействие солнечной активности не может миновать магнитосферу, состояние которой характеризует Dst . Т.е. в нашем неравенстве типа Белла $Z = R$, $Y = Dst$, $X = U$. При подстановке вышеупомянутых значений функций независимости (с учетом их погрешностей) оказалось, что неравенство надежно нарушается, т.е. связь $R@U$ прямая нелокальная. Подчеркнем, что речь идет об опережающей связи (а запаздывающая статистически незначима).

Что касается величины опережения, то интересно, что она не единственна. Наблюдается три характерных пика g (минимума i) в диапазоне 42–280 сут., положение двух ближних зависит от частоты R , дальнего (280 сут.) – нет. Относительное смещение этих пиков на разных частотах соответствует диффузии активных областей в солнечной атмосфере снизу вверх. Абсолютный максимум $g \gg 1.6$ и абсолютный минимум $i_{U \rightarrow R} \gg 0.47$ наблюдался для частоты 2800 МГц при $t = 42$ сут. И сдвинув ряды, получаем наглядное представление о том, что U несет прогностическую информацию о R (рис.6).

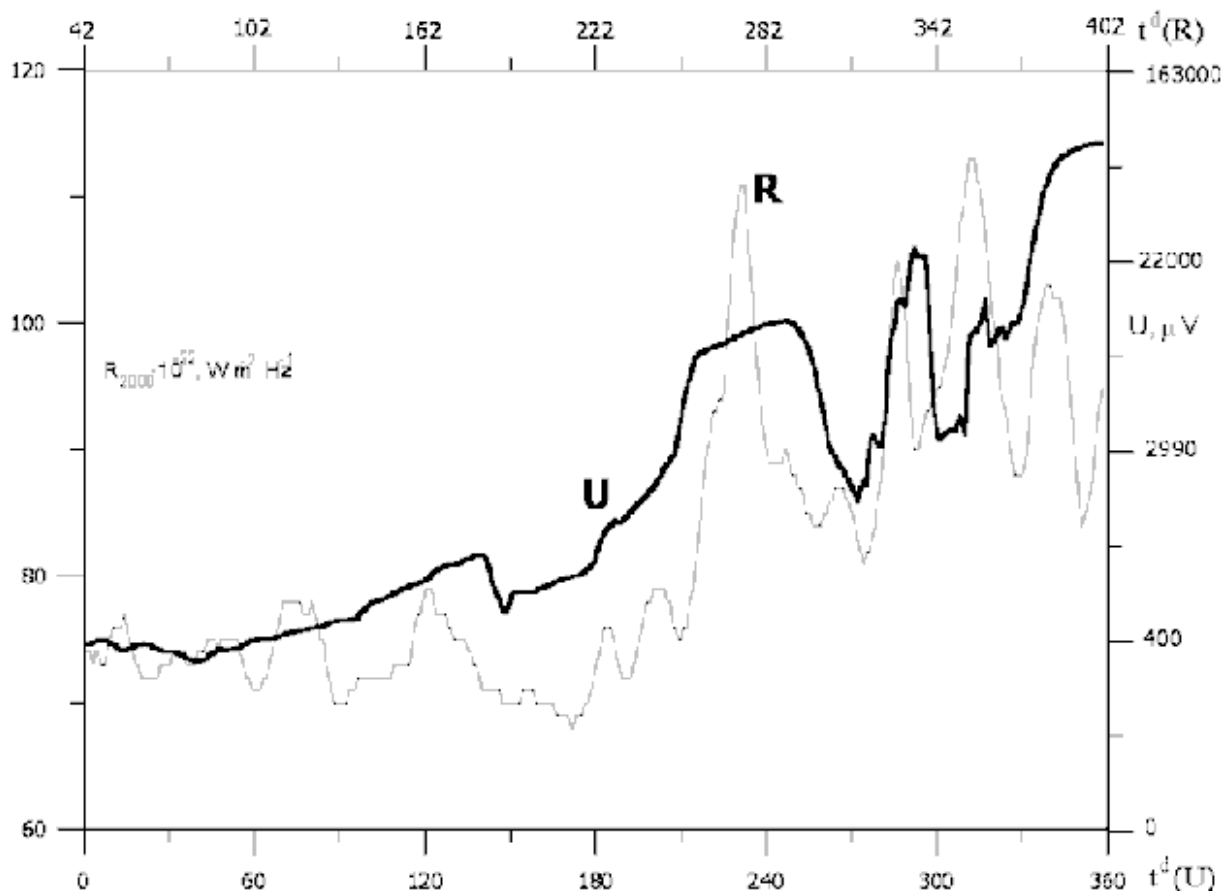


Рис.6. Вариация сигнала детектора U , прогнозирующая поток солнечного радиоизлучения R на частоте 2800 МГц с заблаговременностью 42 сут. Начало отсчета времени соответствует 11 декабря 1996.

Конечно, это не настоящий прогноз – для него надо не просто сдвигать ряды (даже, как у нас, фильтрованные для выделения в сигнале детектора составляющей, обусловленной R , Dst или P). Для настоящего прогноза необходимо рассчитать некоторую весовую функцию сигнала в широком диапазоне t . Это отдельная задача, пока нам важно доказательство самой возможности прогноза!

Во всех описанных случаях эффект макроскопической нелокальности выявлялся в длительных рядах измерений (т.е. с помощью накопления полезного сигнала) с применением современных информационно-статистических методов обработки данных. А можно ли его заметить в отдельных событиях? Мы пытались выявить такого рода индивидуальную связь для различных кратковременных гелиогеофизических процессов, но до 2002г. получили единственный уверенный результат – для внезапных ионосферных возмущений (резких возрастаний электронной концентрации). Но и в этом случае реакция детектора не «индивидуальна» – изменение уровня сигнала соответствует изменению частоты (в 4.5 ± 1.1 раз) этих возмущений. Особенно заметен (соответственно, 7.1 ± 0.7 раз) этот эффект для возмущений типа внезапных усиления атмосфериков (свистящих радиосигналов от удаленных гроз), очевидно в связи с тем, что это не чисто ионосферное явление, а связанное с мощными тропосферными процессами. Время опережения здесь особенно размыто, можно говорить лишь о порядке – десятки часов.

2003 год начался с сюрпризов. В период с 1 января по 14 февраля на гладком, как обычно, фоне записи электродного детектора наблюдалось 8 всплесков очень большой амплитуды длительностью около часа. Ничего подобного прежде мы не видели и даже заподозрили, а в порядке ли наша аппаратура? Но с ней все было нормально. Наибольший всплеск (134 мкВ) произошел 3 февраля (рис.7).

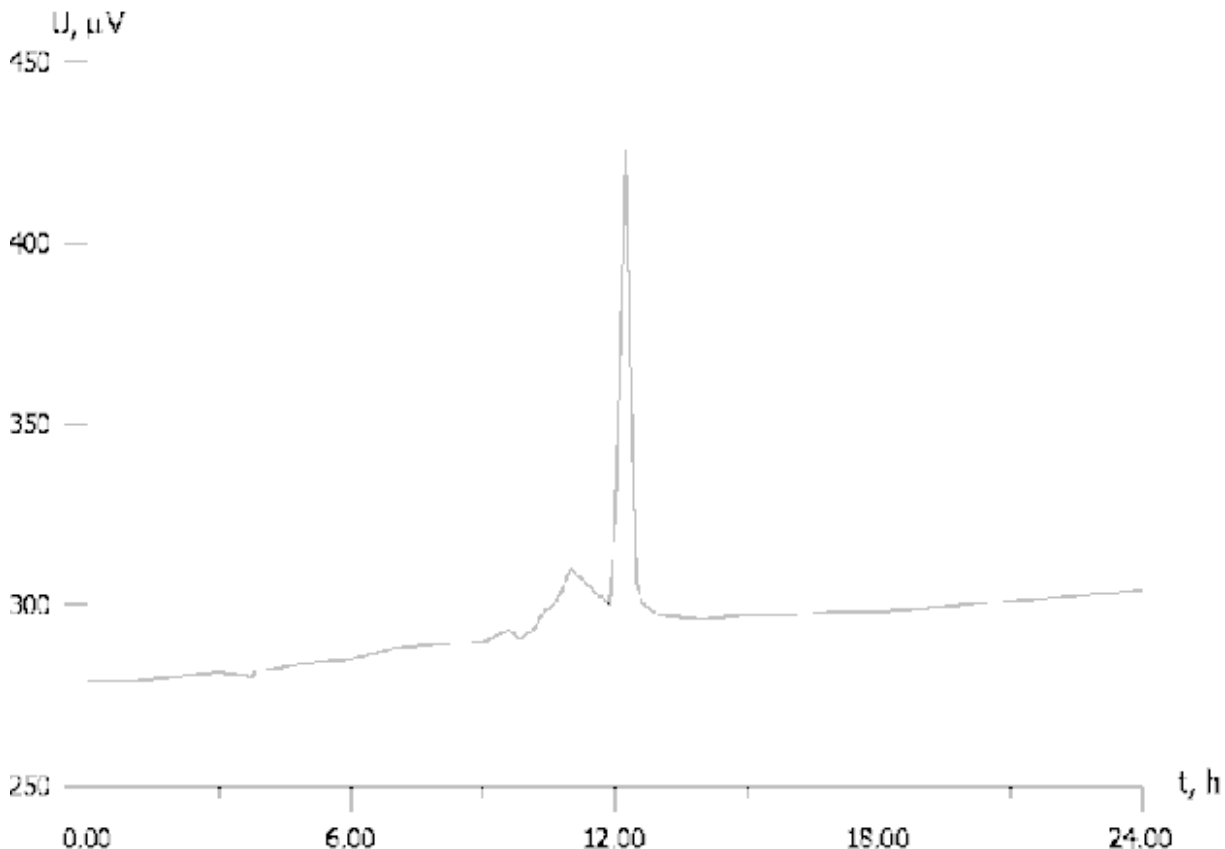


Рис.7. Необычный всплеск сигнала детектора U 3 февраля 2003г. (время по Гринвичу).

И именно через 42 дня после него, 17 марта произошла солнечная вспышка класса X (рис.8).

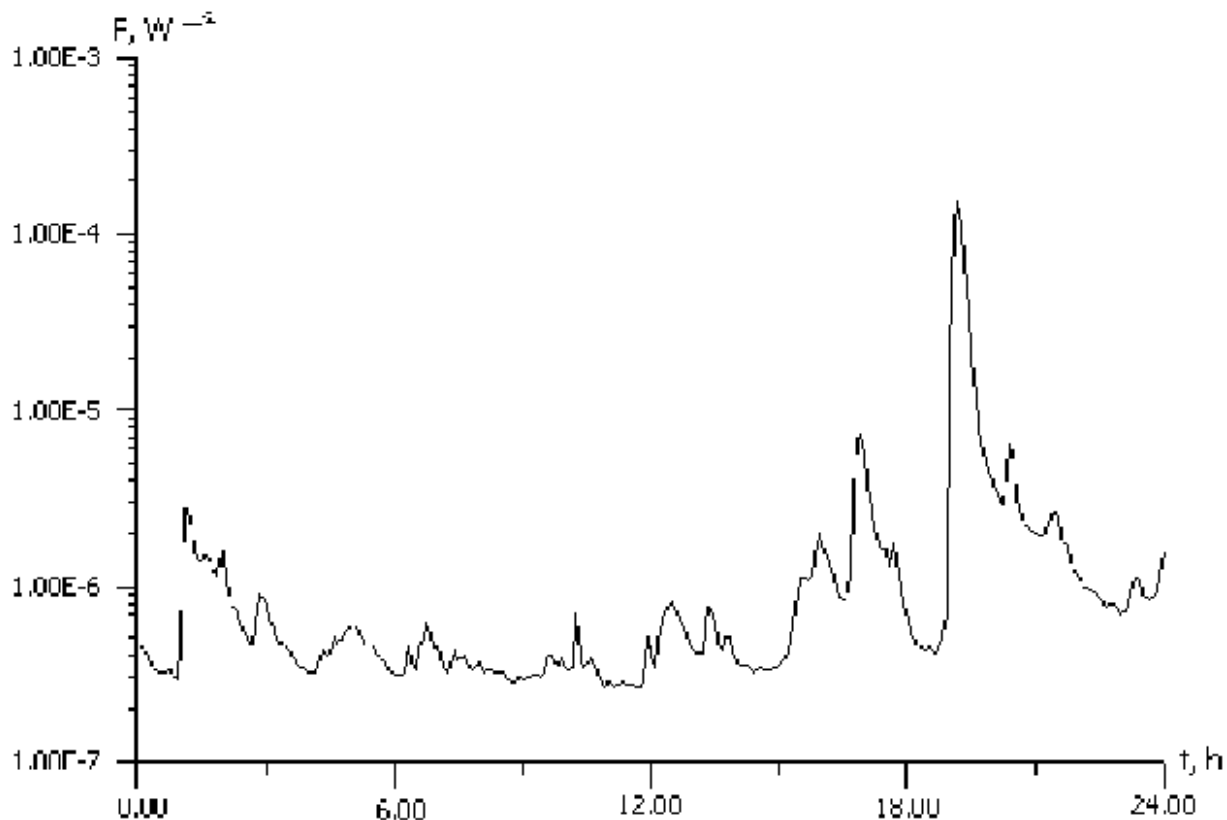


Рис.8. Солнечная вспышка класса X 17 марта 2003г., т.е. 42 суток спустя после показанного на рис. 7 всплеска сигнала детектора (F – интегральный поток рентгеновского излучения).

Вспышки класса X по принятой классификации – наиболее мощные события на Солнце. Соответственно они весьма редки, их может не быть по 10 – 20 лет. Так что нам, наконец, повезло с таким событием. Сопоставление рис.7 и 8 (с учетом типов масштаба) показывает даже явное подобие формы двух кривых. Таким образом, это мощное (и спонтанное – солнечные вспышки непредсказуемы!) явление вызвало опережающую реакцию детектора с несколькими временными сдвигами и с главным всплеском при $t=42$ сут.

Очень существенно, что несмотря на огромную мощность, эта солнечная вспышка не была геоактивной, т.е. она не вызвала мировой магнитной бури. Дело в том, что хотя поток рентгеновского излучения (рис.8) – очень удобный индекс вспышечной активности, основной механизм возбуждения геомагнитной активности не волновой, а корпускулярный. Плазменный выброс от вспышки распространяется вдоль линий межпланетного магнитного поля и встречается с Землей, только если вспышка произошла в определенном долготном интервале на Солнце. Вспышка 17 марта 2003г. Была как раз вне этого интервала и не вызвала существенных токов в магнитосфере. Следовательно, ее влияние на сигнал детектора было прямым. Сигнал U предварил осенью 2003г. также сопоставимые по мощности вспышки начала ноября, но они были, наоборот, крайне геоактивными, вызвав колоссальную магнитную бурю. Поэтому не эти, а как раз рассмотренное выше событие наиболее показательное.

Логика развития

Геофизика обычно рассматривается как раздел прикладной физики, где мы применяем в конкретных, часто очень сложных условиях законы, полученные в физической лаборатории. Редко, но случается обратное - какие-то явления мы впервые обнаруживаем и изучаем в естественных условиях, а затем в лаборатории. В астрофизике это случается чаще. И именно таково изучение макроскопической нелокальности: странные корреляции практически изолированных геофизических процессов были замечены задолго до того как вопрос о макроскопической нелокальности был поставлен теоретиками.

Несмотря на успешную экспериментальную проверку, вряд ли стоит относиться к предложенной нами математической формулировке гипотезы более серьезно, чем как к эвристическому уравнению. Но она, безусловно, отражает основные черты явления и указывает на необходимость поиска достаточно строгой теории, лежащей на пересечении причинной механики, квантовой нелокальности и теории прямого межчастичного взаимодействия, и на важность продолжения целенаправленных экспериментов.

Уже сейчас ясны возможности и некоторых приложений. Во-первых, открывается перспектива понимания природы большого числа необычных корреляций геофизических и астрофизических процессов. Во-вторых, и это самое интересное, появляется возможность создания метода прогноза гелиогеофизических процессов, принципиально отличающегося от имеющихся тем, что он основан не на экстраполяции их эволюции, а на прямом измерении опережающих сигналов, на, в определенном смысле, наблюдении неконтролируемого будущего как существующей реальности.

Возможно, наше понимание этого круга волнующих проблем еще слишком поверхностно. Мы никогда не узнаем этого, если не двинемся дальше.

Литература

- [1] Н.А. Козырев, *Избранные труды* (Л.: ЛГУ, 1991).
- [2] Б.М. Владимирский, Изв. Крымской астрофизической обсерватории, **82**, 161 (1990).
- [3] С.Э. Шноль, В.А. Коломбет, Э.В. Пожарский, Т.А. Зенченко, А.В. Зверева, А.В. Конрадов, УФН, **168** (10), 1129 (1998).
- [4] Н.А. Козырев, В.В. Насонов, Проблемы исследования Вселенной, **7**, 168 (1978).
- [5] Н.А. Козырев, Проблемы исследования Вселенной, **9**, 85 (1980).
- [6] Н.А. Козырев, В.В. Насонов, Проблемы исследования Вселенной, **9**, 76 (1980).
- [7] D. Savage, in *Progress in Space-Time Physics*, edited by B. Wesely (Blumberg, 1987), p.242.
- [8] М.М. Лаврентьев, И.А. Еганова, В.Г. Медведев, В.К. Олейник, С.Ф. Фоминых, ДАН, **323** (4), 649 (1992).
- [9] A.C. Elitzur and S. Dolev, in *The Nature of Time: Geometry, Physics and Perception*, edited by R. Bucci (Kluwer Academic Publishers, 2003), p.297.
- [10] D. Home and A.S. Majumdar, Phys. Rev. A, **52**, 4959 (1995).
- [11] А.М. Башаров, ЖЭТФ, **121**, 1249 (2002).
- [12] J.G. Cramer, Phys. Rev. D, **22**, (1980).
- [13] F. Hoyle and J.V. Narlikar, Rev. Mod. Phys., **67**, 113 (1995).
- [14] S.M. Korotaev, Galilean Electrodynamics, **4** (5), 86 (1993).
- [15] С.М. Коротаев, Геомагнетизм и аэрономия, **32** (5), 27 (1992).
- [16] О.А. Хачай, С.М. Коротаев, А.К. Троянов, Вулканология и сейсмология, **3**, 92 (1992).
- [17] Физика Земли, **6**, 77 (1992).

- [18] С.М. Коротаев, О.А. Хачай, С.В. Шабелянский, Геомагнетизм и аэрономия, **33** (2), 128 (1993).
- [19] С.М. Коротаев, Геомагнетизм и аэрономия, **35** (3), 116 (1995).
- [20] С.М. Коротаев, М.О. Сорокин, В.О. Сердюк, Ю.М. Абрамов, Физическая мысль России, **2**, 1 (1998).
- [21] С.К. Дворук, С.М. Коротаев, А.Н. Морозов, А.Л. Назолин, В.О. Сердюк, А.В. Соловьев, М.О. Сорокин, С.Е. Табалин, Г.В. Шишкин, Прикладная механика и технологии машиностроения, **1** (4), 61 (1998).
- [22] С.М. Коротаев, М.О. Сорокин, В.О. Сердюк, Ю.М. Абрамов, Наука и технология в России, **1**, 16 (1999).
- [23] S.M. Korotaev, V.O. Serdyuk, M.O. Sorokin and J.M. Abramov, Phys. Chem. Earth A, **24** (8), 735 (1999).
- [24] S.M. Korotaev, V.O. Serdyuk, and M.O. Sorokin, Galilean Electrodynamics, **11** (2), 23 (2000).
- [25] С.М. Коротаев, В.О. Сердюк, М.О. Сорокин, Геомагнетизм и аэрономия, **40** (3), 56 (2000).
- [26] С.М. Коротаев, А.Н. Морозов, В.О. Сердюк, М.О. Сорокин, Известия высших учебных заведений. Физика, **5**, 3 (2002).
- [27] S.M. Korotaev, A.N. Morozov, V.O. Serdyuk, and J.V. Gorohov, in *Physical Interpretation of Relativity Theory*, edited by M.C.Duffy (Moscow: BMSTU Press), p.200.
- [28] S.M. Korotaev, A.N. Morozov, Yu.V. Gorokhov, V.I. Nalivaiko, A.N. Novysh, S.A. Pulinets, V.O. Serdyuk, in: *Irreversible processes in nature and technology. Proceedings of the Second All-Russian Conference* (M.: MSTU, 2003), p.12.
- [29] SM Korotaev, VO Serdyuk, VI Nalivaiko, AV Novysh, SP Gaidash, Yu.V. Gorokhov, S. A. Pulinets and Kh.D. Kanonidi, Phys. Wave Phenomena, **11** (1), 46 (2003).
- [30] S.M. Korotaev, V.O. Serdyuk, V.I. Nalivaiko, A.N. Novysh, S.P. Gaidash, Yu.V. Gorokhov, S.A. Pulinets, Kh.D. Kanonidi, in: *Research in Geophysics*, ed. A.O. Gliko (M.: OIFZ, 2004), p. 167.
- [31] SM Korotaev, VO Serdyuk, JV Gorohov, SA Pulinets and VA Machinin, Frontier Perspectives, **13** (1), 42 (2004).
- [32] S.M. Korotaev, V.O. Serdyuk, M.O. Sorokin, V.A. Machinin, Physical Thought of Russia, **3**, 20 (2000).
- [33] S.M. Korotaev, V.O. Serdyuk, M.O. Sorokin, V.A. Machinin, Bulletin of OGGMN RAS, **4**, 106 (2000).

Pregnant women need [gymnastics for pregnant women](#) from a school for pregnant women
Lectures for moms and dads.

