

**МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ НЕЛОКАЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ
ПО ДАННЫМ НОВЫХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ****С.М. Коротаев¹****Н.М. Буднев²****В.О. Сердюк¹****Е.О. Киктенко¹****Д.А. Орехова¹****Ю.В. Горохов³**

korotaev@igemi.troitsk.ru

nbudnev@api.isu.ru

troitsk-school@mail.ru

evgeniy.kiktenko@gmail.com

ordaal@gmail.com

jugoroh@mail.ru

¹ ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Троицк, Москва, Российская Федерация² НИИПФ ИГУ, Иркутск, Российская Федерация³ ИЗМИРАН, Троицк, Москва, Российская Федерация**Аннотация**

Макроскопические нелокальные корреляции случайных диссипативных процессов проявляются на крайне низких частотах, их наблюдение требует длительных экспериментов с поддержанием высокостабильных условий в детекторах. Это мотивировало проведение Байкальского эксперимента, в котором изучаются корреляции гелиогеофизических процессов с большой случайной составляющей и пробных случайных процессов в детекторах, установленных на различных глубинах в озере и на удаленной наземной обсерватории. В последней годовой серии эксперимента внимание было сосредоточено на данных придонного детектора, наиболее защищенного от классических локальных помех. В результате подтверждено преобладание в сигнале детектора корреляции с солнечной активностью и в то же время хорошо выделяемой опережающей корреляции с термодинамической активностью в верхнем деятельном слое Байкала. Наличие значительной опережающей нелокальной корреляции позволило выполнить симуляцию реального прогноза температуры деятельного слоя с месячной заблаговременностью. В относительно короткопериодной части спектра сигналов глубоководных детекторов выявлена необычная суточная вариация, предположительно связанная с переизлучением солнечной радиации земной поверхностью

Ключевые слова

Макроскопическая запутанность, нелокальные корреляции, время, прогноз

Поступила 06.07.2020

Принята 06.08.2020

© Автор(ы), 2021

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект РФФИ № 20-05-00001)

Введение. Рассмотрение макроскопической запутанности в рамках абсорбционной электродинамики ведет к довольно простому описанию макроскопических нелокальных корреляций между случайными диссипативными процессами в источнике и детекторе [1]. Эти корреляции имеют как запаздывающую, так и опережающую компоненту. В случае их точной симметрии возникает условие для их интерференции и наблюдаются квазимгновенные корреляции (что является обычным в экспериментах с микроскопической запутанностью) [2]. В макроскопической области при наличии промежуточной поглощающей среды опережающая компонента превышает запаздывающую. Вследствие медленного диффузионного обмена запутывание, запаздывание и опережение может быть очень большим, но теоретический расчет пока возможен лишь для предельно упрощенных моделей (например, см. [3–5]). Поэтому экспериментальные оценки макроскопических корреляций важны как сами по себе, так и как рамочные данные для развития теории. Такие корреляции наблюдались в предшествующих лабораторных экспериментах с некоторыми крупномасштабными случайными гелиогеофизическими процессами-источниками. Однако эти эксперименты очень трудны в обычной лаборатории ввиду проблемы защиты детекторов от крайне низкочастотных классических локальных воздействий. Эта проблема решается в глубоководных условиях, что было воплощено в длительном эксперименте, ведущемся (с техническими перерывами) с 2012 г. на базе Байкальской глубоководной нейтринной обсерватории. Эксперимент направлен на изучение нелокальных корреляций между электродными детекторами макроскопических нелокальных корреляций на двух горизонтах в водной толще Байкала и на удаленной на 4200 км наземной обсерватории в Троицке и на изучение корреляций между сигналами детекторов и крупномасштабными природными диссипативными процессами с большой случайной составляющей. Теория и устройство детекторов приведены в [1], описание экспериментальной установки — в [1, 6, 7].

Несколько годовых серий продемонстрировали, что сигналы детекторов откликаются в наибольшей степени на случайные гелиогеофизические (глобальные) процессы и причинная связь сигналов направлена вниз, от земной поверхности к дну озера. Эта нелокальная причинная связь содержит значительную опережающую компоненту, превышающую запаздывающую. Это превышение зависит от массы поглощающей среды, разделяющей детекторы [1, 6, 7]. Нелокальная природа корреляций подтверждена нарушением неравенства стирингов с использованием комбинации солнечной и геомагнитной активности [1, 8, 9]. Далее опе-

режающие и запаздывающие корреляции сигналов детекторов были выявлены с некоторыми региональными процессами-источниками. В частности, примечательным результатом стало обнаружение опережающего отклика придонного детектора нелокальных корреляций на сильное землетрясение. Значительно менее мощным, но непрерывным процессом, вызывающим нелокальный отклик детекторов, является крупномасштабная (долгопериодная) турбулентность в верхнем деятельном слое Байкала. Были продемонстрированы возможности прогнозов случайных компонент солнечной и гидрологической активности на основе опережающих нелокальных корреляций [1, 6–8, 10].

Мощная и спокойная водная толща Байкала служит хорошим экраном от классических воздействий на детекторы, но она ослабляет нелокальные корреляции с удаленными источниками. Поэтому корреляции с гелиофизическими (внешними) и гидрологическими (сосредоточенными в тонком верхнем деятельном слое озера) ранее изучались преимущественно по данным верхнего детектора Ut , расположенного на умеренной глубине 47 м. Данные нижнего детектора Ub , находящегося на глубине 1337 м, использовались для исследования нелокальных корреляций с детектором Ut и с наземным детектором Ul , а самостоятельно — только для изучения нелокального отклика на землетрясения.

Цель работы — проанализировать результаты последней годовой серии измерений (2019/2020 г.), при этом особое внимание уделено именно корреляции сигнала придонного детектора Ub с солнечной активностью и с термодинамической активностью в деятельном верхнем слое Байкала. Хотя эти процессы-источники отделены от детектора Ub гораздо большей поглощающей водной толщей, чем от верхнего детектора Ut , детектор Ub значительно лучше защищен от любых классических локальных воздействий. Например, температурные вариации (наиболее опасная помеха) на горизонте детектора Ub отсутствуют: температура в Байкале на этой глубине постоянна круглый год с точностью до 0,01 К. Поэтому получаемые дальние корреляции практически исключают объяснение какими-либо неучтенными локальными взаимодействиями.

Наиболее сильные макроскопические нелокальные корреляции наблюдаются на крайне низких частотах, поэтому это исследование до сих пор было сосредоточено на длиннопериодной области — десятки и сотни суток. На новом этапе также охватили относительно короткие периоды и обнаружили весьма неожиданную суточную вариацию в сигналах обоих подводных детекторов. Суточная вариация полностью отсутствует в температуре и течении на глубинах не только нижнего, но и верхнего детектора,

поэтому эти сигналы не связаны (локально, или даже нелокально) с любыми гидрологическими процессами. В настоящей работе представлены результаты анализа этого феномена различными методами, вопрос о его природе остался открытым.

Корреляция с солнечной активностью. Синхронные амплитудные спектры сигнала детектора Ub и потока солнечных рентгеновских лучей X (в полосе длин волн $0,5...4,0 \text{ \AA}$, по данным спутников *GOES*) в диапазоне значений периода $10...220$ сут приведены на рис. 1. Как и ранее [6–10], наблюдается подобие спектров сигнала детектора и солнечной активности на периоде, больше синодического периода вращения Солнца (27 сут), т. е. в диапазоне квазипериодов перемежающихся (*intermittent*) вариаций. Эти вариации не имеют определенного периода и случайны в широком диапазоне значений [11]. Напротив, вариации на периоде вращения Солнца и его гармоник высокодетерминированы, и отклик на них почти незаметен.

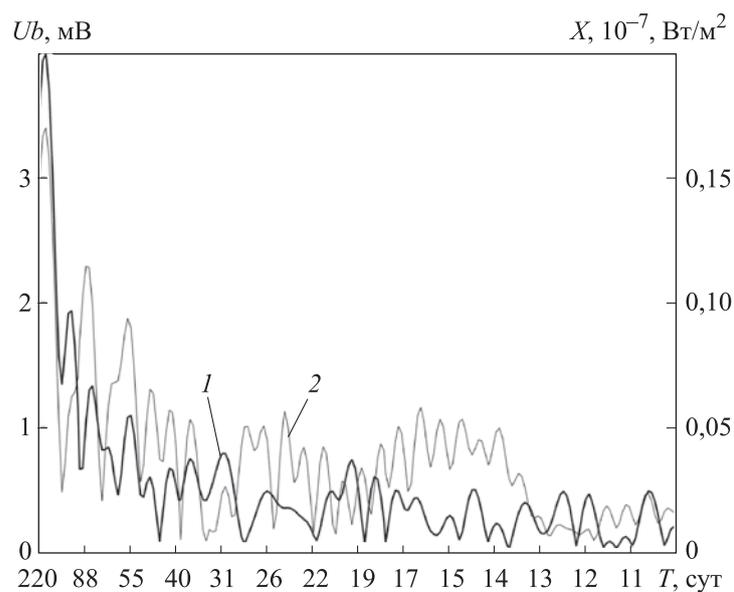


Рис. 1. Амплитудные спектры сигнала детектора Ub (1) и потока солнечного рентгеновского излучения X (2)

Корреляция с солнечной активностью характеризуется особенно большим, порядка сотни суток, опережающим временным сдвигом [1, 6–10], поэтому они могут быть исследованы только спустя год. Однако можно рассмотреть корреляцию сигналов различных детекторов, вызванных солнечной активностью. Ранее было найдено [1, 7, 9], что нелокальная причинная связь между детекторами на различных глубинах направлена вниз, от зем-

ной поверхности к дну Байкала (при этом горизонтальное расстояние между детекторами на земной поверхности не имеет значения). Такая нелокальная причинность имеет как запаздывающую, так и опережающую компоненты, причем последняя превышает первую. Опережающая/запаздывающая асимметрия корреляций максимальна для наиболее разнесенных по глубине детекторов Ul на земной поверхности и Ub у дна Байкала. Однако по техническим причинам получена только одна полная годовичная (2013/2014 гг.) непрерывная синхронная запись Ul , Ub при той же конфигурации глубоководной установки, что и в серии измерений 2019/2020 гг. В настоящее время можно проверить ранее полученные выводы по данным последней полной годовичной серии.

Синхронные нормализованные амплитудные спектры сигналов детекторов Ub и Ul приведены на рис. 2. Сигнал наземного детектора Ul более зашумлен, но подобие спектров очевидно (хотя спектр детектора Ub резко падает к коротким периодам по естественной причине его экранирования водной толщей).

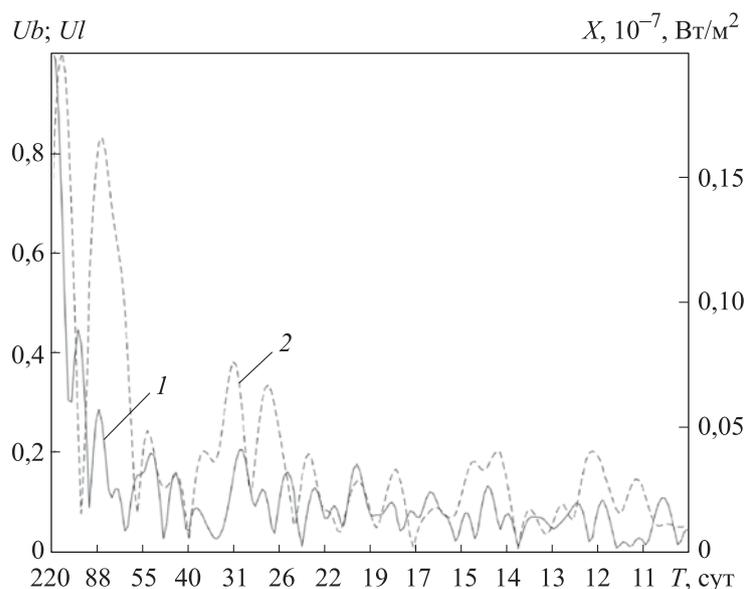


Рис. 2. Синхронные нормализованные амплитудные спектры сигналов детекторов Ub (1) (глубина 1337 м) и Ul (2) (глубина 0)

Для дальнейшего анализа данные подвергнуты полосовой фильтрации в область наиболее явного влияния солнечной активности: $200 > T > 25$ сут. Результаты причинного и корреляционного анализа показаны на рис. 3. Во всем диапазоне сдвигов времени τ наблюдается $\gamma > 1$, что означает

направленность причинной связи $Ul \rightarrow Ub$, т. е. сверху вниз. Глобальный максимум причинности $\gamma = 8,83 \pm 0,05$ и глобальный минимум независимости Ub от Ul $i_{x|y} = 0,06_{-0,00}^{+0,02}$ находятся при опережении $\tau = 21$ сут; глобальный максимум корреляции $r = 0,94 \pm 0,01$ находится при близком значении $\tau = 22$ сут. Главные запаздывающие (*ret*) и опережающие (*adv*) экстремумы всех трех функций асимметричны: $\gamma^{adv}/\gamma^{ret} = 1,62 \pm 0,07$, $i_{x|y}^{ret}/i_{x|y}^{adv} = 1,65 \pm 0,04$, $r^{adv}/r^{ret} = 1,02 \pm 0,01$. Результаты, показанные на рис. 3, очень сходны с результатами, полученными по серии 2013/2014 гг. (см. [7, Fig. 5], где глобальный максимум $\gamma = 6,2$ и глобальный минимум $i_{x|y} = 0,08$ были при опережении $\tau = 24$ сут, $\gamma^{adv}/\gamma^{ret} = 2,1$).

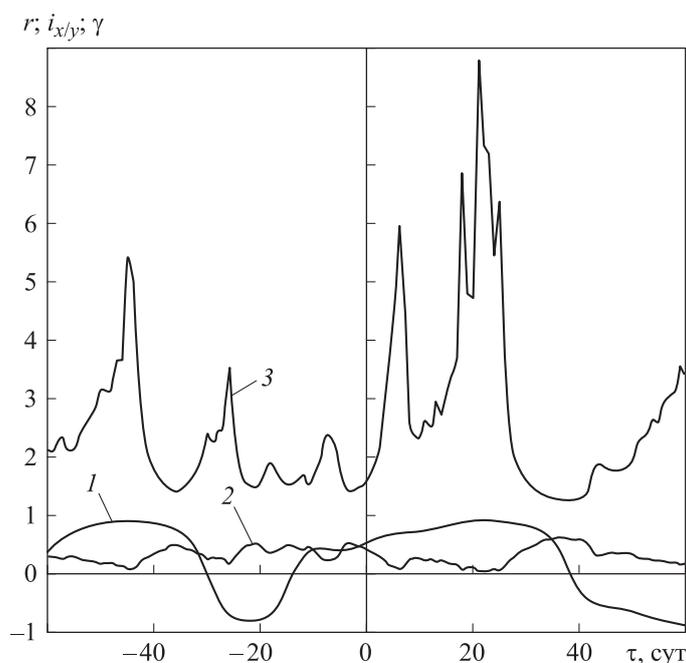


Рис. 3. Результаты причинного и корреляционного анализа $Ub(x)$ и $Ul(y)$ в полосе периодов $200 > T > 25$ сут, $\tau < 0$ соответствует запаздыванию Ub относительно Ul , $\tau > 0$ — опережению:

$$1 - r; 2 - i_{x|y}; 3 - \gamma$$

Корреляция с гидрологической активностью и ее прогностическое применение. Крупномасштабная (и, соответственно, длиннопериодная) турбулентность в деятельном верхнем слое Байкала является другим случайным диссипативным процессом-источником. Выделить отклик детек-

тора на этот процесс труднее, поскольку его спектр перекрывается со спектром такого мощного источника, как солнечная активность. Синхронные амплитудные спектры сигнала детектора Ub и длиннопериодных флуктуаций температуры t на глубине 20 м приведены на рис. 4. Имеется не совершенное, но заметное подобие спектров на периодах более 39 сут.

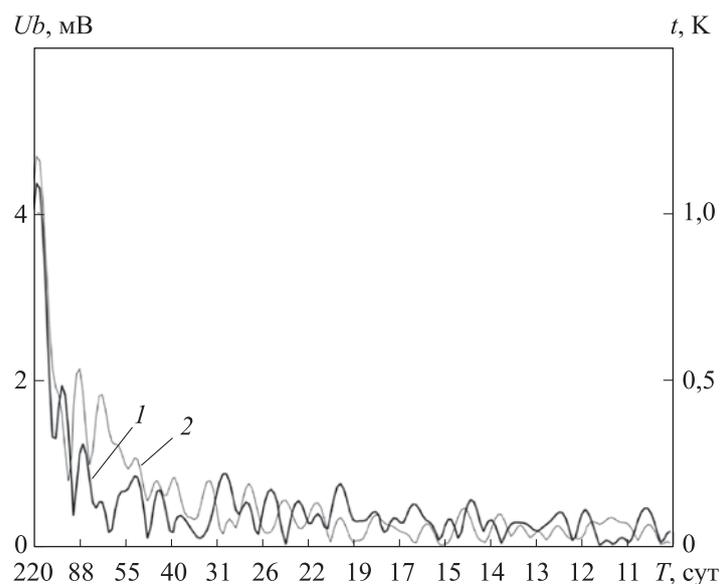


Рис. 4. Амплитудные спектры сигнала детектора Ub (1) (глубина 1337 м) и длиннопериодных флуктуаций температуры t (2) (глубина 20 м)

Для дальнейшего анализа данные подвергнуты низкочастотной фильтрации $T > 39$ сут. Результаты причинного и корреляционного анализа приведены на рис. 5. В принятых обозначениях функций независимости i , переменных y от x и x от y и функции причинности $\gamma = i_{y|x}/i_{x|y}$ величина $\gamma > 1$ соответствует направленности причинной связи $y \rightarrow x$. При опережении Ub относительно t $\tau = 24$ сут наблюдается максимум $\gamma = 1,67 \pm 0,03$, соответствующий причинной связи $t \rightarrow Ub$. При том же значении τ имеется минимум функции независимости Ub от t : $i_{x|y} = 0,21_{-0,01}^{+0,02}$. Максимум корреляционной функции $r = 0,94 \pm 0,01$ находится при слегка отличном значении $\tau = 27$ сут (это неудивительно, поскольку корреляционная функция адекватна только при линейной связи, тогда как функция независимости индифферентна к любой нелинейности).

Следовательно, и в этом случае наблюдается опережающая корреляция, тогда как запаздывающая подавлена. Это является результатом асимметричного поглощения поля Уилера — Фейнмана промежуточной

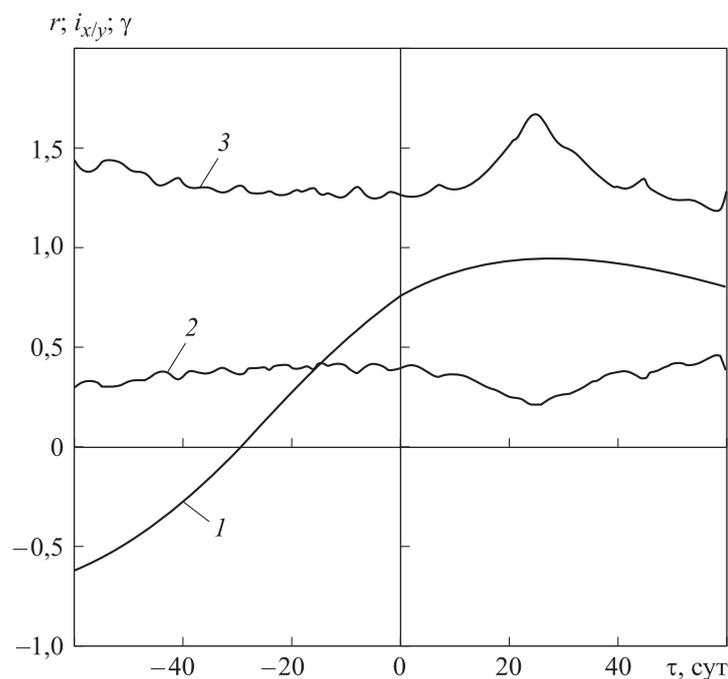


Рис. 5. Результаты причинного и корреляционного анализа $Ub(x)$ и $t(y)$, $\tau < 0$ соответствует запаздыванию Ub относительно t , $\tau > 0$ — опережению:

$$1 - r; 2 - i_{x/y}; 3 - \gamma$$

средой между источником и детектором. Впервые такая асимметрия предсказана Ф. Хойлом и Дж. Нарликармом [12]. Она интерпретирована как свидетельство в пользу стационарной или квазистационарной космологии, но в [1] было показано, что их формальное доказательство не зависит от какой-либо космологии и, очевидно, эта асимметрия поглощения веществом просто отражает фундаментальную асимметрию времени.

Значительная опережающая корреляция может быть использована для прогноза температуры с оптимальной заблаговременностью 27 сут. Отметим, что хотя сама возможность прогноза легко демонстрируется сдвигом временных рядов, его практическая реализация нетривиальна. Действительно, $\gamma > 1$ при $\tau > 0$ отвечает принципу слабой причинности [13] и является свидетельством макроскопической запутанности, но и означает, что прогноз является решением обратной задачи (расчет причины по следствию), а не прямой (следствия по причине), как обычно, например, в метеорологии. Для ее решения разработан алгоритм текущей свертки [1], учитывающий немарковский характер процессов. На первичном обучающем интервале вычисляется импульсная переход-

ная характеристика $g(\tau)$, которая связывает сигнал детектора x и прогнозируемую величину y как решение уравнения:

$$y(t) = \int_{t_1}^{t_n} g(\tau)x(t-\tau)d\tau.$$

Полученная характеристика $g(\tau)$ затем используется для вычисления первого прогнозируемого значения y с опережением, соответствующим положению (временному сдвигу) глобального максимума корреляции x , y . На следующем шаге (сутках) обучающий интервал подтягивается вперед, прогнозируется следующее значение y и т. д. Такая процедура позволяет минимизировать влияние нестационарности или нелинейности. Для подавления остаточной неустойчивости решения полученная последовательность подвергается оптимальной постфильтрации. Результатом является прогностическая серия с фиксированной заблаговременностью. Успешное применение алгоритма требует длины временного ряда, многократно большей этой заблаговременности. При этом следует отметить, что хотя приведенное уравнение с текущей характеристикой $g(\tau)$ может хорошо воспроизводить t по U_b , в симуляции реального прогноза должен быть пробел между концом текущего обучающего интервала и текущим прогностическим моментом, равный 27 сут, что влечет неизбежную погрешность за счет нестационарности.

Результат прогноза приведен на рис. 6. Хотя картина, возможно, не слишком впечатляющая, среднеквадратическая погрешность для месячного прогноза по обычным гидрологическим стандартам является малой (1,19 °C).

Суточная вариация. Наиболее сильные макроскопические нелокальные корреляции сигнала детектора с солнечной и гидрологической активностью, как было показано выше (и см. [1, 6–10]), наблюдаются в очень длиннопериодной области, десятки-сотни суток. То же относится к большой серии предшествующих лабораторных экспериментов по изучению нелокальных корреляций с солнечной активностью и более слабыми источниками — геомагнитной и метеорологической активностью [1]. В лабораторных данных также присутствовала суточная вариация, но поскольку пассивное термостатирование лабораторных детекторов ослабляло, но не подавляло полностью температурную помеху (активное неприменимо в таких экспериментах), эта суточная вариация исключалась из рассмотрения. На настоящем этапе в данных Байкальского эксперимента была изучена, в том числе относительно короткопериодная область, обнаружена весьма странная суточная вариация в сигналах

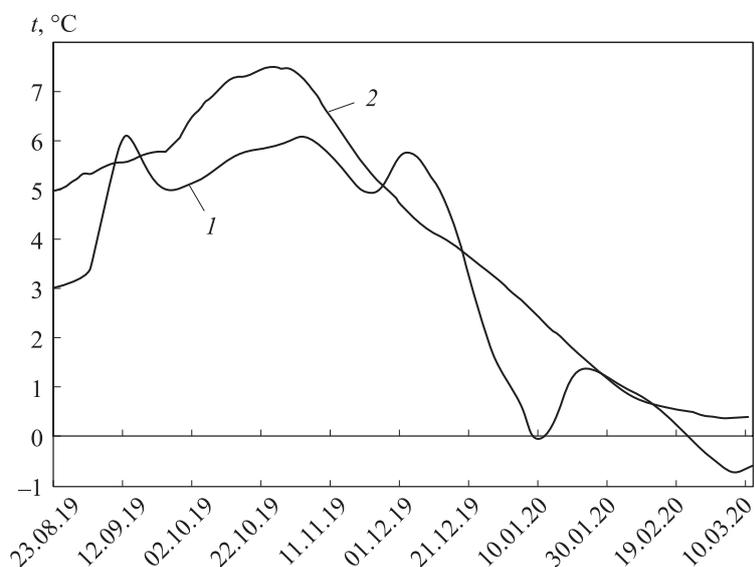


Рис. 6. Прогнозируемая температура t на глубине 20 м с фиксированной заблаговременностью 27 сут по сигналу придонного детектора U_b , расположенного на глубине 1337 м (1), по сравнению с фактической (2) (среднеквадратическая погрешность 1,19 °С)

обоих детекторов U_t и U_b (рис. 7). Имеется четкая спектральная линия на периоде 24 ч. Отношение амплитуд $U_b/U_t = 0,63$, разность фаз U_b и U_t $\Delta\varphi = 1^\circ$.

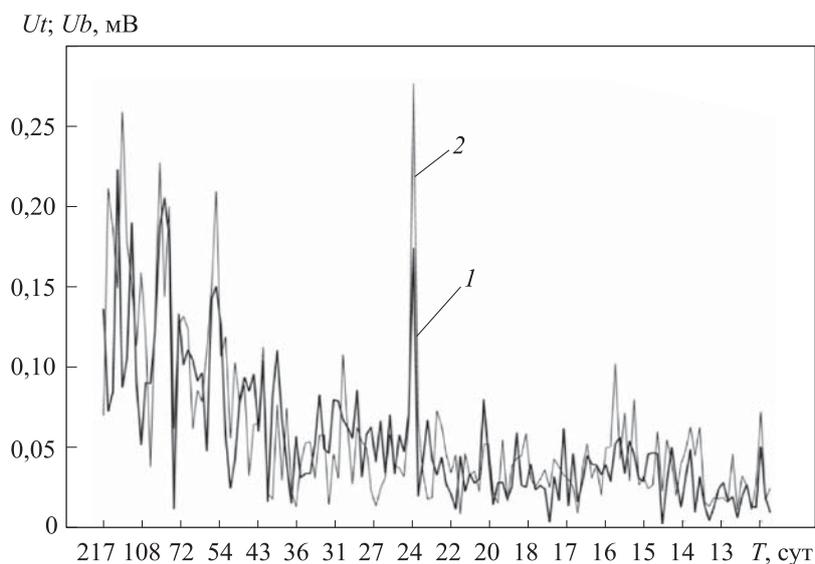


Рис. 7. Короткопериодные амплитудные спектры сигналов детекторов U_t (1) (глубина 47 м) и U_b (2) (глубина 1337 м)

Это крайне удивительно, поскольку хорошо известно, что суточная вариация температуры пренебрежимо мала даже на поверхности воды и полностью исчезает уже на глубине нескольких метров. Еще можно предположить воздействие на детекторы суточных течений, но такие течения в Байкале крайне слабы и охватывают только тонкий поверхностный слой. Тем не менее было решено удостовериться в этом, используя имеющиеся синхронные измерения температуры и скорости течений на глубинах 50 и 450 м. Результаты приведены на рис. 8: суточная вариация температуры и течения отсутствует. Следовательно, суточная вариация в сигналах детекторов не может быть вызвана никакими локальными (и даже нелокальными) гидрологическими процессами.

Методом наложения эпох получена форма суточной вариации детекторов Ut и Ub (рис. 9). Вариация в нижнем детекторе меньше, чем в верхнем, она опережает последнюю по фазе. Отношение амплитуд первых гармоник кривых на рис. 9 $Ub/Ut = 0,61$, разность фаз Ub и Ut $\Delta\varphi = 11^\circ$.

Суточная вариация не имеет источника в гидросфере, ее значение уменьшается с глубиной, а ее максимум с глубиной наступает несколько раньше. Остается предположить, что ее источник находится в атмосфере или на земной поверхности. К сожалению, причинный анализ не может быть использован к суточной вариации, поскольку он применим только к достаточно широкополосным сигналам. Однако, поскольку предполагается, что источником являются атмосферные процессы, можно рассматривать сигналы в полосе периода $7 > T > 1$ сут, соответствующей типичным синоптическим вариациям в приземной атмосфере. Результаты причинного и корреляционного анализа показаны на рис. 10. При $\tau = 0$ (с точностью 1 ч) находится небольшой, но очевидный максимум причинности. Ясно выраженный минимум независимости Ub от Ut и максимум их корреляции $\gamma > 1$ означает, что причинная связь направлена сверху вниз. Околонулевое по τ положение всех экстремумов более соответствует оценке $\Delta\varphi = 1^\circ$ из спектрального анализа полных рядов, чем $\Delta\varphi = 11^\circ$ из гармонического анализа средних суточных вариаций. Таким образом, направленность причинной связи та же, что и в длиннопериодной области, что естественно для процессов-источников выше гидросферы.

Наиболее вероятно, что таким процессом является переизлучение солнечной радиации земной поверхностью, которое имеет главную суточную периодичность (хотя также охватывает синоптический диапазон) и значительно более мощный, в смысле производства энтропии, по сравнению с другими метеорологическими процессами [1, 14, 15]. Эта гипотеза очень правдоподобна, но некоторые из фактов остаются трудными

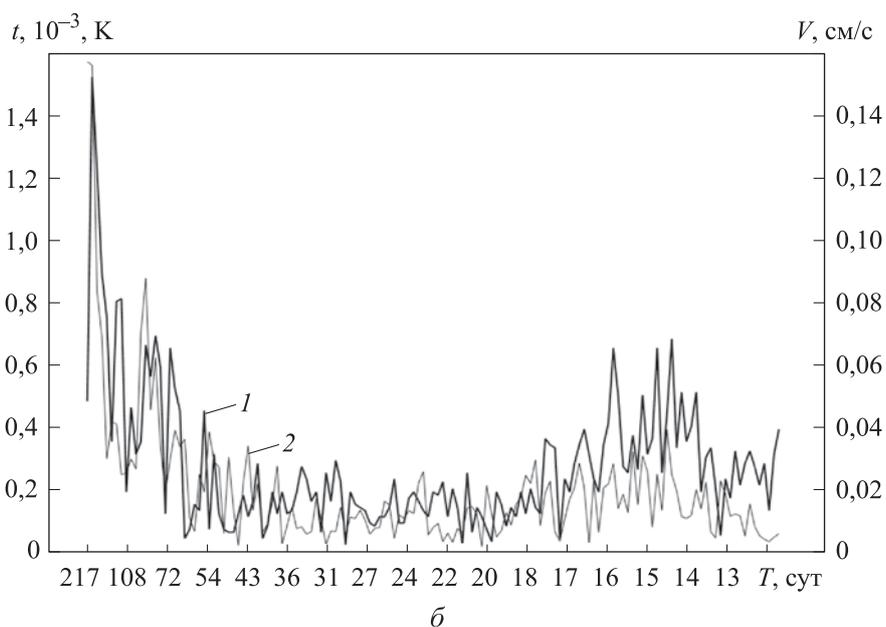
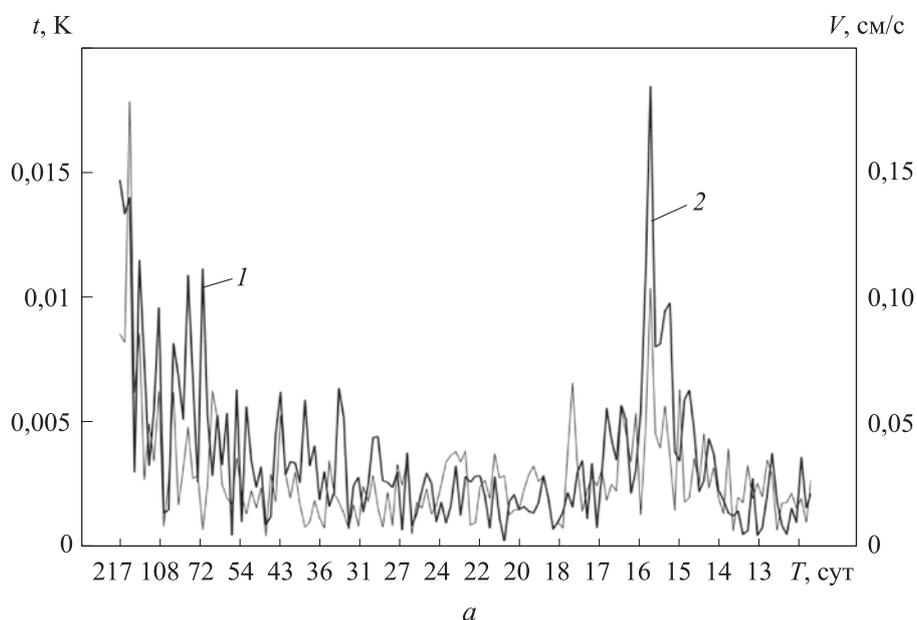


Рис. 8. Короткопериодные амплитудные спектры температуры t (1) и скорости течения V (2) на глубинах 50 (а) и 450 м (б)

для объяснения. Во-первых, максимумы кривых на рис. 9 приходятся на время около полудня по мировому (UT), а не местному времени (UT + 8 ч). Во-вторых, авторы работы не могут объяснить пренебрежимо малый временной сдвиг нелокальной корреляции (см. рис. 10) по сравне-

нию с тем, который всегда наблюдается для гидрологического источника при примерно той же толщине поглощающей среды и отличающегося по периоду лишь на один, максимум два порядка.

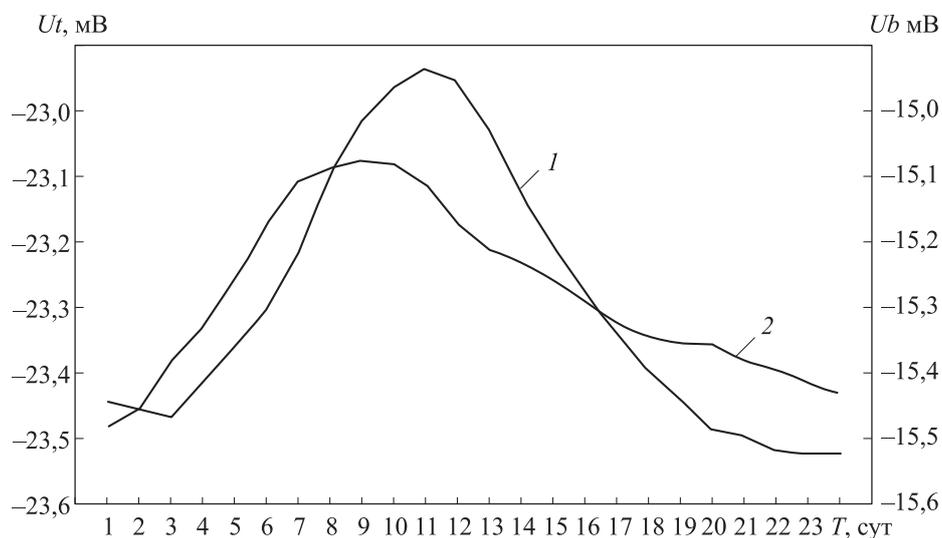


Рис. 9. Средняя суточная вариация детекторов Ut (1) и Ub (2)

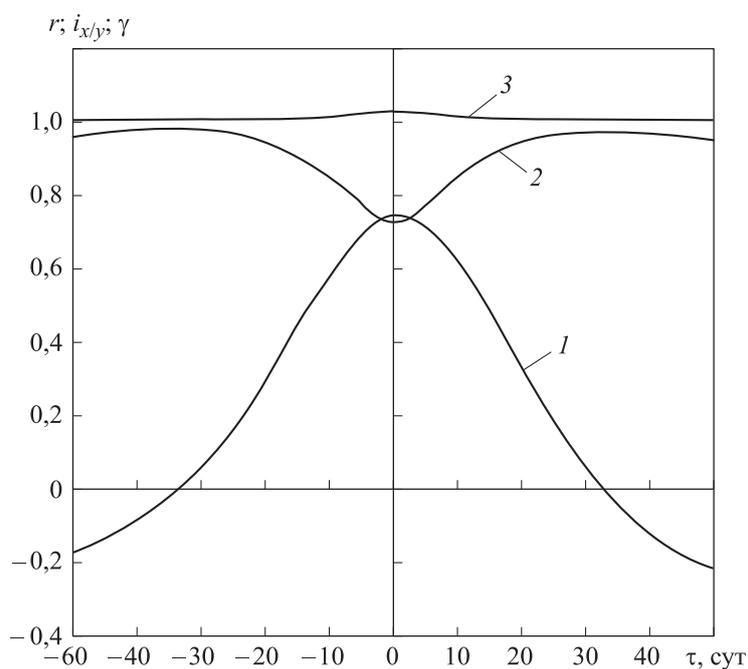


Рис. 10. Результаты причинного и корреляционного анализа $Ub(x)$ и $Ut(y)$ в полосе периодов $7 > T > 1$ сут, $\tau < 0$ соответствует запаздыванию Ub относительно Ut , $\tau > 0$ — опережению:

$$1 - r; 2 - i_{x/y}; 3 - \gamma$$

Заключение. Последние результаты Байкальского эксперимента по измерению макроскопических нелокальных корреляций подтвердили преобладающую роль в них случайной компоненты солнечной активности. Другой важный процесс-источник — температурные вариации в верхнем слое Байкала, вызывающие значительную опережающую нелокальную корреляцию с придонным детектором, находящимся в условиях практически идеального термостатирования. Во всех случаях опережающая корреляция больше запаздывающей. Выполнена симуляция длительного реального прогноза температуры в верхнем слое Байкала по данным придонного детектора с фиксированной заблаговременностью около 1 мес. Обнаружена необычная суточная вариация в сигналах обоих глубоководных детекторов. Нелокальная причинная связь сигналов детекторов направлена от поверхности к дну озера, но в отличие от всех случаев, исследованных ранее, является почти синхронной (вероятно, с относительно малым опережением). Эта вариация может быть нелокальным откликом на процесс переизлучения земной поверхностью солнечной радиации, хотя такая гипотеза еще не объясняет всех черт наблюдаемого явления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Коротаев С.М., Морозов А.Н. Нелокальность диссипативных процессов — причинность и время. М., ФИЗМАТЛИТ, 2018.
- [2] Cramer J.G. The transactional interpretation of quantum mechanics. *Rev. Mod. Phys.*, 1986, vol. 58, iss. 3, pp. 647–688. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.58.647>
- [3] Cubitt T.S., Verstraete F., Cirac J.I. Entanglement flow in multipartite systems. *Phys. Rev. A*, 2005, vol. 71, iss. 5, art. 052308. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.71.052308>
- [4] Fitzsimons J., Twamley J. Superballistic diffusion of entanglement in disordered spin chains. *Phys. Rev. A*, 2005, vol. 72, iss. 5, art. 050301. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.72.050301>
- [5] Braun D. Entanglement from black body radiation. *Phys. Rev. A*, 2005, vol. 72, iss. 6, art. 062324. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.72.062324>
- [6] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Байкальский эксперимент по наблюдению опережающих нелокальных корреляций крупномасштабных процессов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2014, № 1 (52), с. 35–53.
- [7] Korotaev S.M., Serdyuk V.O., Kiktenko E.O., et al. Results of the Baikal experiment of observations of macroscopic nonlocal correlations in reverse time. In: *Unified Field Mechanics. World Scientific*, 2015, pp. 366–373. DOI: https://doi.org/10.1142/9789814719063_0038

[8] Korotaev S.M., Serdyuk V.O., Budnev N.M. Advanced response of the Baikal macroscopic nonlocal correlation detector to the heliogeophysical processes. In: *Unified Field Mechanics II. World Scientific*, 2018, pp. 375–380.

DOI: https://doi.org/10.1142/9789813232044_0035

[9] Korotaev S., Budnev N., Serdyuk V., et al. Macroscopic entanglement and time reversal causality by data of the Baikal experiment. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2018, vol. 1051, art. 012019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1051/1/012019>

[10] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Новые результаты Байкальского эксперимента по прогностическому эффекту макроскопических нелокальных корреляций. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2019, № 4 (85), с. 56–72.

DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2019-4-56-72>

[11] Lean J.L., Brueckner G.E. Intermediate-term solar periodicities: 100–500 days. *Astrophys. J.*, 1989, vol. 337, pp. 568–578. DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/167124>

[12] Hoyle F., Narlikar J.V. Cosmology and action-at-a-distance electrodynamics. *Rev. Mod. Phys.*, 1995, vol. 67, iss. 1, pp. 113–156.

DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.67.113>

[13] Cramer J.G. Generalized absorber theory and Einstein — Podolsky — Rosen paradox. *Phys. Rev D*, 1980, vol. 22, iss. 2, pp. 362–376.

DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.22.362>

[14] Морозов А.Н. Воздействие метеорологических факторов на длиннопериодные вариации меры Кульбака флуктуаций напряжения на электролитических ячейках. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2015, № 4 (61), с. 57–66. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2015-4-57-66>

[15] Morozov A.N. Calculation of the intensity of physical time fluctuations using the Standard Solar Model and its comparison with the results of experimental measurements. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2017, vol. 918, art. 01208.

DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/918/1/012008>

Коротаев Сергей Маратович — д-р физ.-мат. наук, заместитель директора ЦГЭМИ ИФЗ РАН (Российская Федерация, 108840, Москва, Троицк, а/я 30).

Буднев Николай Михайлович — д-р физ.-мат. наук, директор НИИПФ ИГУ (Российская Федерация, 664003, Иркутск, Гагарина бульвар, д. 20).

Сердюк Вячеслав Олегович — старший научный сотрудник ЦГЭМИ ИФЗ РАН (Российская Федерация, 108840, Москва, Троицк, а/я 30).

Киктенко Евгений Олегович — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник ЦГЭМИ ИФЗ РАН (Российская Федерация, 108840, Москва, Троицк, а/я 30).

Орехова Дарья Александровна — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник ЦГЭМИ ИФЗ РАН (Российская Федерация, 108840, Москва, Троицк, а/я 30).

Горохов Юрий Васильевич — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник ИЗМИРАН (Российская Федерация, 108840, Москва, Троицк, Калужское ш., д. 4).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Макроскопические нелокальные корреляции по данным новых глубоководных измерений. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2021, № 2 (95), с. 52–70.

DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2021-2-52-70>

**MACROSCOPIC NONLOCAL CORRELATIONS IN THE DATA
OBTAINED IN NEW DEEP-WATER MEASUREMENTS**

S.M. Korotaev¹

N.M. Budnev²

V.O. Serdyuk¹

E.O. Kiktenko¹

D.A. Orekhova¹

Yu.V. Gorokhov³

korotaev@igemi.troitsk.ru

nbudnev@api.isu.ru

troitsk-school@mail.ru

evgeniy.kiktenko@gmail.com

ordaal@gmail.com

jugoroh@mail.ru

¹ **Geoelectromagnetic Research Centre, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Troitsk, Moscow, Russian Federation**

² **Applied Physics Institute, Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation**

³ **Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Troitsk, Moscow, Russian Federation**

Abstract

Macroscopic nonlocal correlations of random dissipative processes manifest at extremely low frequencies, meaning that observing them involves long-term experiments that maintain highly stable conditions in the detectors. This motivated the Baikal experiment, which investigates correlations between helio-geophysical processes featuring a high random component and test random processes in the detectors installed at various depths in the lake and at a remote land observatory. In the latest year-long experiment series, we focused on the data coming from the bottom detector, the one best protected from classical local interference. The results confirm that correlation with solar activity dominates the detector signal and, at the same time, it is easy to distinguish a forward correlation with thermodynamic activity in the upper active layer of Lake Baikal. The presence of this significant forward

Keywords

Macroscopic entanglement, nonlocal correlations, time, prediction

nonlocal correlation made it possible to simulate a realistic forecast of the active layer temperature a month ahead. We also detected an unusual diurnal variation in the relatively short-period spectrum of deep-water detector signals, presumably associated with the re-emission of solar radiation by the Earth surface

Received 06.07.2020

Accepted 06.08.2020

© Author(s), 2021

The study was supported by RFBR (RFBR project no. 20-05-00001)

REFERENCES

- [1] Korotaev S.M., Morozov A.N. Nelokal'nost' dissipativnykh protsessov — prichinost' i vremya [Nonlocality of the dissipative processes: causality and time]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2018.
- [2] Cramer J.G. The transactional interpretation of quantum mechanics. *Rev. Mod. Phys.*, 1986, vol. 58, iss. 3, pp. 647–688.
DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.58.647>
- [3] Cubitt T.S., Verstraete F., Cirac J.I. Entanglement flow in multipartite systems. *Phys. Rev. A*, 2005, vol. 71, iss. 5, art. 052308.
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.71.052308>
- [4] Fitzsimons J., Twamley J. Superballistic diffusion of entanglement in disordered spin chains. *Phys. Rev. A*, 2005, vol. 72, iss. 5, art. 050301.
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.72.050301>
- [5] Braun D. Entanglement from black body radiation. *Phys. Rev. A*, 2005, vol. 72, iss. 6, art. 062324. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.72.062324>
- [6] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. The Baikal experiment regarding the observations of leading nonlocal correlations of large-scale processes. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2014, no. 1 (52), pp. 35–53 (in Russ.).
- [7] Korotaev S.M., Serdyuk V.O., Kiktenko E.O., et al. Results of the Baikal experiment of observations of macroscopic nonlocal correlations in reverse time. In: *Unified Field Mechanics. World Scientific*, 2015, pp. 366–373.
DOI: https://doi.org/10.1142/9789814719063_0038
- [8] Korotaev S.M., Serdyuk V.O., Budnev N.M. Advanced response of the Baikal macroscopic nonlocal correlation detector to the heliogeophysical processes. In: *Unified Field Mechanics II. World Scientific*, 2018, pp. 375–380.
DOI: https://doi.org/10.1142/9789813232044_0035
- [9] Korotaev S., Budnev N., Serdyuk V., et al. Macroscopic entanglement and time reversal causality by data of the Baikal experiment. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2018, vol. 1051, art. 012019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1051/1/012019>
- [10] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. New results of the Baikal experiment on forecasting effect of macroscopic nonlocal correlations. *Herald of the Bauman*

Moscow State Technical University, Series Natural Sciences, 2019, no. 4 (85), pp. 56–72 (in Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2019-4-56-72>

[11] Lean J.L., Brueckner G.E. Intermediate-term solar periodicities: 100–500 days. *Astrophys. J.*, 1989, vol. 337, pp. 568–578. DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/167124>

[12] Hoyle F., Narlikar J.V. Cosmology and action-at-a-distance electrodynamics. *Rev. Mod. Phys.*, 1995, vol. 67, iss. 1, pp. 113–156. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.67.113>

[13] Cramer J.G. Generalized absorber theory and Einstein — Podolsky — Rosen paradox. *Phys. Rev D*, 1980, vol. 22, iss. 2, pp. 362–376. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.22.362>

[14] Morozov A.N. The influence of meteorological factors on the long-period variation of the Kullback measure of voltage fluctuations on the electrolytic cells. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2015, no. 4 (61), pp. 57–66 (in Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2015-4-57-66>

[15] Morozov A.N. Calculation of the intensity of physical time fluctuations using the Standard Solar Model and its comparison with the results of experimental measurements. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2017, vol. 918, art. 01208. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/918/1/012008>

Korotaev S.M. — Dr. Sc. (Phys.-Math.), Deputy Director, Geoelectromagnetic Research Centre, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences (P.O. Box 30 Troitsk, Moscow, 108840 Russian Federation).

Budnev N.M. — Dr. Sc. (Phys.-Math.), Director, Applied Physics Institute, Irkutsk State University (Gagarin bulvar 20, Irkutsk, 664003 Russian Federation).

Serdyuk V.O. — Senior Researcher, Geoelectromagnetic Research Centre, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences (P.O. Box 30 Troitsk, Moscow, 108840 Russian Federation).

Kiktenko E.O. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Researcher, Geoelectromagnetic Research Centre, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences (P.O. Box 30 Troitsk, Moscow, 108840 Russian Federation).

Orekhova D.A. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Researcher, Geoelectromagnetic Research Centre, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences (P.O. Box 30 Troitsk, Moscow, 108840 Russian Federation).

Gorokhov Yu.V. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Researcher, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences (Kaluzhskoe schosse 4, Troitsk, Moscow, 108840 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. Macroscopic nonlocal correlations in the data obtained in new deep-water measurements. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2021, no. 2 (95), pp. 52–70 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2021-2-52-70>



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография авторов
И.В. Фомина, С.В. Червона, А.Н. Морозова

**«Гравитационные волны
ранней Вселенной»**

Рассмотрены применение скалярных полей в космологии и методы построения моделей ранней Вселенной на основе их динамики. Выполнен анализ динамики Вселенной на различных стадиях ее эволюции. Проведен расчет параметров космологических возмущений. Представлены методы верификации инфляционных моделей и новые методы детектирования гравитационных волн.

По вопросам приобретения обращайтесь:
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
+7 (499) 263-60-45
press@bmstu.ru
<https://bmstu.press>