

## НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ БАЙКАЛЬСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПРОГНОСТИЧЕСКОМУ ЭФФЕКТУ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ НЕЛОКАЛЬНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ

С.М. Коротаев<sup>1,2</sup>

Н.М. Буднев<sup>3</sup>

В.О. Сердюк<sup>1</sup>

Е.О. Киктенко<sup>1,2</sup>

Д.А. Орехова<sup>1</sup>

korotaev@igemi.troitsk.ru

nbudnev@api.isu.ru

troitsk-school@mail.ru

evgeniy.kiktenko@gmail.com

ordaal@gmail.com

<sup>1</sup> ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Троицк, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> НИИПФ ИГУ, Иркутск, Российская Федерация

---

### Аннотация

С 2012 г. проводится длительный глубоководный эксперимент по изучению макроскопических квантовых нелокальных корреляций природных крупномасштабных случайных диссипативных процессов в озере Байкал. Изучены корреляции пробных процессов в изолированных от классических локальных воздействий детекторах между собой и с крупномасштабными процессами-источниками. Эти корреляции наблюдаются на крайне низких частотах и характеризуются большими временными сдвигами. Важнейшая характеристика нелокальных корреляций случайных процессов — наличие в них значительной опережающей компоненты. Доминирующим источником является солнечная активность. Выявлены корреляции с макротурбулентностью в деятельном слое озера Байкал. Опережающие нелокальные корреляции могут быть применены для прогноза процессов с большой случайной составляющей. По последним материалам эксперимента получена прогностическая серия макротурбулентных вариаций скорости течения в деятельном слое, продемонстрировавшая точность прогноза порядка десятых см/с при опережении около месяца. Продemonстрирована возможность использования нелокальных корреляций для прогноза солнечной активности с опережением примерно год

### Ключевые слова

Макроскопическая запутанность, нелокальные корреляции, время, прогноз, Байкальский эксперимент

Поступила 15.06.2018

© Автор(ы), 2019

---

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и правительства Иркутской области (проект № 17-45-388053)*

**Введение.** Согласно квантовому принципу слабой причинности [1], для неизвестных запутанных состояний (или для случайных процессов) возможны опережающие нелокальные корреляции через временеподобный интервал. При электромагнитном взаимодействии эффективность поглощения опережающего поля Уиллера — Фейнмана меньше запаздывающего [2]. Это приводит к тому, что уровень опережающей корреляции через поглощающую среду превышает уровень запаздывающей. Строгий расчет нелокальных корреляций для макроскопических систем возможен лишь для частных идеализированных физических моделей. В экспериментах по изучению нелокальных корреляций крупномасштабных диссипативных процессов используют уравнение макроскопической запутанности, полученное на основе абсорбционной электродинамики Уиллера — Фейнмана и ее квантового обобщения (например, [3]). Это уравнение частично проверено теоретически (на модели спинового газа) и экспериментально (для магнитосферных источников) [3, 4]. «Частичность» заключается в том, что удалось продемонстрировать соответствие величины отклика пробного процесса в детекторе на процесс-источник теоретическому предсказанию; но временной сдвиг, определяемый в природных макропроцессах крайне сложным диффузионным обменом запутанностью, теоретически рассчитать невозможно. Поэтому экспериментальные оценки временных сдвигов важны как для прогностических приложений, так и для рамочных условий развития теории.

Экспериментальная задача заключается в установлении корреляции между процессом-источником и полностью изолированным от классических локальных воздействий пробным процессом в детекторе. Хотя многие природные случайные диссипативные процессы могут быть такими источниками вследствие принципа моногамности квантовых корреляций, их число, вызывающее заметный отклик детектора, невелико. Длительные эксперименты в различных лабораториях и с различными типами детекторов показали, что доминирующим источником является солнечная активность [3, 5]. В меньшей степени проявляется глобальная геомагнитная активность (которая удобна для количественной интерпретации, а в сочетании с солнечной позволила проверить нарушение неравенства стирингов, доказывающее нелокальность корреляций) и региональная синоптическая активность. Доказана возможность прогноза случайных компонент солнечной и геомагнитной активности на основе нелокальных корреляций [3, 4, 6].

Наиболее сильные макроскопические нелокальные корреляции наблюдаются на крайне низких частотах (периода несколько месяцев),

что требует постановки длительных экспериментов в высокостабильных условиях, с большим трудом достигаемых в обычной лаборатории. Поэтому в 2012 г. начат новый эксперимент на базе Байкальской глубоководной нейтринной обсерватории. Байкал — глубочайшее озеро в мире, и его мощный и спокойный водный слой представляет хорошую защиту от классических локальных воздействий. В частности, на глубине нескольких десятков метров естественное термостатирование оказывается лучше достижимого в обычных лабораторных условиях. Кроме того, легко реализуемы измерения на различных глубинах, что позволяет исследовать нелокальный отклик от разных источников (включая региональные, такие, как землетрясения и гидросферная турбулентность) с регулируемым поглощающим водным слоем отношением сигнал/шум.

В настоящей работе после краткого описания Байкальского эксперимента и его предшествующих результатов представлены результаты, касающиеся прогностического эффекта нелокальных корреляций.

**Байкальский эксперимент.** Выбраны детекторы электродного типа, которые, как показал предшествующий эксперимент, оказались самыми надежными для работы в длительном режиме. Пробным процессом в них являются спонтанные (не обусловленные никакими классическими локальными воздействиями) вариации собственных потенциалов пары электродов в электролите. Нелокальные корреляции проявляются в наномасштабном изменении энтропии жидкой фазы двойного слоя; теория детектора [3] связывает изменение энтропии с измеряемым сигналом разности значений собственных потенциалов. Детекторы представляют подобранные пары слабополяризующихся метрологических серебряных-хлорсеребряных электродов ХД-5.519.00 с малым (несколько сантиметров) расстоянием между контактными окнами. Эти электроды выбраны как лучшие по нечувствительности собственных потенциалов к физико-химическим условиям окружения.

Экспериментальная установка развернута на глубине 1367 м и включает в себя два электродных детектора на различных горизонтах (верхний  $U_t$ , нижний  $U_b$ ), аппаратуру контроля состояния окружающей среды и блок электроники, рассчитанный на годичную автономную работу. Относительная погрешность измерений сигналов детекторов не более 0,01 %. Ежегодно в марте установка поднимается на лед для считывания данных, смены элементов питания и необходимой модификации. В окончательной конфигурации детектор  $U_t$  располагается на глубине 47 м, детектор  $U_b$  — 1337 м. В эксперимент также входят синхронные измерения с удаленным электродным детектором на наземной лабораторной установке, распо-

женной в Троицке ( $U_I$ ). Данные обрабатываются (совместно с индексами активности гелиогеофизических процессов-источников) различными методами спектрального, корреляционного и причинного анализа. Детальное описание техники эксперимента и методики обработки данных приведены в работах [7–9].

Результаты нескольких годовых серий подтвердили вывод о доминировании солнечной активности в корреляциях сигнала детектора с внешними процессами. При этом с сигналом детектора коррелирует именно случайная составляющая солнечной активности, которая представлена в ее спектре перемежающимися (*intermittent*) вариациями. Они не имеют определенного периода и занимают полосу периодов примерно от 40 сут до года. Напротив, детерминированная вращением Солнца 27-суточная вариация, имеющая наибольшую амплитуду во всех индексах солнечной активности, почти не вызывает отклика детектора. Корреляция сигнала детектора с солнечной активностью имеет запаздывающую и примерно симметричную по сдвигу времени опережающую компоненты, причем последняя всегда больше. Главный максимум корреляции наблюдается при опережении порядка 100 сут, и это значение существенно меняется от года к году.

Сигналы различных детекторов высоко коррелированы при горизонтальном разnose по крайней мере до 4200 км. Между сигналами детекторов на земной поверхности не обнаружено причинной связи. Эта связь появляется, если детекторы разделены по вертикали экранирующим слоем плотного вещества — воды, она направлена от земной поверхности вниз и акцентируется при увеличении толщины слоя. При этом корреляция и причинность разделяются на примерно симметричные по сдвигу времени ( $\pm (20...30)$  сут) запаздывающую и опережающие компоненты. Опережающий максимум корреляции всегда больший. Наибольшая асимметрия максимумов наблюдается при наибольшем вертикальном разnose детекторов: земная поверхность — дно Байкала. По отношению к солнечной (и геомагнитной) активности наибольшим отношением сигнал/шум обладает детектор  $U_t$  (в детекторе  $U_I$  имеется шум от атмосферных процессов, а в детекторе  $U_b$  сигнал ослаблен полной водной толщей). Именно вследствие существенного экранирования от солнечно-геомагнитной и гидродинамической активности (последняя охватывает только верхний деятельный слой озера до глубины  $\approx 500$  м) детектор  $U_b$  обладает высоким отношением сигнал/шум по отношению к литосферным процессам — землетрясениям. Байкальский рифт — сейсмически активная зона, но в масштабе эксперимента достаточно мощные землетрясения в окрестностях установки — редкое событие. За время наблюдений произошло только одно землетрясение

(22.12.2013, магнитуда 5,6), которое вызвало четкое возмущение в практически не зашумленной записи детектора  $Ub$ , включая опережающий всплеск сигнала за 6 сут до события, в то время как в детекторе  $Ut$  величина возмущения сопоставима с шумом.

Более слабым, но постоянно действующим источником является макротурбулентность в деятельном слое. По соотношению сигнал/шум оптимален детектор  $Ut$ . Спектры вкладов в сигнал от солнечной активности и макротурбулентности перекрываются, что затрудняет задачу. Тем не менее установлено наличие почти симметричных по сдвигу времени корреляций детектора  $Ut$  с индексами гидротермодинамической активности, опережающий максимум больше запаздывающего. Время опережения (запаздывания) меняется год от года и имеет порядок месяца. Получены успешные (хотя вынужденно короткие) экспериментальные прогностические серии. Отметим, что эксперимент начался в 2012 г. на максимуме 11-летнего цикла солнечной активности, а 2018 г. приходится на минимум. Поэтому изучение корреляции с макротурбулентностью по последним данным облегчается.

Детальное изложение всех предшествующих результатов эксперимента приведено в работах [7–12]. Результаты изучения прогностического эффекта корреляции с макротурбулентностью по данным последней годовой серии наблюдений 2017/2018 рассмотрены ниже. Для полноты более сжато приведены аналогичные результаты с доминирующим источником — солнечной активностью по предыдущей годовой серии 2016/2017 (ввиду большего времени опережения). В процессе изложения указано сходство и различие с конкретными предшествующими результатами.

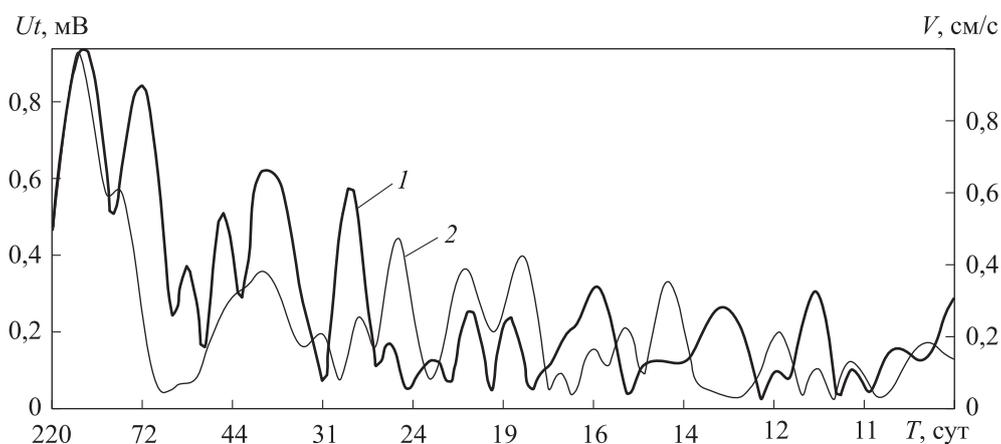
**Прогностический эффект корреляции с макротурбулентностью.** Опережающие нелокальные корреляции существуют только у случайных диссипативных процессов. Именно таким процессом является турбулентность. Крупные турбулентные вихри диссипируют каскадным распадом во все более мелкие и, наконец, в теплоту. Практически макроскопические нелокальные корреляции наблюдаются на крайне низких частотах (порядка нескольких месяцев), поэтому интерес для исследования представляет макротурбулентность. В озере Байкал так же, как и в морях и океанах, макротурбулентность как случайный процесс в наиболее чистом виде занимает диапазон периодов между синоптическими и сезонными вариациями, т. е. примерно от 10 сут до года; в нижней части этого диапазона следует ожидать соответствующего отклика детектора макроскопических нелокальных корреляций.

Турбулентность — динамическое явление, хотя технически проще ее наблюдать в вариациях температуры, а не скорости. Поэтому в Байкаль-

ском эксперименте ранее преимущественно изучался отклик детектора  $Ut$  макроскопических корреляций на вариации температуры деятельного слоя. Отклик на вариации скорости также изучался, хотя только на одном приповерхностном горизонте. В результате обнаружена опережающая нелокальная корреляция, превышающая запаздывающую с максимумом при опережении на 20...45 сут, и получены прогностические серии методом текущей регрессии [7–10].

На этапе эксперимента 2017/2018 проведены 11-месячные измерения скорости течений приборами *Infinity* на двух горизонтах (100 и 500 м), среднее между которыми является удовлетворительной характеристикой процесса во всем деятельном слое, вызывающем отклик в сигнале детектора  $Ut$ . Согласно предыдущим экспериментам, влияние солнечной активности на сигнал детектора доминирующее, поэтому год ее минимума 2017/2018 для выделения отклика на гидродинамическую активность благоприятен.

Амплитудные спектры сигнала детектора  $Ut$  и средней скорости  $V$  показаны на рис. 1. Наибольшее подобие спектров наблюдается в нижней части диапазона в полосе периодов  $130 > T > 28$  сут.

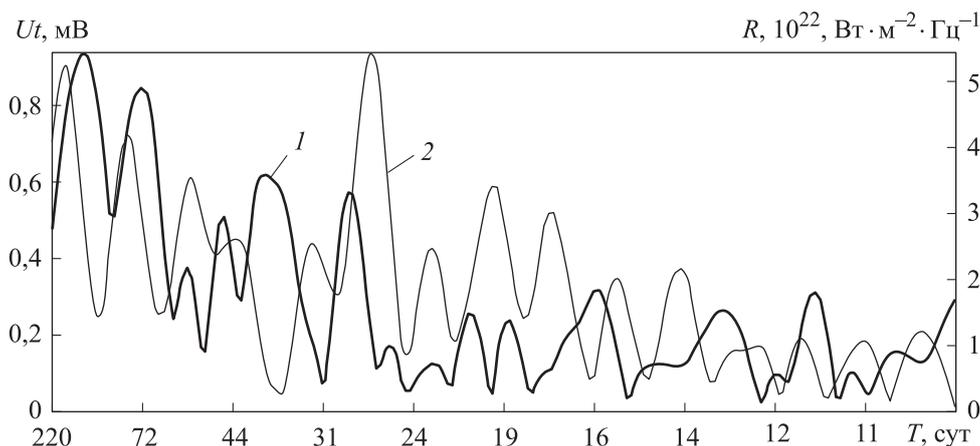


**Рис. 1.** Амплитудные спектры детектора  $Ut$  (1) на горизонте 47 м и средней скорости  $V$  (2) в слое 100...500 м

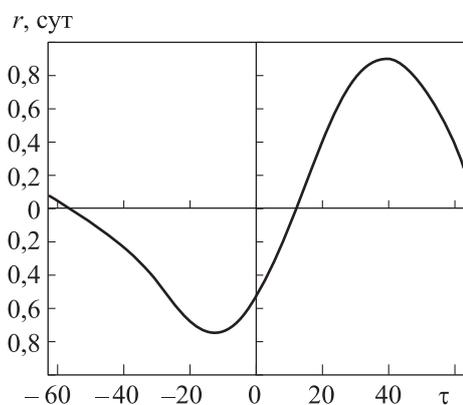
В то же время в этой полосе в детекторе  $Ut$  имеются три спектральных максимума на периодах 72, 52 и 43 сут, не имеющих соответствия в скорости  $V$  и, очевидно, связанных с другим источником — солнечной активностью. Это подтверждается сопоставлением спектра детектора  $Ut$  с синхронным спектром  $R$  (рис. 2).

Вклад солнечной активности в сигнал является помехой, тем не менее после полосовой фильтрации  $130 > T > 28$  сут его корреляция со скоростью

$V$  оказалась достаточно высокой. Корреляционная функция  $r(Ut, V)$  в диапазоне сдвигов времени  $\tau = \pm 62$  сут приведена на рис. 3. Наибольшая корреляция  $0,890 \pm 0,008$  наблюдается при опережении спектра сигнала детектора  $Ut$  относительно скорости  $V$  на 39 сут. Отношение максимальных значений опережающей и запаздывающей корреляций  $1,20 \pm 0,01$ .



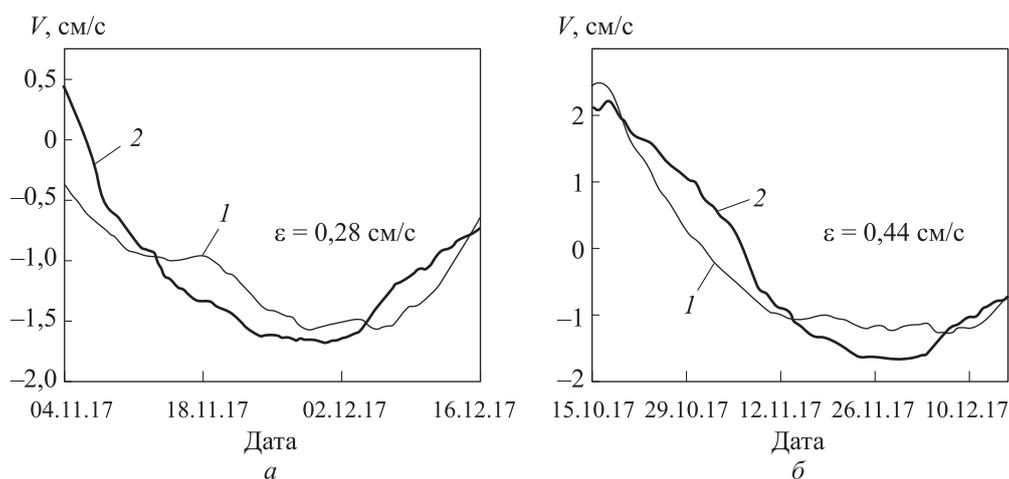
**Рис. 2.** Амплитудные спектры сигнала детектора  $Ut$  (1) и потока солнечного радиоизлучения  $R$  (2) (2017/2018)



**Рис. 3.** Корреляционная функция спектра сигнала детектора  $Ut$  и скорости  $V$  ( $\tau < 0$  соответствует запаздыванию спектра детектора  $Ut$  относительно скорости  $V$ ,  $\tau > 0$  — опережению)

Ранее разработаны два самообучающихся программно-реализованных прогностических алгоритма — текущей регрессии [9] и свертки с текущей импульсной переходной характеристикой [3, 4, 6]. Последний более совершенен, поскольку учитывает немарковский характер связи процессов, но требует длительности обучающего интервала, на порядок большей оптимального опережения прогноза (определяемой положением глобального максимума корреляционной функции и равной в этом случае 39 сут). Располагая 11-месячным рядом наблюдений  $V$  и применяя указанную выше оптимальную полосовую фильтрацию, сильно сокра-

щающую его длину, можно использовать только менее требовательный алгоритм текущей регрессии. В этом алгоритме на первичном обучающем интервале рассчитывается коэффициент регрессии  $V$  по  $Ut$  со сдвигом 39 сут, который затем используют для вычисления первой прогнозируемой величины. Поскольку моделируют реальный прогноз (не заглядывая в будущее), последнее используемое значение  $V$  соответствует моменту составления прогноза, а детектор  $Ut$  соответствует моменту 39 сут назад. На следующем шаге (часе) обучающий интервал подтягивается вперед и прогнозируется следующая величина с тем же опережением и т. д. Текущая переменная регрессии учитывает нестационарность и возможную нелинейность связи, хотя вследствие пропущенных последних 39 сут  $Ut$  этот учет не может быть полным. Оптимальная длина обучающего интервала оказалась равной 100 сут. Результат прогноза показан на рис. 4, а. Точность прогноза достаточна для всех практических целей.



**Рис. 4.** Прогноз вариации скорости течения  $V$  (относительно скользящего 130-суточного среднего) с фиксированным опережением 39 сут (а) и с фиксированным фактическим опережением 19,5 сут при расчетном 39 сут (б):  
 $\varepsilon$  — стандартное отклонение прогностической (1) и фактической (2) кривых

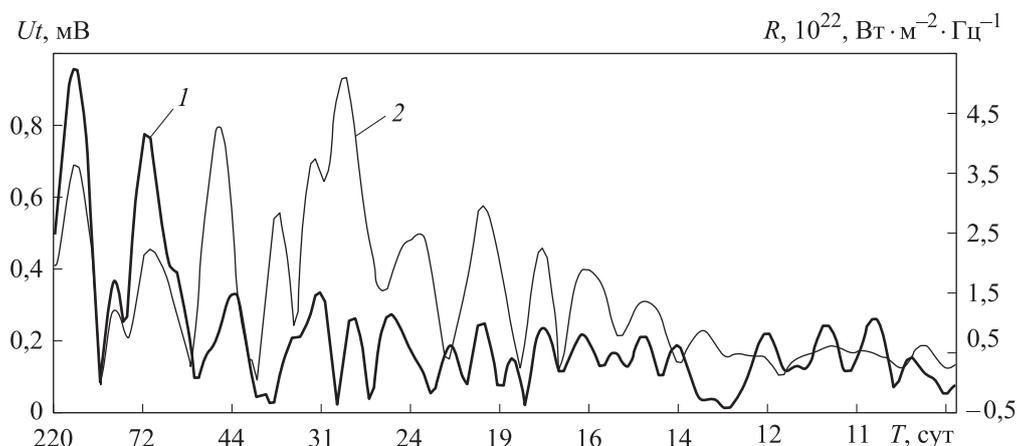
В результате длинного обучающего интервала и, соответственно, короткого остатка ряда для тестирования прогноза демонстрация прогноза на рис. 4 выглядит не слишком эффектно. Интервал тестирования можно увеличить, уменьшив фактическое опережение при том же расчетном, просто отнеся момент составления прогноза назад. Результат тестирования с половинным фактическим опережением приведен на рис. 4, б. Визуально демонстрация выглядит более убедительно, хотя погрешность возросла в связи с игнорированием данных по последним 19,5 сут.

**Прогностический эффект корреляции с солнечной активностью.** На основе предшествующего эксперимента в качестве индекса солнечной активности взят поток солнечного радиоизлучения  $R$  на частоте 2800 МГц, соответствующей эмиссии с уровня наибольшего производства энтропии в солнечной атмосфере (верхняя хромосфера — нижняя корона). Кроме того, в предыдущих лабораторно-обсерваторных экспериментах [3] обнаружилась существенная нестационарность наблюдаемой корреляции сигнала детектора с солнечной активностью — межгодовая изменчивость положения главного (опережающего) максимума корреляционной функции, предположительно связанная с фазой 11-летнего цикла ( $\tau(r_{\max})$ ), увеличивается при спаде средней активности. Однако эти эксперименты длительностью серий 1...2,5 года не покрывали полный цикл, поэтому предположение осталось неподтвержденным.

Полученные к настоящему времени данные Байкальского эксперимента позволяют проверить это предположение. Отметим, что поскольку наблюдаемые величины опережения корреляции имеют порядок несколько месяцев, проверку можно проводить только спустя год после окончания серии измерений сигнала детектора.

По данным двухлетней серии измерений  $Ut$  2013/2015, пришедшейся на время высокой солнечной активности, наибольшее подобие спектров детектора  $Ut$  с  $R$  наблюдалось в полосе периодов  $365 > T > 59$  сут. В этой полосе в солнечной активности доминирует случайная составляющая (перемежающиеся вариации, квазипериоды которых нестабильны и меняются от года к году, но в характерном многомесячном диапазоне). После фильтрации в этой полосе ряда спектра детектора  $Ut$  и ряда потока  $R$ , начинающегося на год раньше и заканчивающегося на год позднее спектра детектора  $Ut$ , обнаружено, что максимальная корреляция  $r = 0,79_{-0,01}^{+0,02}$  наблюдается при опережении спектра детектора  $Ut$  относительно потока  $R$  на 250 сут. Сдвинутые на это время ряды наглядно демонстрируют, что сигнал детектора  $Ut$  приближенно прогнозирует поток  $R$  с таким опережением [11, 12].

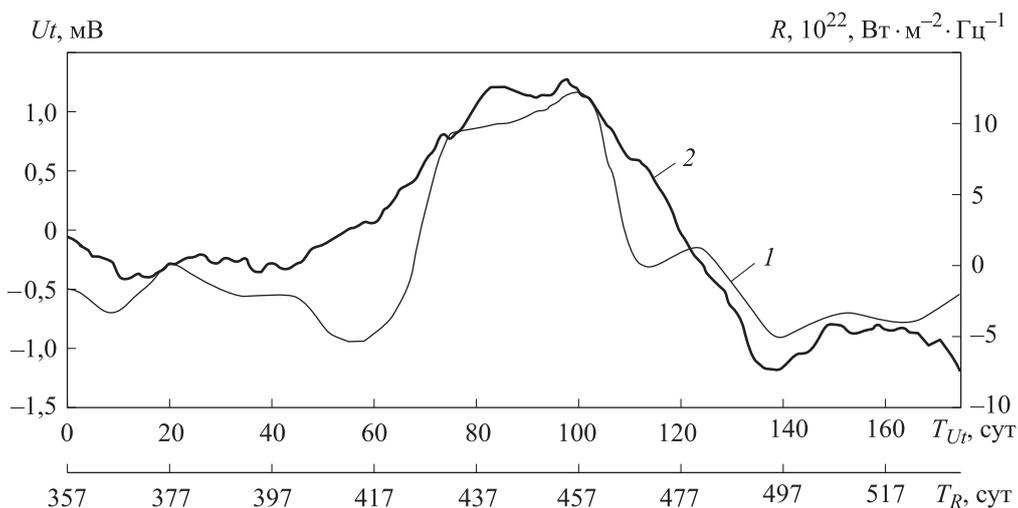
Годовая серия измерений  $Ut$  2016/2017 пришла на время низкой солнечной активности (примерно за год до ее минимума). Амплитудные спектры сигнала детектора  $Ut$  и потока солнечного радиоизлучения  $R$  приведены на рис. 5. Как и следовало ожидать, спектр сигнала детектора  $Ut$  слабо откликается на высокочастотную часть вариаций солнечной активности, которая представлена в спектре потока  $R$  расщепленной 27-дневной вариацией и ее гармониками. На более длин-



**Рис. 5.** Амплитудные спектры сигнала детектора  $Ut$  и потока солнечного радиоизлучения  $R$  (2016/2017)

ных периодах, где преобладает случайная компонента (перемежающиеся вариации Ригера [13]), отклик в спектре детектора  $Ut$  отчетливо заметен.

Детальный анализ показал наибольшее подобие спектров детектора  $Ut$  и потока  $R$  в полосе периодов  $156 > T > 37$  сут. При оптимальной фильтрации в этой полосе глобальный максимум корреляции  $r = 0,86_{-0,03}^{+0,02}$  оказался при опережении спектра  $Ut$  относительно спектра  $R$  на  $\tau = 357$  сут. Возможность прогноза  $R$  по  $Ut$  с таким опережением проиллюстрирована на рис. 6.



**Рис. 6.** Возможность прогноза  $R$  (1) по  $Ut$  (2) с опережением 357 сут (относительно среднегодового уровня; начало отсчета времени 20.06.2016)

**Обсуждение и выводы.** В Байкальском эксперименте сделан шаг в изучении важного свойства макроскопической запутанности — опережающего отклика детектора нелокальных корреляций на некоторые природные процессы с большой случайной компонентой. Это можно использовать для решения прогностических задач.

Идея о распространении квантовой информации в обратном времени была выдвинута независимо многими исследователями [1, 14–16] и подтверждена наблюдениями опережающих нелокальных корреляций в экспериментах с низкоразмерными системами (включающими несколько частиц) [15–18]. В этих экспериментах опережающие корреляции выявлялись постфактум в соответствии с общепринятым взглядом, что квантовая информация может быть декодирована только совместно с вспомогательной классической, распространяющейся в прямом времени. Однако это справедливо, если ставится цель декодировать квантовую информацию из будущего (апостериори) с единичной вероятностью. Если цель получить такую информацию с конечной вероятностью, то она достижима без вспомогательного классического канала [19]. Это можно проиллюстрировать на простейшем примере трехчастичного протокола телепортации кубита, в котором Боб не использует классического канала связи с Алисой, а измеряет состояние своей частицы (одной из запутанной пары от ЭПР-источника) с результатом  $|0\rangle_B$  или  $|1\rangle_B$ . Примем, что Алиса телепортирует определенное состояние  $|0\rangle$ . Выполняя его совместное измерение со своей частицей из запутанной пары, она получает случайно один из четырех результатов (состояний Белла)  $|\Psi^\pm\rangle_A$ ,  $|\Phi^\pm\rangle_A$ , и без измерения Боба можно угадать, какое именно с вероятностью 1/4. Совместное трехчастичное состояние в любой момент измерения Боба, включая момент до (!) измерения Алисы (Боб может быть ближе к источнику, чем Алиса):

$$1/2 \left( -|\Psi^-\rangle_A |1\rangle_B + |\Psi^+\rangle_A |1\rangle_B + |\Phi^-\rangle_A |0\rangle_B - |\Phi^+\rangle_A |0\rangle_B \right).$$

Отсюда Боб определяет состояние Алисы с вероятностью 1/2. Вероятность его успешного прогноза в 2 раза больше случайного угадывания. Физически такая возможность наблюдения случайного будущего объясняется в этом примере распространением квантовой информации в обратном времени от установки Алисы к ЭПР-источнику [1, 14–16].

Квантовую информацию можно только частично декодировать. Следовательно, прогноз случайного процесса на основе нелокальных корреляций обречен быть вероятностным. Однако в высокоразмерной многочастичной (макроскопической) системе вероятность успеха может быть

значительно больше, чем в приведенном выше трехкубитном примере. Вследствие декогеренции степень запутанности макроскопических состояний неизбежно очень низка, и это препятствует успеху. Несмотря на быстрый прогресс современных исследований макроскопической запутанности (например, [17–21]), теоретически оценить вероятность успеха или точность прогноза природных крупномасштабных процессов по нелокальным корреляциям невозможно. Поэтому полученные эмпирические оценки возможности прогноза и их точности в конкретных условиях важны и сами по себе, и для развития теории.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] 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>
- [2] 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>
- [3] Korotaev S.M. Causality and reversibility in irreversible time. Scientific Research Publishing, 2011.
- [4] Korotaev S.M., Serdyuk V.O. Forecast of fluctuating large-scale natural processes and macroscopic correlations effect. *Int. J. Comp. Anticipatory Syst.*, 2008, vol. 20, pp. 31–46.
- [5] Коротаев С.М., Морозов А.Н., Сердюк В.О. и др. Экспериментальное исследование опережающих нелокальных корреляций процесса солнечной активности. *Известия вузов. Физика*, 2007, т. 50, № 4, с. 26–33.
- [6] Коротаев С.М., Сердюк В.О., Горохов Ю.В. Прогноз геомагнитной и солнечной активности на основе нелокальных корреляций. *ДАН*, 2007, т. 415, № 6, с. 814–817.
- [7] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. Preliminary results of the Baikal experiment on observations of macroscopic nonlocal correlations in reverse time. *Proc. Physical Interpretations of Relativity Theory*. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013, с. 141–151.
- [8] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Горохов Ю.В. и др. Байкальский эксперимент по наблюдению опережающих нелокальных корреляций крупномасштабных процессов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2014, № 1, с. 35–53.
- [9] 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. *Unified Field Mechanics*. London, World Scientific, 2015, pp. 366–373.

- [10] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Глубоководный электромагнитный мониторинг в Байкале — классический и неклассический аспекты. *Вопросы естествознания*, 2016, № 2, с. 41–53.
- [11] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O. Advanced response of the Baikal macroscopic nonlocal correlation detector to solar activity. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2017, vol. 918, conf. 1, art. 012003. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/918/1/012003>
- [12] Korotaev S.M., Serdyuk V.O., Budnev N.M. Advanced response of the Baikal macroscopic nonlocal correlation detector to the heliogeophysical processes. *Unified Field Mechanics II: Formulations and Empirical Tests*. London, World Scientific, 2018, pp. 375–380.
- [13] Lean J.L., Brueckner G.E. Intermediate-term solar periodicities: 100–500 days. *Astrophys. J.*, 1989, vol. 337, pp. 568–578.
- [14] Penrose R. Quantum computation, entanglement and state reduction. *Soc. London Phil. Tr. A*, 1998, vol. 356, iss. 1743, pp. 1927–1937.  
DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1998.0256>
- [15] Laforest M., Baugh J., Laflamme R. Time-reversal formalism applied to bipartite entanglement: theoretical and experimental exploration. *Phys. Rev. A*, 2006, vol. 73, iss. 3, art. 032323. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.73.032323>
- [16] Lloyd S., Maccone L., Garcia-Patron R., et al. Closed timelike curves via post-selection: theory and experimental demonstration. *Phys. Rev. Lett.*, 2011, vol. 106, iss. 4, art. 040403. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.040403>
- [17] Ma X.-S., Zotter S., Kofler J., et al. Experimental delayed-choice entanglement swapping. *Nature Physics*, 2012, vol. 8, pp. 479–485. DOI: 10.1038/nphys2294
- [18] Megidish E., Halevy A., Shacham T., et al. Entanglement between photons that have never coexist. *Phys. Rev. Lett.*, 2013, vol. 110, iss. 21, art. 210403.  
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.210403>
- [19] Kiktenko E.O., Korotaev S.M. Causality in different formalisms of quantum teleportation treatment. *Physics Essays*, 2014, vol. 27, no. 4, pp. 548–553.  
DOI: <https://doi.org/10.4006/0836-1398-27.4.548>
- [20] Paternostro M., Vitali D., Gigan S., et al. Creating and probing macroscopic entanglement with light. *Phys. Rev. Lett.*, 2007, vol. 99, iss. 25, art. 250401.  
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.250401>
- [21] Lee S.-S.B., Park J., Sim H.-S. Macroscopic quantum entanglement of a Kondo cloud at finite temperature. *Phys. Rev. Lett.*, 2015, vol. 114, iss. 5-6, art. 057203.  
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.057203>

**Коротаев Сергей Маратович** — д-р физ.-мат. наук, заместитель директора ЦГЭМИ ИФЗ РАН (Российская Федерация, 108840, Москва, Троицк, а/я 30), профессор кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**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), ассистент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

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

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

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, с. 56–72. DOI: 10.18698/1812-3368-2019-4-56-72

**NEW RESULTS OF THE BAIKAL EXPERIMENT ON FORECASTING  
EFFECT OF MACROSCOPIC NONLOCAL CORRELATIONS**

**S.M. Korotaev**<sup>1,2</sup>

**N.M. Budnev**<sup>3</sup>

**V.O. Serdyuk**<sup>1</sup>

**E.O. Kiktenko**<sup>1,2</sup>

**D.A. Orekhova**<sup>1</sup>

korotaev@igemi.troitsk.ru

nbudnev@api.isu.ru

troitsk-school@mail.ru

evgeniy.kiktenko@gmail.com

ordaal@gmail.com

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

<sup>2</sup> **Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

<sup>3</sup> **Applied Physics Institute, Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation**

---

**Abstract**

The long-term deep-sea experiment on study of macroscopic quantum nonlocal correlations of natural large-scale random dissipative processes has been conducted in Lake Baikal since 2012. Correlations of the probe processes in detectors insulated from classical local impacts, between each other and with the large-scale source-processes are studied. These correlations are observed at extremely low frequencies and characterized by the large time shifts. The most important feature of random process nonlocal correla-

**Keywords**

*Macroscopic entanglement,  
nonlocal correlations, time,  
forecast, the Baikal experiment*

tions is presence of a considerable advanced component in them. The dominant source is solar activity. At the same time, the correlations with macroturbulence in the Baikal active layer are revealed. The advanced nonlocal correlations can be applied to forecast the processes with big random component. A forecast series of macroturbulence sea current velocity variations in the active layer, which demonstrated forecast accuracy of the order of tenths of cm/s at an advance of the order of month, has been obtained by the latest experimental data. The possibility of using nonlocal correlations to forecast solar activity in advance of the order of the year has also been demonstrated

Received 15.06.2018

© Author(s), 2019

---

## REFERENCES

- [1] 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>
- [2] 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>
- [3] Korotaev S.M. Causality and reversibility in irreversible time. Scientific Research Publishing, 2011.
- [4] Korotaev S.M., Serdyuk V.O. Forecast of fluctuating large-scale natural processes and macroscopic correlations effect. *Int. J. Comp. Anticipatory Syst.*, 2008, vol. 20, pp. 31–46.
- [5] Korotaev S.M., Morozov A.N., Serdyuk V.O., et al. Experimental study of advanced nonlocal correlations of the process of solar activity. *Russ. Phys. J.*, 2007, vol. 50, iss. 4, pp. 333–341. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11182-007-0046-z>
- [6] Korotaev S.M., Serdyuk V.O., Gorokhov Yu.V. Forecast of geomagnetic and solar activity on nonlocal correlations. *Dokl. Earth Sc.*, 2007, vol. 415, iss. 2, pp. 975–978. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1028334X07060323>
- [7] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. Preliminary results of the Baikal experiment on observations of macroscopic nonlocal correlations in reverse time. *Proc. Physical Interpretations of Relativity Theory*. Moscow, BMSTU Publ., 2013, pp. 141–151.
- [8] Korotaev S.M., Budnev N.M., Gorokhov Yu.V., 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, pp. 35–53 (in Russ.).
- [9] 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. *Unified Field Mechanics*. London, World Scientific, 2015, pp. 366–373.

- [10] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. Deep-sea electromagnetic monitoring in the Baikal: classical and nonclassical aspects. *Voprosy estestvoznaniya*, 2016, no. 2, pp. 41–53 (in Russ.).
- [11] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O. Advanced response of the Baikal macroscopic nonlocal correlation detector to solar activity. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2017, vol. 918, conf. 1, art. 012003. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/918/1/012003>
- [12] Korotaev S.M., Serdyuk V.O., Budnev N.M. Advanced response of the Baikal macroscopic nonlocal correlation detector to the heliogeophysical processes. *Unified Field Mechanics II: Formulations and Empirical Tests*. London, World Scientific, 2018, pp. 375–380.
- [13] Lean J.L., Brueckner G.E. Intermediate-term solar periodicities: 100–500 days. *Astrophys. J.*, 1989, vol. 337, pp. 568–578.
- [14] Penrose R. Quantum computation, entanglement and state reduction. *Soc. London Phil. Tr. A*, 1998, vol. 356, iss. 1743, pp. 1927–1937. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.1998.0256>
- [15] Laforest M., Baugh J., Laflamme R. Time-reversal formalism applied to bipartite entanglement: theoretical and experimental exploration. *Phys. Rev. A*, 2006, vol. 73, no. 3, art. 032323. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.73.032323>
- [16] Lloyd S., Maccone L., Garcia-Patron R., et al. Closed timelike curves via post-selection: theory and experimental demonstration. *Phys. Rev. Lett.*, 2011, vol. 106, iss. 4, art. 040403. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.040403>
- [17] Ma X.-S., Zotter S., Kofler J., et al. Experimental delayed-choice entanglement swapping. *Nature Physics*, 2012, vol. 8, pp. 479–485. DOI: 10.1038/nphys2294
- [18] Megidish E., Halevy A., Shacham T., et al. Entanglement between photons that have never coexist. *Phys. Rev. Lett.*, 2013, vol. 110, iss. 21, art. 210403. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.210403>
- [19] Kiktenko E.O., Korotaev S.M. Causality in different formalisms of quantum teleportation treatment. *Physics Essays*, 2014, vol. 27, no. 4, pp. 548–553. DOI: <https://doi.org/10.4006/0836-1398-27.4.548>
- [20] Paternostro M., Vitali D., Gigan S., et al. Creating and probing macroscopic entanglement with light. *Phys. Rev. Lett.*, 2007, vol. 99, iss. 25, art. 250401. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.250401>
- [21] Lee S.-S.B., Park J., Sim H.-S. Macroscopic quantum entanglement of a Kondo cloud at finite temperature. *Phys. Rev. Lett.*, 2015, vol. 114, iss. 5-6, art. 057203. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.057203>

**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); Professor, Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Budnev N.M.** — Dr. Sc. (Phys.-Math.), Director, Applied Physics Institute, Irkutsk State University (Gagarin Blv. 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); Assistant, Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 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, 108840 Moscow, Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

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, pp. 56–72 (in Russ.). DOI: 10.18698/1812-3368-2019-4-56-72