

P18-2009-75

И. А. Еганова¹, В. Н. Самойлов², В. Каллис²,
В. И. Струминский¹, В. И. Ханейчук³, А. Н. Бабин³

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
ДУБНА–НАУЧНЫЙ–НОВОСИБИРСК:
ПРИРОДА ЯВЛЕНИЯ ХЕРСТА
И ЗАТМЕНИЕ СОЛНЦА 1 АВГУСТА 2008 Г.

¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск,
Россия

²Научный центр прикладных исследований ОИЯИ, Дубна

³НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория»,
Научный, Крым, Украина

Введение

Современная научная картина мира выделяет и опирается на два взаимосвязанных и функционально дополняющих и обуславливающих друг друга аспекта физической реальности — пространственный и временной, пространство и время. Данная работа принадлежит к области исследований временного аспекта физической реальности, которые развивают программу изучения временной структуры мира событий (пространства-времени), предложенную в монографии [1].

Основополагающая идея состоит в том, что в естественной динамике состояния сложных (организованных) природных систем содержится информация о временной структуре мира событий, о закономерностях его эволюции или развития. Поэтому определенный интерес вызывает изучение математической структуры временных рядов долговременных наблюдений интегральных, ключевых физических характеристик сложных систем.

Очевидно, чтобы иметь возможность извлечь интересующие нас закономерности существования мира событий во времени из динамики состояния естественных систем, необходимо располагать соответствующей базой данных долговременных наблюдений в разных географических точках. С этой целью, в частности, был организован специальный геофизический мониторинг в трех пунктах:

- в Дубне — в Научном центре прикладных исследований ОИЯИ ($56^{\circ}44'35''$, 8 с. ш., $37^{\circ}12'38''$, 92 в. д.);
- в Научном (Крым, см. рис. 1) — в Крымской астрофизической обсерватории ($44^{\circ}43'27''$, 56 с. ш., $34^{\circ}00'36''$, 24 в. д.);
- в Новосибирске — в Институте математики им. С. Л. Соболева СО РАН ($54^{\circ}50'46''$, 32 с. ш., $83^{\circ}6'11''$, 43 в. д.).

Мониторинг осуществляет специально созданная комплексная информационно-измерительная система (КИИС), синхронно измеряющая и записывающая каждые 10 с в указанных пунктах восемь физических параметров:

- массу (вес) M контролируемого минерала,
- температуру T_{in} и относительную влажность Φ_{in} в помещении,
- атмосферное давление P ,
- освещенность S земной поверхности,
- напряженность квазистатического электрического поля атмосферы E в двух диапазонах (E_1 , E_2),
- температуру T_{out} и относительную влажность Φ_{out} вне помещения.

(Способ измерения перечисленных параметров указан в работах [2, 3].)



Рис. 1. Башня коронографа КГ2 в КрАО, в которой расположена соответствующая часть КИИС мониторинга

Записанная КИИС информация представляет собой совокупность синхронных (по Гринвичу) суточных временных рядов перечисленных характеристик (8640 точек измерения). Примеры этих временных рядов для всех пунктов мониторинга приводятся в п. 1.1 разд. 1, в котором рассматриваются возможности использования идеологии теории фракталов и секвентного анализа при расшифровке математической структуры временных рядов, описывающих динамику контролируемых физических характеристик. Далее в этом разделе (п. 1.2) демонстрируются фрактальные свойства суточных рядов массы (веса) минералов, находящихся под наблюдением, а затем сравниваются фрактальные свойства 160-минутных и 123-минутных рядов. Первый период, 160-минутный, известен как уникальный космологический период, второй — обнаружен при соответствующем исследовании характеристик движения экзопланет¹, см. работу В. А. Котова [4].

Рассмотренный фактический материал свидетельствует в пользу использования 160-минутных временных рядов при изучении закономер-

¹ *Экзопланетами* называют планеты на орбитах, связанных с другими звездами; на начало 2008 г. открыто 270 таких планет, при этом обнаружено 26 планетных систем, которые состоят из двух и более планет.

ностей временной структуры суточных рядов наблюдений, а также обнаруживает, что фрактальные свойства 160-минутных и 123-минутных рядов могут служить определенным индикатором наличия внешнего воздействия.

Использование 160-, 123- и 198-минутных интервалов позволило увидеть на фактическом материале мониторинга прямую взаимосвязь двух известных характеристик, используемых в разных предметных областях при математической обработке временных рядов: фрактальной размерности кривой, которая изображает временной ряд измерений, и секвенты. Поясним, что идея о наличии прямой взаимосвязи этих математических характеристик возникает из общетеоретических соображений — при сравнении физического смысла фрактальной размерности кривой и физического смысла секвенты — обобщенной частоты.

В п. 1.3 речь идет о новом подходе к интерпретации явления, известного в области математической статистики как *явление Херста* [5]. Предлагается обратить внимание на фрактальные свойства функции, которую использовал Херст в рассматриваемом им нормированном размахе (см., например, п. 8.1 в [6]), и именно с этих позиций интерпретировать то поведение нормированного размаха, которое именуют явлением Херста или статистикой Херста. Целесообразность такого подхода обосновывается соответствующим анализом фактического материала мониторинга.

Естественно, выявление математической структуры исследуемых временных рядов идет параллельно с выяснением факторов, связанных с наблюдающейся динамикой массы (веса) контролируемых минералов, а также с динамикой напряженности квазистатического электрического поля атмосферы. Одна из реальных возможностей выявления физических причин регистрируемой динамики обсуждается в разд. 2. Такую возможность предоставило явление полного затмения Солнца 1 августа 2008 г. в Новосибирске при частных затмениях в Дубне и Крыму.

В п. 2.1 рассматривается взаимосвязь динамики массы (веса) контролируемого минерала с центральным телом Солнечной системы — Солнцем, а в п. 2.2 показывается, что полное затмение Солнца не только отражается на величине напряженности квазистатического электрического поля атмосферы, но и изменяет ритм его колебаний. В приложении описана реакция сложной системы (водно-спиртовой раствор камфары, нитрата калия и хлористого аммония) на полное солнечное затмение в связи с тем, что оно информационно усиливает зарегистрированное поведение массы минерала.

В заключении подводятся итоги и рассмотренная в п. 2.1 и в приложении реакция вещества на полное затмение Солнца рассматривается в свете дистанционного воздействия внешних необратимых процессов

на состояние вещества сложных систем, вплоть до изменения хода протекающих в нем процессов ².

1. Структура временных рядов: использование идеологии теории фракталов и секвентного анализа

1.1. Примеры временных рядов мониторинга. Чтобы наглядно продемонстрировать характер информации геофизического мониторинга *Дубна–Научный–Новосибирск*, на рис. 2–19 графически изображены суточные временные ряды массы (веса) минералов и напряженности квазистатического электрического поля атмосферы на фоне поведения соответствующих характеристик условий измерения. Для примера были выбраны трое последовательных суток: 31 июля, 1 и 2 августа 2008 г.; такой выбор продиктован известным астрономическим событием в Новосибирске — полным затмением Солнца (1 августа 2008 г.).

На осях ординат всех рисунков используются условные единицы (у.е.). Так, изменение массы (веса) на 0,01 у.е. соответствует изменению на 0,05 мг, изменение температуры на 0,01 у.е. — 0,44 °С, изменение относительной влажности на 0,01 у.е. — 0,32 %, изменение атмосферного давления на 0,1 у.е. — 1 мм рт.ст.

Не вдаваясь в обсуждение естественной динамики регистрируемых физических величин, обратим внимание на аномалии, зафиксированные в эти дни в Дубне в ходе обычной суточной динамики контролируемых характеристик.

1. 31 июля 2008 г. в 13:29:20,6 местного времени (летнее, московское) в записях КИИС было зафиксировано резкое кратковременное увеличение массы минерала на $(12,54 \pm 0,12)$ мг (см. рис. 6, 7). Само по себе такое изменение массы (веса) данного минерала за два десятка лет наблюдений отмечалось неоднократно, см., например, рис. 3 и 5 в [7]. Однако в данном случае следует обратить внимание на поведение датчиков температуры и относительной влажности воздуха.

Значения T_{in} и T_{out} весьма резко (неправдоподобно!) вдруг уменьшились — на 10,9 и 10,7 °С ($\pm 0,2$ °С) без видимых на то причин: в теплое летнее время, когда нет искусственного отопления, поведение и T_{in} , и T_{out} определяется в основном метеорологическими условиями, текущим уровнем соответствующих характеристик. (Разумеется, T_{out} — в большей степени, чем T_{in} , обратите внимание на корреляцию T_{out} и T_{in} с S на приведенных рисунках.) Относительная влажность при значительном изменении температуры изменяется, естественно, в противоположную сторону, см. рис. 2–19. А в данном случае в записи поведения относительной влажности наблюдался резкий неправдоподобный скачок — на $(37,7 \pm 1,0)$ % и $(33,9 \pm 2,5)$ % у Φ_{in} и Φ_{out} соответственно, но в ту же сторону уменьшения. Причем уже через

² См. часть III монографии [1].

10с КИИС регистрирует прежний порядок значений и температуры, и относительной влажности. Поэтому естественно предположить, что зарегистрированная аномалия в поведении контролируемых характеристик — следствие, скорее всего, неординарной ситуации в локальной электрической сети ³.

Произошедшее столь резкое воздействие не могло не сказаться на дальнейшем состоянии датчиков. Действительно, как видим (см. рис. 6), в течение последующих трех часов в записи T_{in} наблюдались резкие спады (с амплитудой до 3 °С) на фоне весьма стабильной температуры в специальном помещении для мониторинга (~ 24 °С) в течение этих суток. Соответственно, в записи относительной влажности отмечаются аналогичные подъемы Φ_{in} (с амплитудой до 8%) на фоне достаточно стабильного суточного уровня (~ 38%). Соответствующие колебания прослеживаются и в записях T_{out} и Φ_{out} (см. рис. 6 и 7) на фоне их обычного поведения, соответствующего поведению величины S (ср. поведение T_{in} и T_{out} на рис. 6).

Отметим, что эти вариации температуры и относительной влажности происходят, как обычно, — в противоположные стороны, причем $\Delta T_{in}/\Delta T_{out} \approx \Delta \Phi_{in}/\Delta \Phi_{out}$, где Δ обозначает соответствующее изменение указанной далее величины.

Что касается поведения атмосферного давления, то в эту картину, т. е. как участник аналогичных вариаций, оно совершенно не вписывается, хотя в тот момент (13:29:20,6) в записи P был зафиксирован скачок на +8 мм рт. ст. на фоне остального достаточно ровного суточного поведения — в течение суток атмосферное давление в целом увеличилось меньше чем на 2 мм рт. ст.

На фоне отмеченного выше достаточно стабильного уровня T_{in} и Φ_{in} (разумеется, вне периода времени 9:29–14:00 (UT)) 31 июля в Дубне наблюдалось практически постоянное увеличение массы (веса) минерала M — в целом за сутки на $(1,40 \pm 0,12)$ мг. В период времени 9:29–14:00 (UT) рост массы (веса) неоднократно замедлялся, останавливался и один раз заметно резко уменьшался в течение 10 мин (см. рис. 6).

И. 1 августа в 13:32:14,14 (UT) было зафиксировано резкое падение массы (веса) M (см. рис. 12, а также рис. 22 и 23, где данная аномалия представлена в подробностях минутного диапазона измерений). В связи с этим имеет смысл отметить, что пик в поведении температуры T_{in} (~ 1 °С), записанный в это время, нельзя связать, как обычно, с поведением величины освещенности S (см. рис. 6 и 18).

³ Если бы воздействие, изменившее не только массу минерала, но и внутреннее состояние структурообразующих элементов датчиков, имело космическую природу, оно бы проявилось в синхронных записях КИИС в Крыму и Новосибирске.

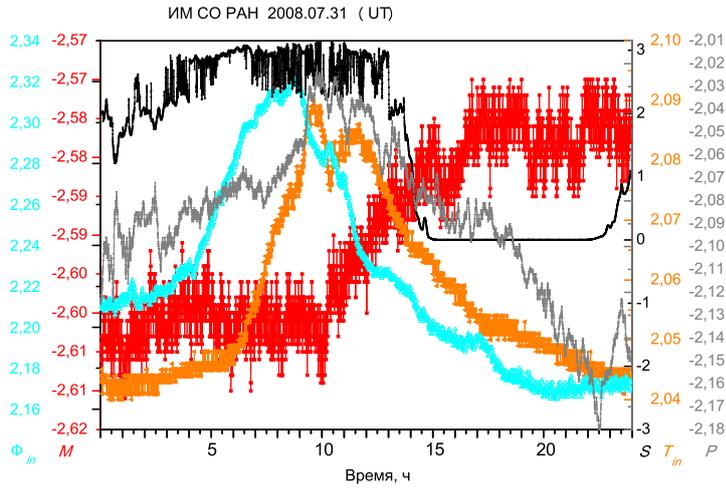


Рис. 2. Новосибирск, 31.07.2008. Суточная динамика массы (веса) M минерала (окатанная галька палеозойского гранита из современных речных отложений Тянь-Шаня, 9 г), а также относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

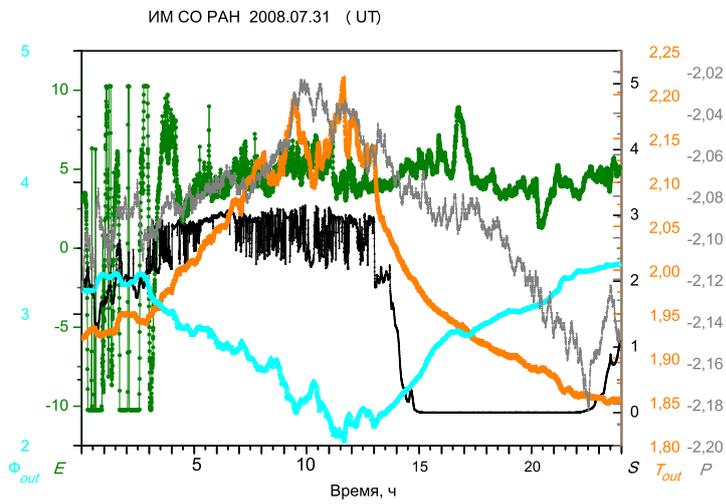


Рис. 3. Новосибирск, 31.07.2008. Суточная динамика напряженности E квазистатического электрического поля атмосферы, а также относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

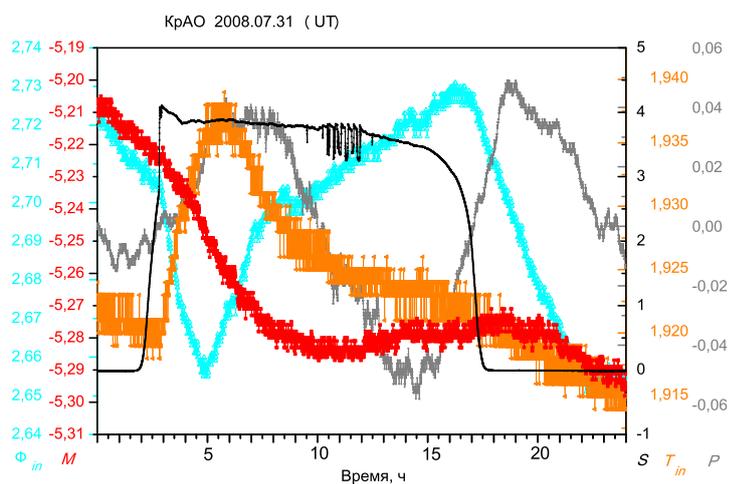


Рис. 4. Крым, 31.07.2008. Суточная динамика массы (веса) M минерала (фосфорит, 40 г), а также относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

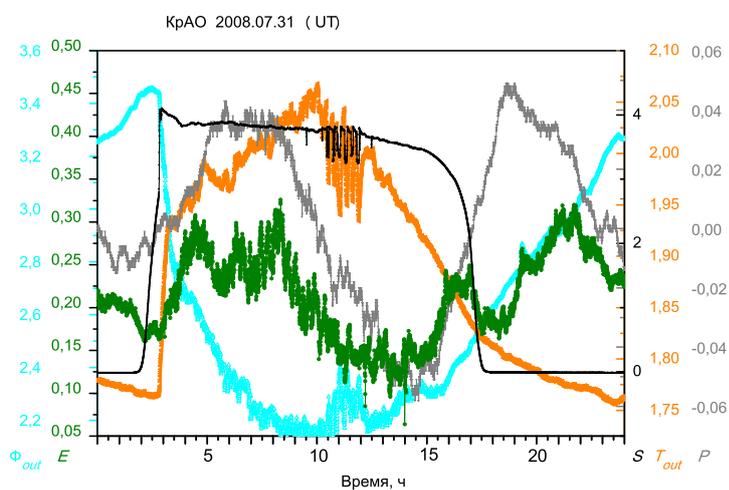


Рис. 5. Крым, 31.07.2008. Суточная динамика напряженности E квазистатического электрического поля атмосферы, а также относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

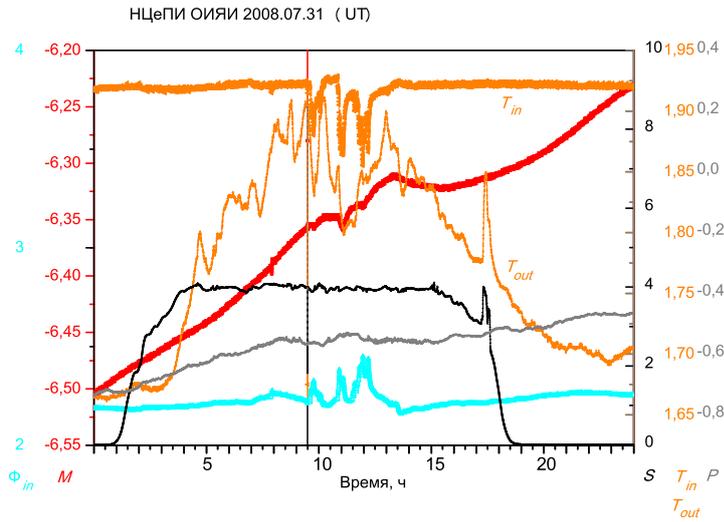


Рис. 6. Дубна, 31.07.2008. Суточная динамика массы (веса) M минерала (мелкокристаллический агрегат доломита и слюды, 6,6 г), а также относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} (а также T_{out} — для сравнения) в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S ; см. также рис. 20

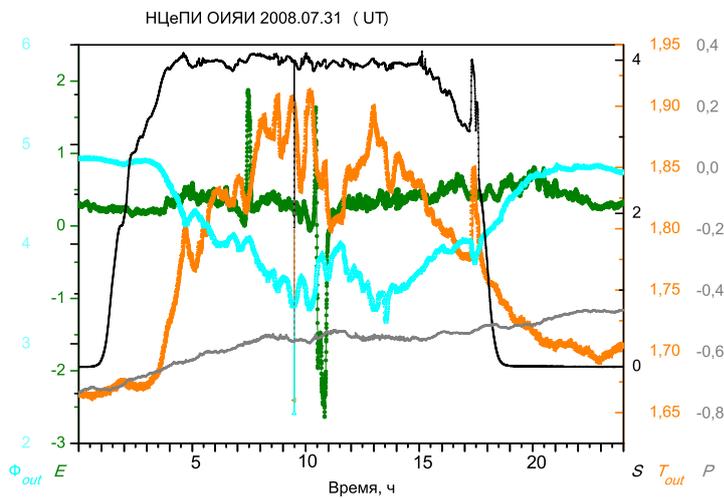


Рис. 7. Дубна, 31.07.2008. Суточная динамика напряженности E квазистатического электрического поля атмосферы, а также относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S ; см. также рис. 21

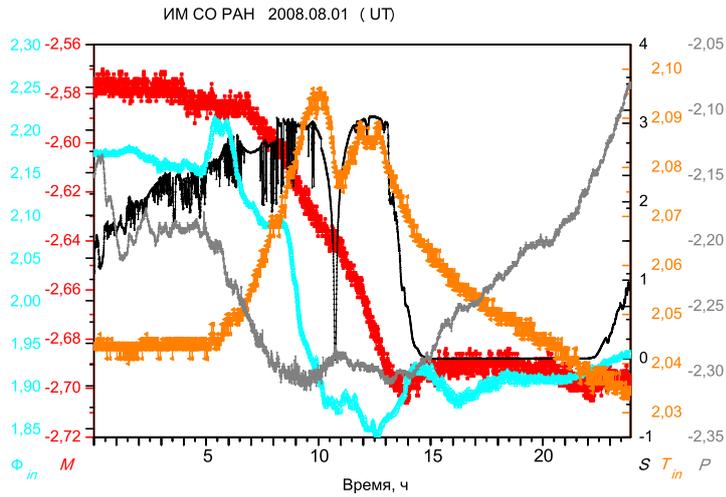


Рис. 8. Новосибирск, 1.08.2008. Суточная динамика массы (веса) M минерала (окатанная галька палеозойского гранита из современных речных отложений Тянь-Шаня, 9 г), а также относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

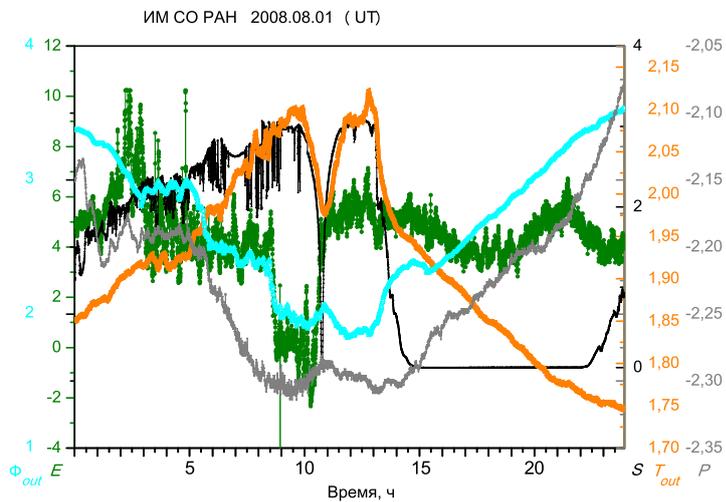


Рис. 9. Новосибирск, 1.08.2008. Суточная динамика напряженности E квазистатического электрического поля атмосферы, а также относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

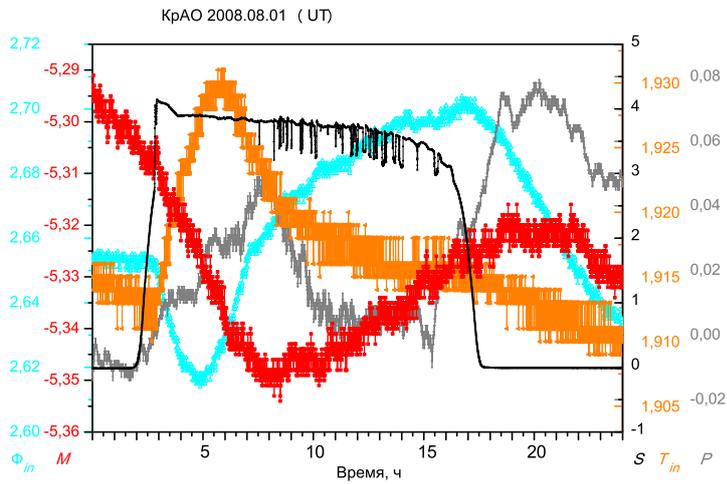


Рис. 10. Крым, 1.08.2008. Суточная динамика массы (веса) M минерала (фосфорит, 40г), а также относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

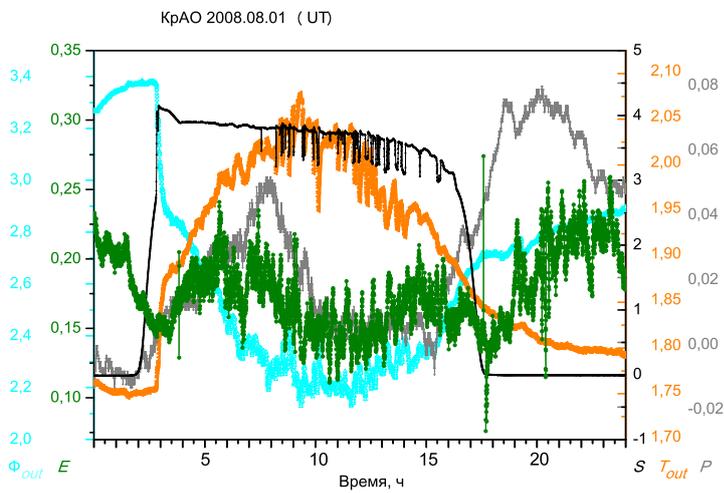


Рис. 11. Крым, 1.08.2008. Суточная динамика напряженности E квазистатического электрического поля атмосферы, а также относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

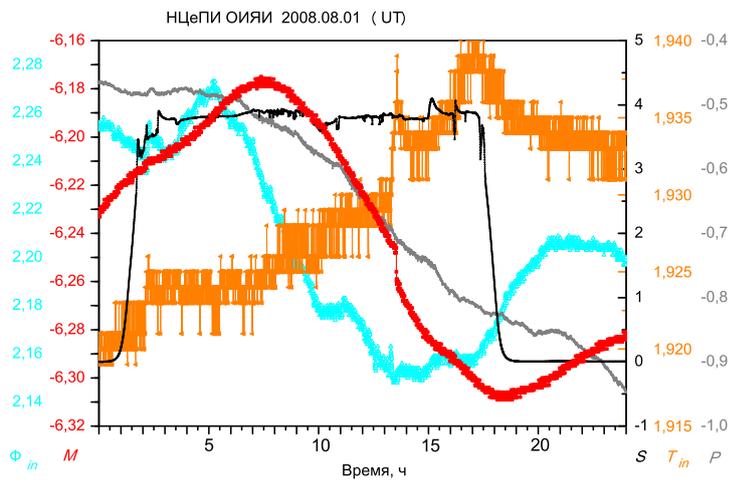


Рис. 12. Дубна, 1.08.2008. Суточная динамика массы (веса) M минерала (мелкокристаллический агрегат доломита и слюды, 6,6 г), а также относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

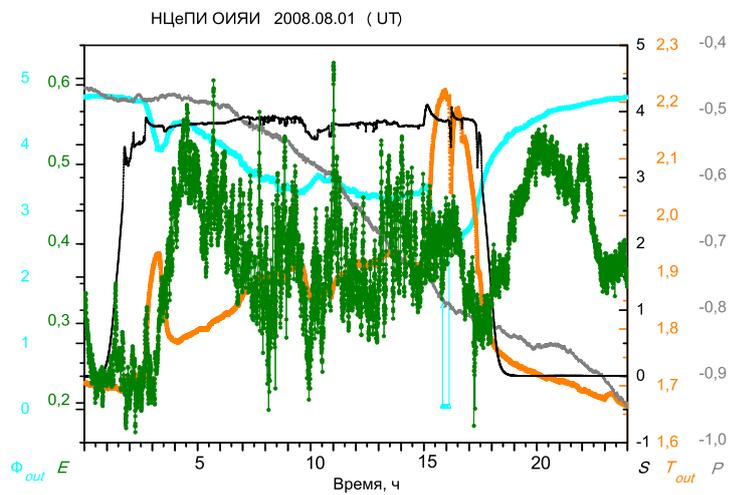


Рис. 13. Дубна, 1.08.2008. Суточная динамика напряженности E квазистатического электрического поля атмосферы, а также относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

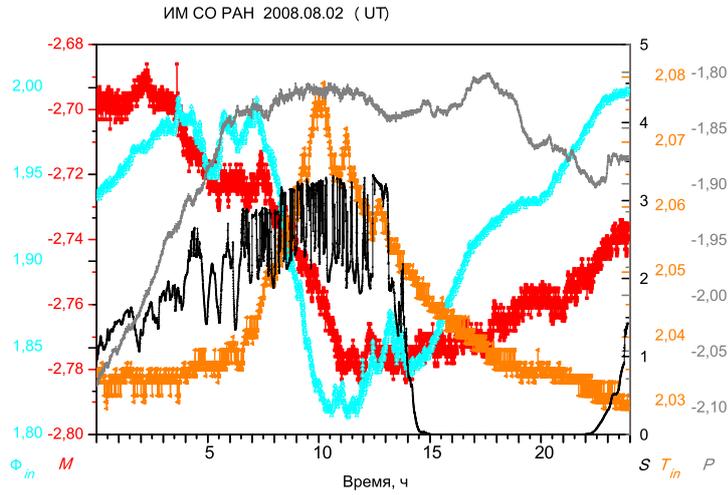


Рис. 14. Новосибирск, 2.08.2008. Суточная динамика массы (веса) M минерала (окатанная галька палеозойского гранита из современных речных отложений Тянь-Шаня, 9 г), а также относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

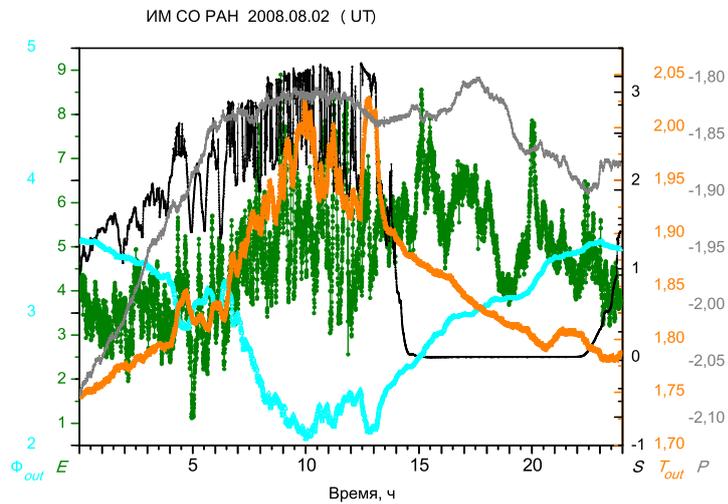


Рис. 15. Новосибирск, 2.08.2008. Суточная динамика напряженности E квазистатического электрического поля атмосферы, а также относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

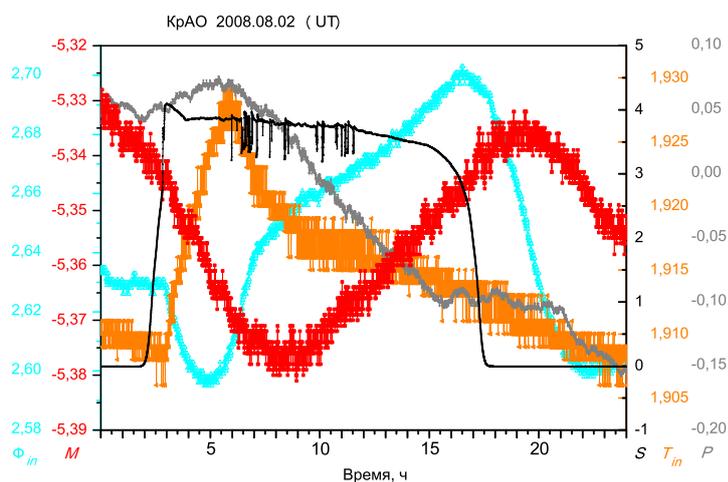


Рис. 16. Крым, 2.08.2008. Суточная динамика массы (веса) M минерала (фосфорит, 40г), а также относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

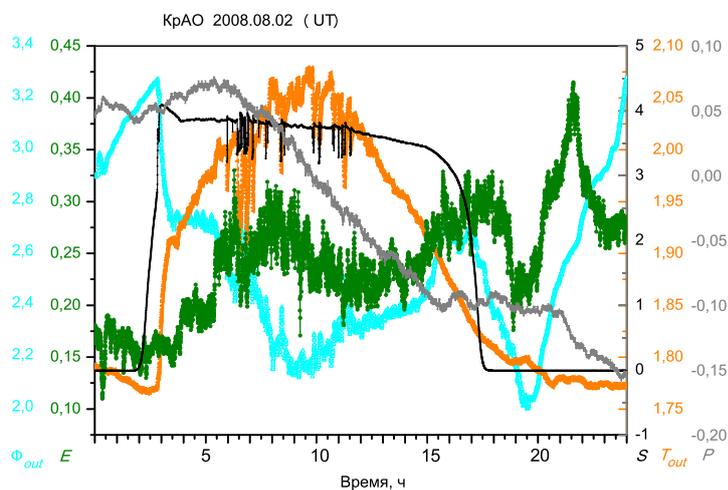


Рис. 17. Крым, 2.08.2008. Суточная динамика напряженности E квазистатического электрического поля атмосферы, а также относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

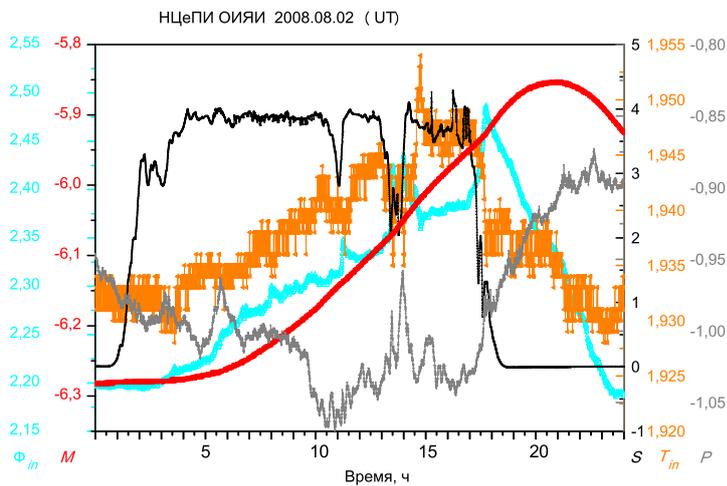


Рис. 18. Дубна, 2.08.2008. Суточная динамика массы (веса) M минерала (мелкокристаллический агрегат доломита и слюды, 6,6 г), а также относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

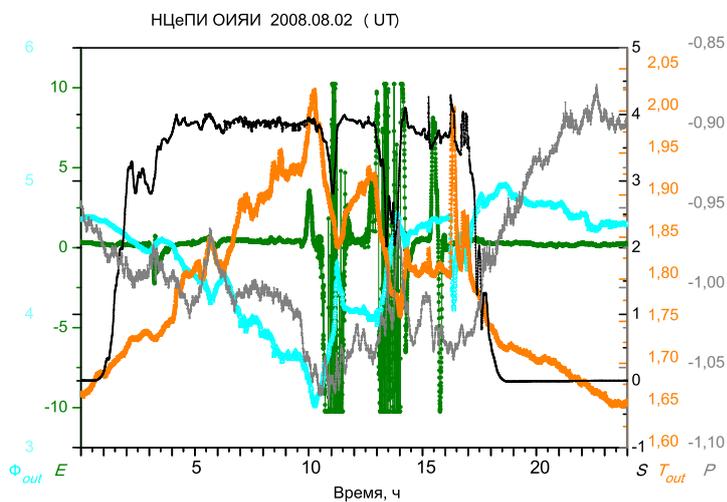


Рис. 19. Дубна, 2.08.2008. Суточная динамика напряженности E квазистатического электрического поля атмосферы, а также относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S

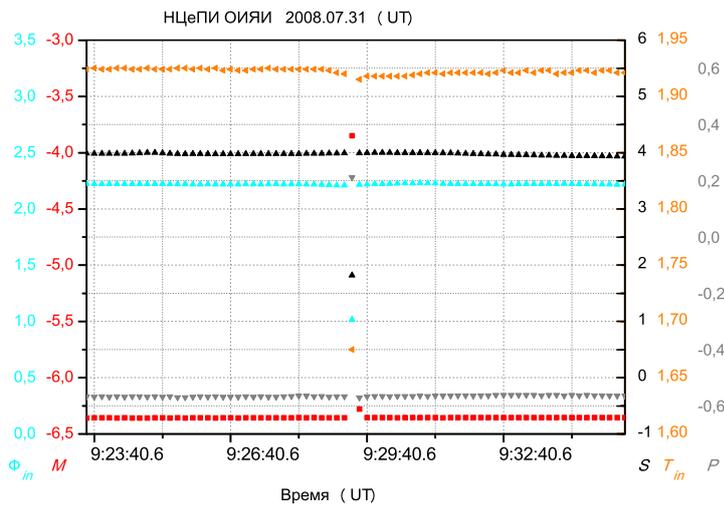


Рис. 20. Дополнение к рис.6: аномалии в суточной динамике массы (веса) минерала M , относительной влажности Φ_{in} и температуры T_{in} в лабораторном помещении, атмосферного давления P и освещенности земной поверхности S , зафиксированные в 9:29:20,6 (УТ)

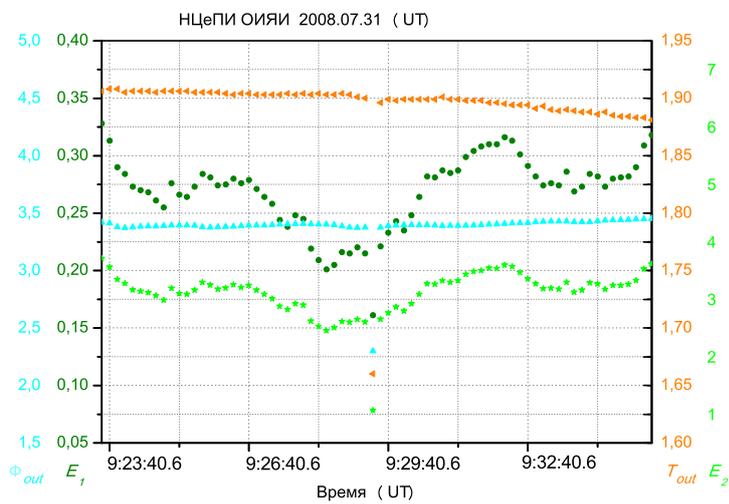


Рис. 21. Дополнение к рис.7: аномалии в суточной динамике напряженности квазистатического электрического поля атмосферы в двух диапазонах — E_1 и E_2 , относительной влажности Φ_{out} и температуры T_{out} атмосферы

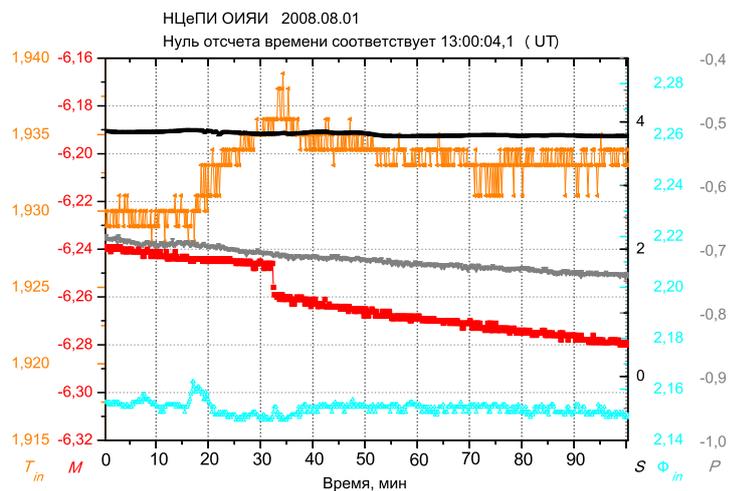


Рис. 22. Дополнение к рис. 12: поведение M , Φ_{in} , T_{in} , P и S в течение 100 мин

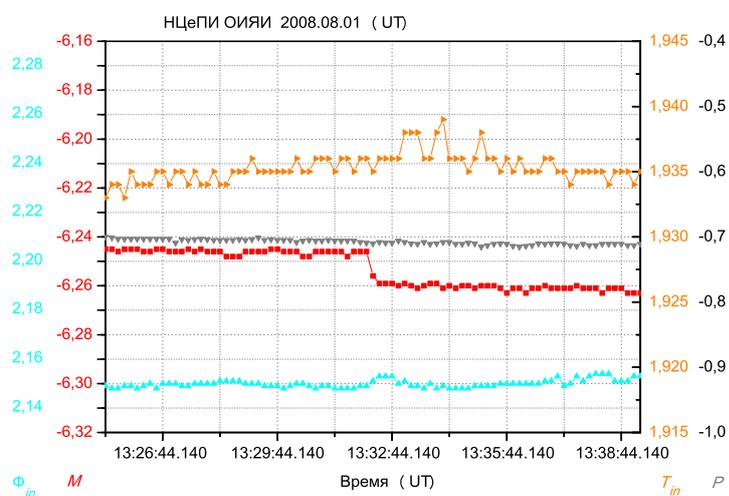


Рис. 23. Дополнение к рис. 12: поведение M , Φ_{in} , T_{in} и P в течение 14 мин

1.2. Фрактальные свойства суточных рядов массы минерала.

Как известно, представление о таком математическом объекте, как фрактал, сразу стало широко использоваться в самых разных предметных областях. Фрактальные свойства естественных систем и природных явлений связываются с фрактальностью геометрического про-

пространства. Анализируется физический смысл фрактальной размерности пространственной структуры, и выясняется ее связь как с соответствующими физическими характеристиками, так и с размерностью геометрического пространства. Однако, когда рассматриваются временные ряды наблюдений характеристик тех или иных объектов исследования, представление о *временной структуре*, соответственно, о фрактальной размерности временной структуры (подобно фрактальной размерности *пространственной структуры*) не возникает — в своей идеологии исследователи не выходят за пределы представлений пространственного аспекта физической реальности, для них временной аспект просто не является атрибутом реальности. Речь здесь идет только о фрактальной размерности кривой, которая представляет графически временной ряд наблюдений. Эмпирически обнаруженные закономерности не рассматриваются в свете современных представлений о физической реальности, о «врожденной» взаимосвязи пространственного аспекта и временного, проявившейся в известной единой геометрии для пространства и времени. Не предполагается, что в поведении ключевых, интегральных характеристик естественных систем и природных явлений могут проявляться специфические особенности существования физической реальности, закономерности ее эволюции.

В поисках эффективного подхода к выявлению особенностей математической структуры суточных временных рядов имеет смысл прежде всего выяснить, что может дать в этом плане использование идеологии теории фракталов.

Мы будем рассматривать суточный временной ряд

$$A(t), \quad t = 0, \tau, 2\tau, 3\tau, \dots, (n-1)\tau, n\tau, \quad \text{где } \tau = 10 \text{ с}, \quad n = 8640,$$

и исследовать следующим образом структуру графика, представляющего поведение некоторой физической величины, которое описывает этот временной ряд.

Интервалу $[0, n\tau]$ на оси времени (ось X) мы сопоставим на оси значений рассматриваемой физической величины (ось Y) интервал $R = A_{\max} - A_{\min}$, где

$$A_{\max} = \max \{A(t), 0 \leq t \leq n\tau\}, \quad A_{\min} = \min \{A(t), 0 \leq t \leq n\tau\}.$$

Соответственно, интервалу τ на оси X сопоставим на оси Y интервал ⁴ $b = R/n$.

Мы будем покрывать график $A(t)$ клетками $(\Delta x \times \Delta y)$, где Δx — размер клетки по оси X ; Δy — размер клетки по оси Y . Как обычно во фрактальном анализе, будут использоваться клетки разного масштаба, а именно: в качестве наименьшей выбрана клетка $(\tau \times b)$, а клеткой

⁴ Такой способ задания фактически «естественного масштаба» на оси Y предоставляет единый подход к исследованию фрактальных свойств временных рядов, описывающих поведение физических величин существенно разной природы.

масштаба m будем называть клетку $(m\tau \times mb)$. В качестве значения m будет фигурировать некоторое целое число, такое, что $n = m \cdot k$, где k — целое.

Таким образом, временной ряд будет считаться *фрактальным*, если для покрытия соответствующего ему графика требуется $N(m)$ клеток $(m\tau \times mb)$, причем

$$N(m) = N(1) \cdot m^{-D}, \quad (1)$$

где показатель D является фрактальной размерностью кривой (графика), которая представляет рассматриваемый временной ряд.

Очевидно, согласно определению,

$$N(m) = \frac{1}{mb} \sum_{i=1}^k R_i(m),$$

$$R_i(m) = \max \{A(t), (i-1)m\tau \leq t \leq im\tau\} - \min \{A(t), (i-1)m\tau \leq t \leq im\tau\}, \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (2)$$

Соответственно,

$$N(1) = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^n R_i(1),$$

$$R_i(1) = |A((i-1)\tau) - A(i\tau)|, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Используя в формулах (2) и (3) средние значения

$$\overline{R(m)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i(m) \quad \text{и} \quad \overline{R(1)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i(1),$$

получаем, что

$$\frac{N(m)}{N(1)} = m^{-2} \frac{\overline{R(m)}}{\overline{R(1)}}.$$

Отсюда, согласно (1), имеет место соотношение

$$\frac{\overline{R(m)}}{\overline{R(1)}} = m^{2-D} = m^H, \quad H = 2 - D. \quad (4)$$

Таким образом, фрактальные временные ряды характеризуются определенной структурой, а именно: средний размах $\overline{R(m)}$ значений физической величины, задающейся данным рядом, на временном интервале, который в m раз больше интервала между соседними значениями, и средний размах $\overline{R(1)}$ соседних значений связаны степенным законом (4).

Поскольку содержание временной структуры составляет поведение величины, задающейся временным рядом, естественно характеризовать размер временной структуры, которая сопоставляется определенному временному интервалу, средним размахом значений данной величи-

ны в таком интервале. Поэтому величина $\overline{R(m)}$ фактически задает определенный размер временной структуры масштаба m , а $\overline{R(1)}$ — «единичного» масштаба, и соотношение (4) для временной структуры аналогично известному соотношению для пространственной структуры (см. [1, с. 193]):

$$m_2 = m_1^D, \quad (5)$$

где $m_1 = L/l$; L — пространственный размер структуры; l — пространственный размер элементов, составляющих эту структуру, а m_2 — число этих элементов.

Действительно, у нас структура (масштаба m) имеет протяженность во времени (длительность) $m\tau$ и состоит из элементов, имеющих длительность τ , т.е. m имеет смысл, подобный m_1 . Соответственно, величине m_2 можно сопоставить отношение $\overline{R(m)}/\overline{R(1)}$. Поскольку $\overline{R(m)}$ характеризует размер структуры временного масштаба $m\tau$, а элементам временной протяженности τ соответствует размер $\overline{R(1)}$, их числу в структуре временного масштаба $m\tau$ соответствует отношение $\overline{R(m)}/\overline{R(1)}$. Однако при этом следует иметь в виду, что сопоставлять отношение $\overline{R(m)}/\overline{R(1)}$ величине m_2 допустимо только в том случае, если временной интервал τ является протяженностью реального элемента временной структуры; такого, например, как год или сутки. Очевидно, что интервал $\tau = 10$ с таковому элементу не соответствует.

Итак, если временной интервал τ выбран адекватно временной структуре, величина H для временной структуры аналогична фрактальной размерности D в формуле (5) для пространственной структуры, ее можно называть фрактальной размерностью временной структуры (см. [1, с. 194]).

На рис. 24–26 приведены результаты расчетов величины $N(m)$ по формуле (2) как функции m для суточных временных рядов массы минералов и напряженностей квазистатического электрического поля атмосферы во всех трех географических точках для каждого из рассматриваемых трех дней. Поясним, что для исследования проявления закономерностей существования пространства-времени интерес представляет динамика ключевой физической характеристики такого естественного объекта, как минерал. При этом для определенных сравнительных оценок мы привлекаем синхронно контролируемое в мониторинге Дубна–Научный–Новосибирск поведение физической характеристики иного рода — напряженности квазистатического электрического поля атмосферы.

Суммируем центральные выводы, которые следуют из этих результатов.

- В своей основе рассматриваемые суточные ряды являются фрактальными. (Все точки $\ln N(m)$ по отношению к точке $\ln N(1)$ лежат в малом угле $\Delta\varphi$, составляющем 2–4°. Например, для M в Новосибирске (рис. 24) $\Delta\varphi = 3,4^\circ$, $3,1^\circ$ и $2,9^\circ$ соответственно

для 31 июля, 1 и 2 августа, для $E - \Delta\varphi = 2,4^\circ, 3,1^\circ$ и $3,4^\circ$ соответственно.)

- Поведение D для массы (веса) минерала на порядок стабильнее, чем для напряженности квазистатического поля атмосферы.
- При выбранном способе задания масштаба b взаимное расположение значений $\ln N(m)$, относящихся к разным суткам, связано с различием в характере колебаний рассматриваемой величины, случившихся в данные сутки.
- Отклонение отдельного значения фрактальной размерности D суточного графика от обычно наблюдаемого свидетельствует о наличии аномалий в суточной динамике данной величины. (Например, при исключении из данных одного аномального значения M , записанного КИИС в Дубне 31.07.2008 (эта аномалия обсуждалась выше, в п. 1.1), $D = 1,52$, а не $1,33$ (см. рис. 26).)
- Отклонение расположения точек — значений $\ln N(m)$ — от соответствующей прямой связано с нарушениями обычной суточной динамики данной величины. (См. данные по 31.07.2008 на рис. 26 — им соответствует $\Delta\varphi = 4,1^\circ$.)

Как уже подчеркивалось выше, для детального исследования структуры, отраженной в формуле (4), необходимо адекватно выбрать определенный временной интервал T , на который мы будем делить сутки, стремясь расшифровать временную структуру суточного ряда массы (веса) минералов. В этом выборе можно опереться на многолетние исследования В. А. Котова с соавторами по изучению фундаментального космологического периода P_0 , равного ⁵ 160,0101(2) мин, что составляет 1/9 суток.

Впервые период P_0 был обнаружен на Солнце — в 1970-х гг. А. Б. Северный, В. А. Котов и Т. Т. Цап открыли пульсации Солнца с этим периодом (они подробно обсуждаются в книге [8]) ⁶. Затем этот период был обнаружен и в вариациях блеска некоторых внегалактических объектов, и в распределении периодов ряда переменных звезд (см., например, [9]). Недавно он был выделен в данных по наблюдению длиннопериодических колебаний литосферы и атмосферы Земли, которое многие годы ведется В. А. Орловым [10].

Поэтому в качестве пробной протяженности элемента временной (суточной) структуры был выбран период P_0 , и девять 160-минутных интервалов суточных временных рядов (960 точек измерения) были рассмотрены в отдельности — анализировались их фрактальные свойства. Результаты численных расчетов для двух дней представлены на рис. 27–29.

⁵ В скобках — стандартная ошибка для последних цифр.

⁶ Ныне они доказаны 35-летними доплеровскими измерениями Солнца как звезды, выполненными в КрАО.

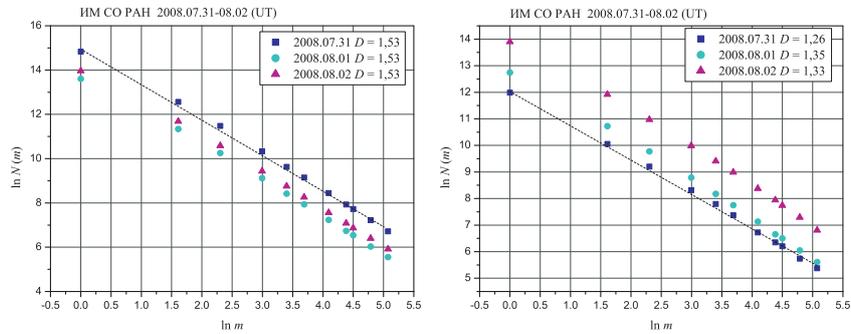


Рис. 24. Фрактальные свойства временных рядов M (слева) и E_2 (справа), записанных КИИС в Новосибирске

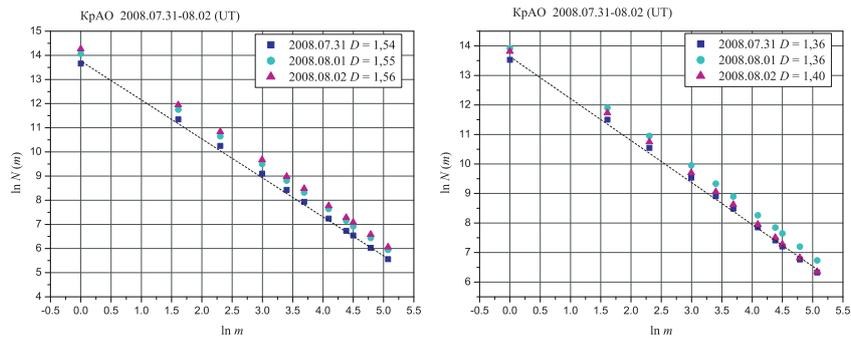


Рис. 25. Фрактальные свойства временных рядов M (слева) и E_2 (справа), записанных КИИС в Крыму

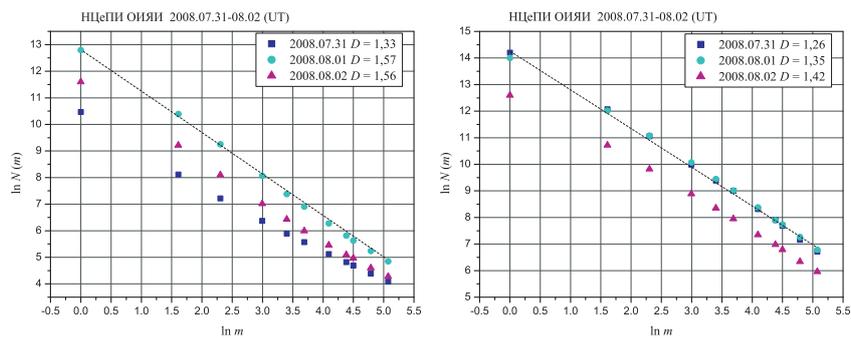


Рис. 26. Фрактальные свойства временных рядов M (слева) и E_2 (справа), записанных КИИС в Дубне

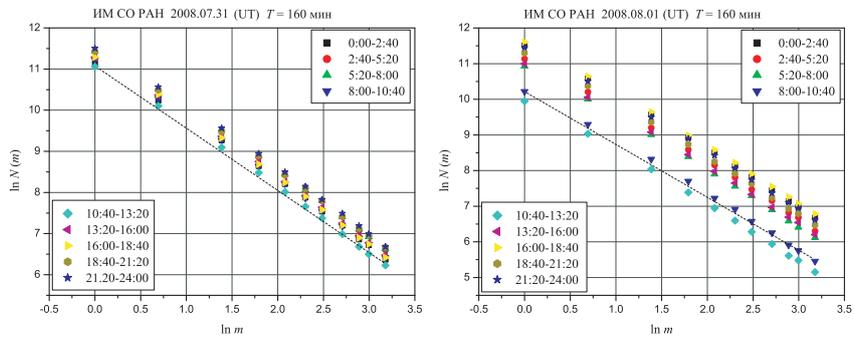


Рис. 27. Фрактальные свойства 160-минутных рядов M , записанных КИИС в Новосибирске 31 июля (слева) и 1 августа (справа) 2008 г.

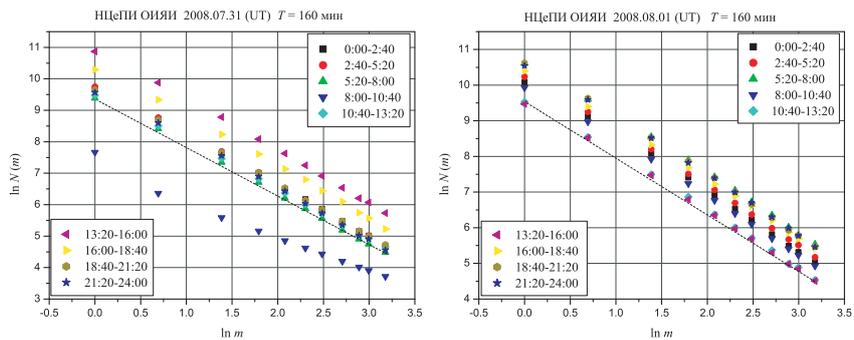


Рис. 28. Фрактальные свойства 160-минутных рядов M , записанных КИИС в Дубне 31 июля (слева) и 1 августа (справа) 2008 г.

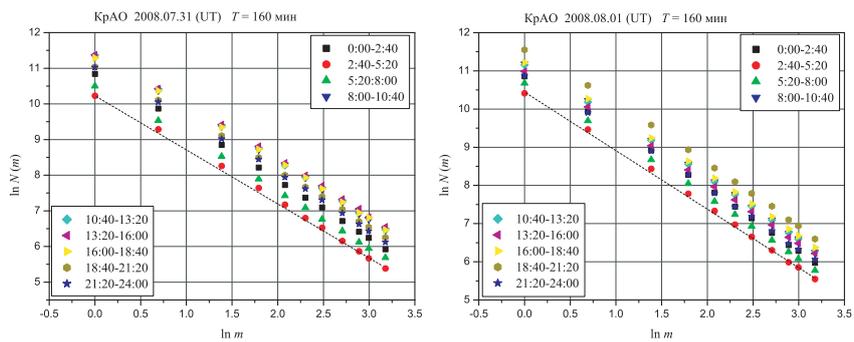


Рис. 29. Фрактальные свойства 160-минутных рядов M , записанных КИИС в Крыму 31 июля (слева) и 1 августа (справа) 2008 г.

Как видим, 160-минутные ряды M также фрактальны и особенности суточных рядов, перечисленные выше, здесь также имеют место. Кроме того, сравнение взаимного расположения $\ln N(m)$ 160-минутных периодов суток (каждому соответствует свой определенный цвет), относящихся к разным дням и к разным пунктам наблюдения, которые находятся в разных часовых поясах⁷, позволило заметить, что характер динамики M внутри периода связан и с местным временем (о чем свидетельствует определенное взаимное расположение точек разных периодов), и с локальными физическими условиями.

Угол $\Delta\varphi$ для точек одного 160-минутного периода лежит в том же диапазоне, что и для суточного периода ($2 \div 4^\circ$), но аномалии здесь более заметны. Так, в случае аномалии в Дубне (31.07.2008) для соответствующего периода (8:00–10:40 UT) $\Delta\varphi = 10,9^\circ$ (см. рис. 28), а в суточном периоде $\Delta\varphi = 4,1^\circ$. Динамика фрактальных размерностей, соответствующих 160-минутным периодам, в течение рассматриваемых трех суток приведена на рис. 33–34 и будет обсуждаться ниже.

При исследовании именно самой суточной структуры временных рядов M в каждой географической точке следует работать в своем местном времени. Дело в том, что в динамике величины M существенную роль играет Солнце, см. ниже п. 2.1. Что касается выбора при этом периода T , то, несомненно, естественным, в частности, является выбор такого периода, на который сутки подразделяются без остатка, таковым и оказался космологический период P_0 .

Чтобы оценить 160-минутный период как протяженность адекватного элемента суточной временной структуры и, вообще, «ощутить» наличие определенной, не случайной, структуры суточных рядов M , для сравнения предварительно были рассмотрены также 123-минутный и 198-минутный периоды. Как уже отмечалось во введении, 123-минутный интервал был выбран в связи с тем, что он не характерен для Солнечной системы, а 198-минутный — как симметричный ему относительно 160-минутного. Фрактальные свойства 123-минутных периодов суток приведены на рис. 30–32, динамика фрактальных размерностей, соответствующих 123- и 198-минутным периодам, в течение обсуждаемых трех суток — на рис. 33–34.

При сравнении поведения величины $\ln N(m)$ как функции $\ln m$ в 160-минутном и 123-минутном периодах сразу бросается в глаза резкое проявление дубненской аномалии в 123-минутном периоде (8:12–10:15 UT) — здесь $\Delta\varphi = 16,3^\circ$ (ср. поведение $\ln N(m)$ в четвертом 160-минутном периоде 31.07.2008 на рис. 28 и в пятом 123-минутном периоде 31.07.2008 на рис. 31).

Увеличение величины $\Delta\varphi$ в 123-минутном периоде, по сравнению с 160-минутным, нельзя связывать просто с уменьшением числа точек измерения (в 160-минутном их 960, а в 123-минутном периоде —

⁷ Напоминаем, измерения ведутся синхронно, по Гринвичу.

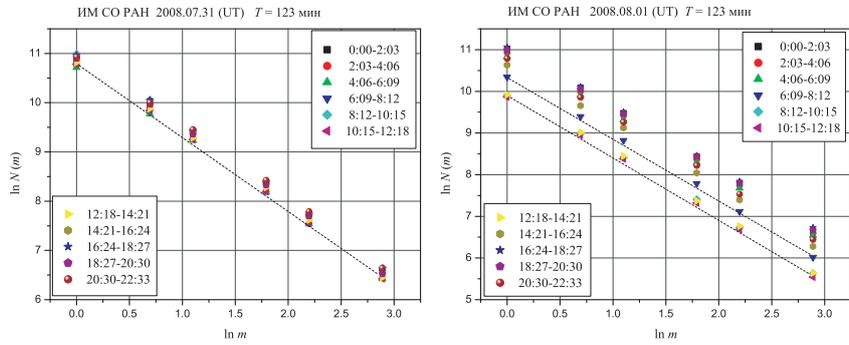


Рис. 30. Фрактальные свойства 123-минутных рядов M , записанных КИИС в Новосибирске 31 июля (слева) и 1 августа (справа) 2008 г.

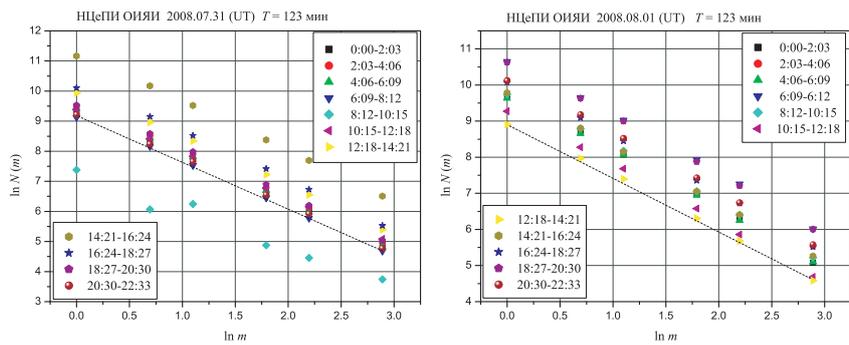


Рис. 31. Фрактальные свойства 123-минутных рядов M , записанных КИИС в Дубне 31 июля (слева) и 1 августа (справа) 2008 г.

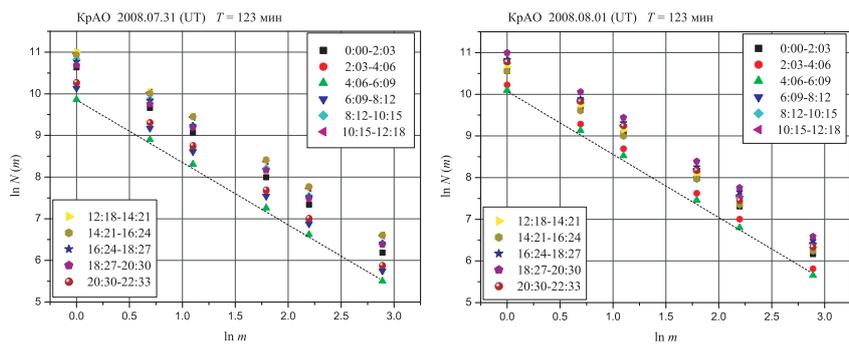


Рис. 32. Фрактальные свойства 123-минутных рядов M , записанных КИИС в Крыму 31 июля (слева) и 1 августа (справа) 2008 г.

738). Действительно, например, для соответствующего 198-минутного периода (6:36–9:54 UT 31.07.2008), в котором находится 1188 точек, $\Delta\varphi = 11,4^\circ$ (см. рис. 35), т. е. такого же порядка, что и для 960 точек 160-минутного периода. Если бы дело было в самом числе точек, $\Delta\varphi$ для 198-минутного периода должно было бы быть настолько меньше $\Delta\varphi$ для 160-минутного периода, насколько $\Delta\varphi$ для 160-минутного периода меньше 123-минутного, т. е. на $5,5^\circ$, а не на $0,6^\circ$ (расположение аномалии в рассматриваемых периодах см. на рис. 36).

На самом деле, согласно приведенным выше формулам, $\Delta\varphi$ связано с поведением величины $\overline{R(m)}/\overline{R(1)}$ как функции m , поэтому в элиминации нарушения фрактальных свойств вследствие случившейся аномалии определяющую роль играет не само число точек, а определенная временная структура — т. е. поведение M в этих точках. Точки, добавившиеся в 198-минутном периоде, оказываются, в этом смысле существенно иные, т. е. динамика величины M в этих точках не приводит к заметному уменьшению $\Delta\varphi$.

Таким образом, эта дубненская аномалия проявила существование не случайной временной структуры суточных рядов M и дала возможность убедиться в достаточной эффективности ее изучения с помощью классического подхода теории фракталов — исследуя поведение величины $N(m)$ как функции масштаба m . Отметим здесь, что дополнительным инструментом в этом исследовании может оказаться масштаб на оси Y , т. е. величина b . (Ср. поведение $\ln N(m)$ на левых рис. 31 и 35 и на рис. 37).

Теперь рассмотрим поведение фрактальной размерности D в течение суток, от одного периода к другому, которое представлено на рис. 33–34. Чтобы выделить физический смысл этой величины, на данных рисунках она сравнивается с другой математической характеристикой, использующейся в основном в радиотехнике, телевидении, вычислительной технике, акустике, оптике, — с секвентой [11]⁸.

Обратим внимание на корреляцию величин $D(i)$ и $\text{Seq}(i)$, где i — порядковый номер рассматриваемого периода. Сама эта корреляция говорит не только о семантическом родстве этих математических характеристик, но и о целесообразности сопоставления $D(i)$ и фрактальных размерностей соответствующих гео- и космофизических процессов, прежде всего наблюдающихся процессов на Солнце [12].

Интересно, что эта корреляция выделяет 160-минутный интервал. Так, из-за случившейся дубненской аномалии она нарушена (поскольку фрактальные свойства ухудшились), однако при почти одинаковых нарушениях фрактальности в 160-минутном и 198-минутном периодах коэффициент корреляции $D(i)$ и $\text{Seq}(i)$ в первом случае равен 0,358, а во втором — 0,177 (для 123-минутного периода — 0,227), см. рис. 34.

⁸ На обсуждаемых рисунках Seq равна числу изменений знака приращения M в рассматриваемом периоде.

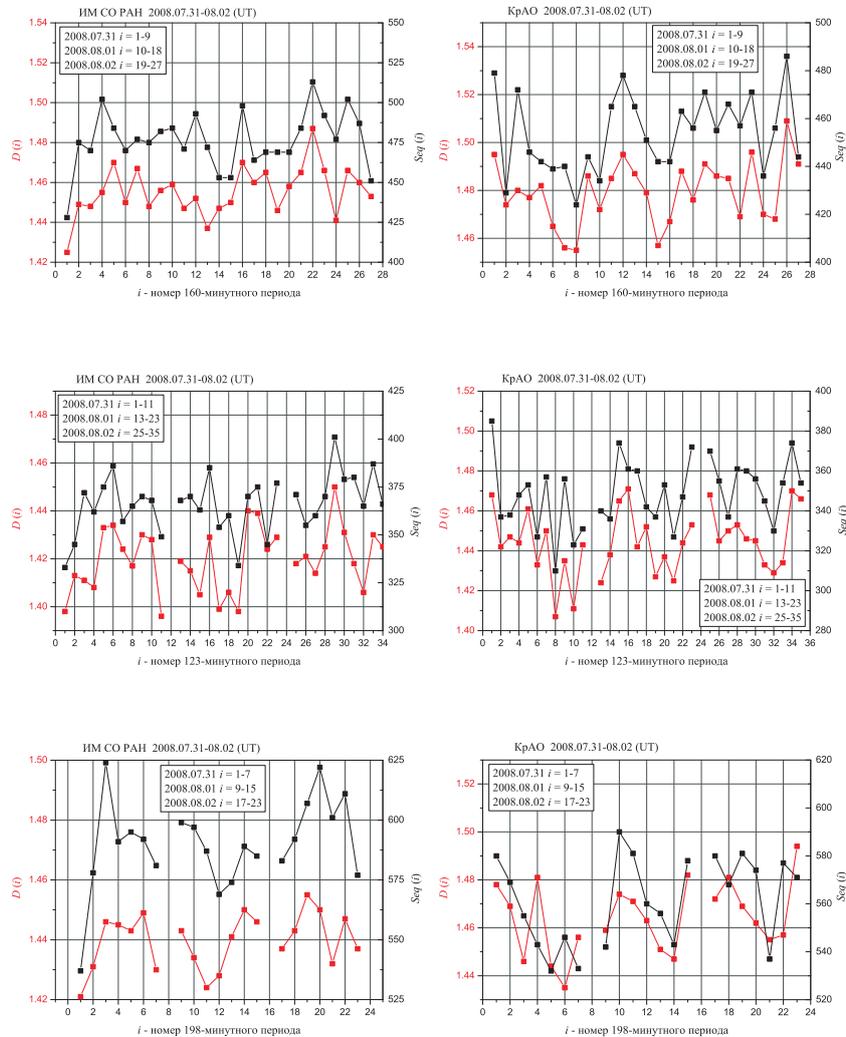


Рис. 33. Фрактальная размерность и секвента для 160-, 123- и 198-минутных рядов M , записанных КИИС в Новосибирске (слева) и в Крыму (справа) 31 июля, 1 и 2 августа 2008 г.

Как видим на рис. 33, корреляция $D(i)$ и $Seq(i)$ может нарушаться в 198-минутном периоде и при отсутствии нарушений фрактальных свойств M (см. рис. 38). Все это свидетельствует о том, как важно выбрать адекватный период T при исследовании временной структуры и что 198-минутный период таковым не является.

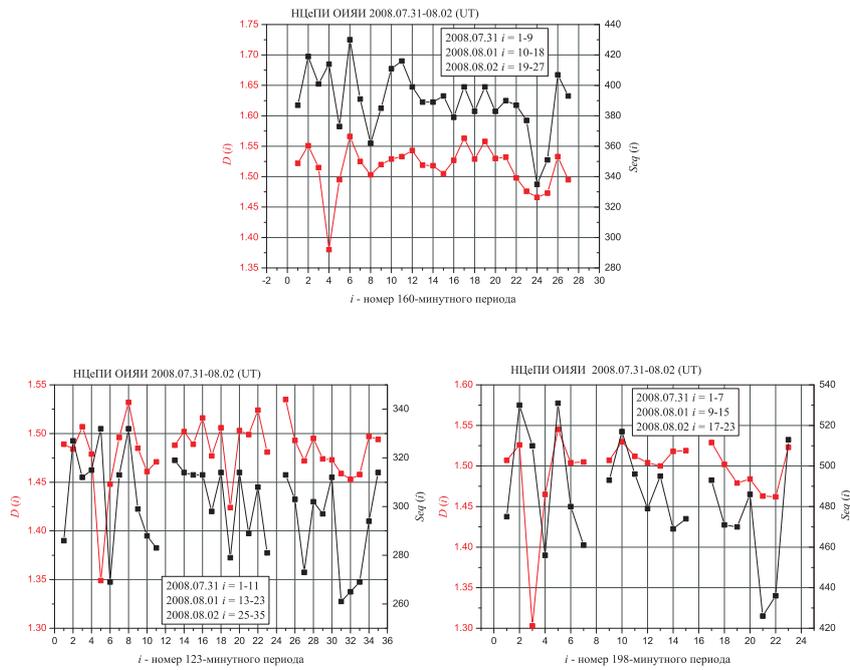


Рис. 34. Фрактальная размерность и секвента для 160-, 123- и 198-минутных рядов M , записанных КИИС в Дубне 31 июля, 1 и 2 августа 2008 г.

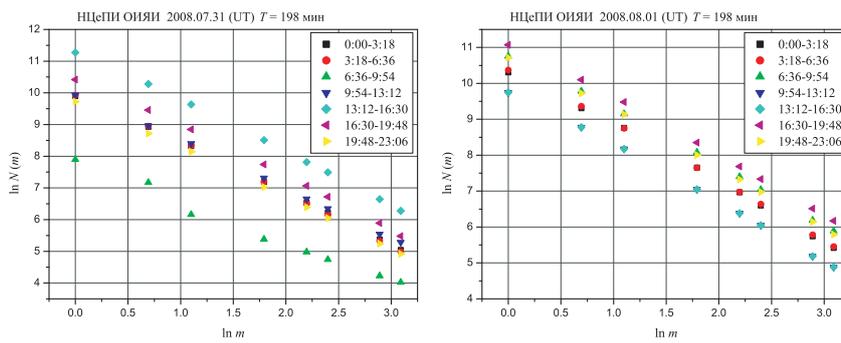


Рис. 35. Фрактальные свойства 198-минутных рядов M , записанных КИИС в Дубне 31 июля (слева) и 1 августа (справа) 2008 г.

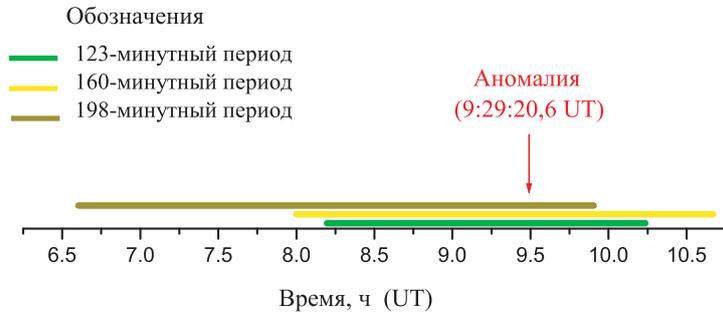


Рис. 36. Расположение дубненской аномалии (31.07.2008 UT) в 123-, 160- и 198-минутных периодах

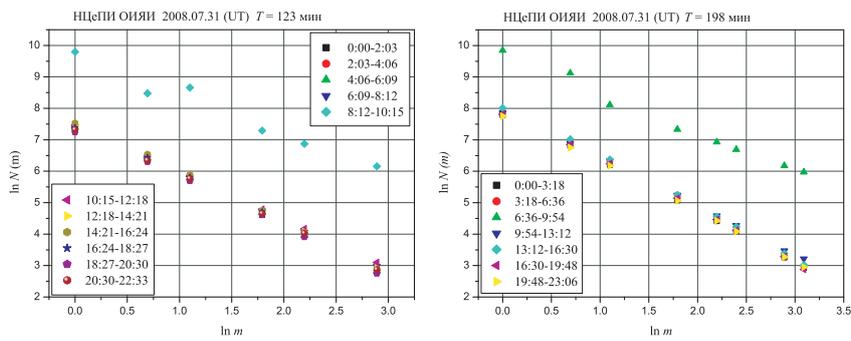


Рис. 37. Фрактальные свойства 123-минутных (слева) и 198-минутных (справа) рядов M , записанных КИИС в Дубне 31 июля 2008 г., полученные при заданном b , равном значению, соответствующему суточному периоду

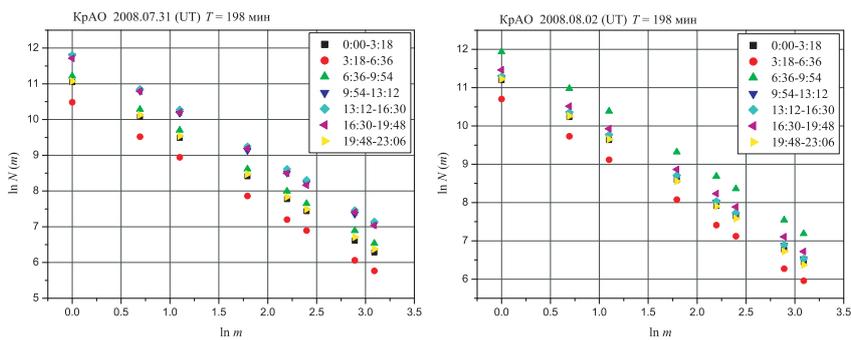


Рис. 38. Фрактальные свойства 198-минутных рядов M , записанных КИИС в Крыму 31 июля (слева) и 2 августа (справа) 2008 г.

1.3. Фрактальные свойства функции, которую использовал Херст в R/S -анализе временных рядов. Английский гидролог Х. Херст, занимавшийся изучением р. Нил и решением проблем, связанных с накоплением водных ресурсов, в середине прошлого века предложил новый статистический метод, который называют методом нормированного (или приведенного) размаха (см., например, [5]).

Поскольку Херста интересовала задача нахождения оптимального объема водохранилища, при котором оно никогда не переполняется и не пустеет, он оперировал функцией

$$X(t; \tau) = \sum_{u=1}^t [\xi(u) - \langle \xi \rangle_{\tau}], \quad (6)$$

где $\xi(u)$ — естественный приток воды в течение года u , а $\langle \xi \rangle_{\tau}$ — регулируемый спускаемый ежегодно объем воды (сток), равный среднему значению величины ξ за τ лет. Другими словами, решался вопрос: каков должен быть объем воды в водохранилище, чтобы ежегодно можно было спускать объем, равный $\langle \xi \rangle_{\tau}$.

При таком условии регулирования стока функция $X(t; \tau)$ представляет собой объем воды в водохранилище в год t , $1 \leq t \leq \tau$, а размах этой функции в рассматриваемом периоде τ

$$R(\tau) = \max \{X(t; \tau), 1 \leq t \leq \tau\} - \min \{X(t; \tau), 1 \leq t \leq \tau\},$$

т. е. представляет собой разность максимального и минимального наполнения водохранилища.

Вероятно, вследствие того, что Херст интересовался разными природными процессами, такими как сток рек, отложение ила и рост колец деревьев, он использовал безразмерное отношение $R(\tau)/S$, где S — стандартное отклонение (квадратный корень из дисперсии), т. е.

$$S = \left\{ \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} [\xi(t) - \langle \xi \rangle_{\tau}]^2 \right\}^{1/2},$$

и исследовал его поведение не только в проблеме оптимального объема водохранилища, где $R(\tau)$ имеет определенный смысл, но и при изучении других природных процессов и естественных систем. В этих исследованиях он обнаружил, что для многих временных рядов размах R/S очень хорошо описывается эмпирическим соотношением

$$R/S = (\tau/2)^K, \quad (7)$$

где показатель K более или менее симметрично распределен вокруг среднего значения 0,73 со стандартным отклонением, равным примерно 0,09. Этот показатель в дальнейшем стали именовать показателем Херста и обозначать буквой H , а само соотношение (7) называют законом Херста.

Заметим, что слева в этом соотношении стоит безразмерная величина, а справа — число лет, составляющих период наблюдения τ , т. е. присутствует определенный минимальный временной период — определенный масштаб. Если учесть, что минимальный временной период (адекватный масштаб, соответствующий временной структуре) в данном случае имеет смысл выбрать равным двум годам⁹, в правой части (7) в степень возводится число n таких, двухлетних, периодов: $R/S = n^H$. Если изучаемое явление в большей мере связано с сезонностью (с местонахождением Земли на ее орбите), имеет смысл наименьший период наблюдения выбирать равным одному году — этому случаю соответствует другой известный вид закона Херста: $R(\tau)/S \sim \tau^H$, но и в этом случае $R/S \sim n^H$.

Закон Херста и ряд связанных с ним обстоятельств до сих пор вызывают интерес и отмечаются в соответствующей литературе как «открытые вопросы». Число работ, где при исследовании временных рядов используется R/S -анализ Херста, в последнее время стало увеличиваться, см. статью Ю. А. Калуща и В. М. Логинова [15] и цитирующуюся там литературу.

Располагая базой данных геофизического мониторинга, естественно, было интересно проследить за поведением нормированного размаха Херста. Далее мы будем продолжать оперировать обозначениями, использованными выше в п. 1.2, поэтому заметим, что роль величины ξ у нас будет играть величина $A(t)$, $t = \tau, 2\tau, 3\tau, \dots, n\tau$, так что вместо $\langle \xi \rangle$ будет фигурировать

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{t=\tau}^{n\tau} A(t).$$

Функция Херста — будем обозначать ее как $X_A(t)$ —

$$X_A(t) = \sum_{u=\tau}^t [A(u) - \bar{A}]. \quad (8)$$

Стандартное отклонение

$$S = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{t=\tau}^{n\tau} [A(t) - \bar{A}]^2 \right\}^{1/2}. \quad (9)$$

⁹ Работы Г. Я. Васильевой с соавторами (см., например, [13], а также [14]) выявили, что при исследовании временной структуры климатических и геофизических процессов следует учитывать, что эволюция состояния межпланетной среды внутри орбиты Марса определяется его периодом обращения вокруг Солнца, который составляет 687 земных суток.

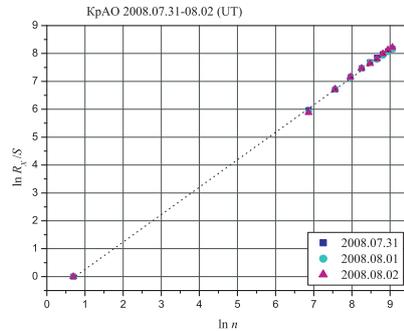


Рис. 39. Поведение нормированного размаха R_X/S как функции числа наблюдений $n = 2, 960, 2 \cdot 960, 3 \cdot 960, \dots, 9 \cdot 960$ в Крыму 31 июля, 1 и 2 августа (UT) 2008 г.

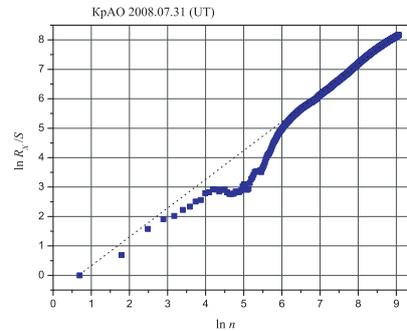


Рис. 40. Поведение нормированного размаха R_X/S как функции числа наблюдений $n = 2, 6, 2 \cdot 6, 3 \cdot 6, \dots, 1440 \cdot 6$ в Крыму 31 июля (UT) 2008 г.

Таким образом, в наших обозначениях нормированный размах Херста

$$\frac{R_X}{S} = \frac{\max \{X_A(t), \tau \leq t \leq n\tau\} - \min \{X_A(t), \tau \leq t \leq n\tau\}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=\tau}^{n\tau} [A(t) - \bar{A}]^2}}. \quad (10)$$

Пример результатов численных расчетов по формуле (10) для временных рядов массы (веса) минерала M приведен на рис. 39. Поясним, что при рассмотрении поведения нормированного размаха R_X/S как функции числа наблюдений n значения n выбирались соответствующими периодам, кратным космологическому периоду P_0 (см. п. 1.2); для сравнения на рис. 40 приведены результаты вычисления поведения R_X/S как функции n при значениях n , соответствующих каждой минуте¹⁰.

Как видим, и для суточных рядов величины M имеет место закон Херста. Показатель Херста $H = 0,98$. Однако ряды, зафиксированные КИИС в Новосибирске и Дубне преподнесли сюрприз своими отклонениями от закона Херста, см. рис. 41.

Сравнивая величину и форму отклонения от закона Херста в Новосибирске и Дубне, можно было предположить, что причина отклонений связана с используемым временем (UT), от которого местное время отличалось на 7 и 4 ч соответственно. Действительно, при использовании местного времени получилась иная картина, она приведена на рис. 42.

Этот случай также свидетельствует в пользу отмеченной в п. 1.2 необходимости использовать местное время, когда речь идет об ис-

¹⁰ Напомним, что в мониторинге *Дубна-Научный-Новосибирск* результаты измерений записываются каждые 10 с.

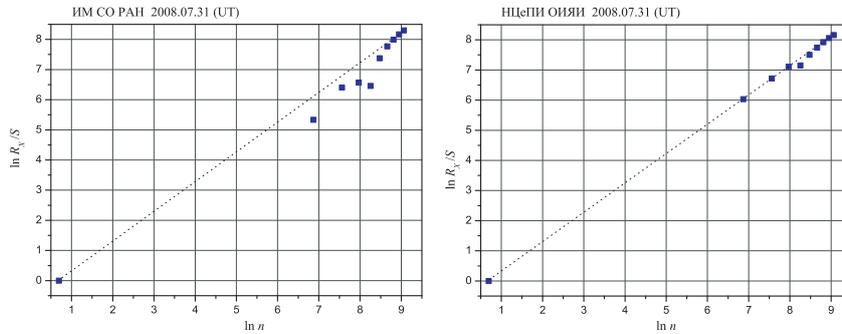


Рис. 41. Поведение нормированного размаха R_X/S как функции числа наблюдений $n = 2, 960, 2 \cdot 960, 3 \cdot 960, \dots, 9 \cdot 960$ в Новосибирске (слева) и Дубне (справа) 31 июля (UT) 2008 г.

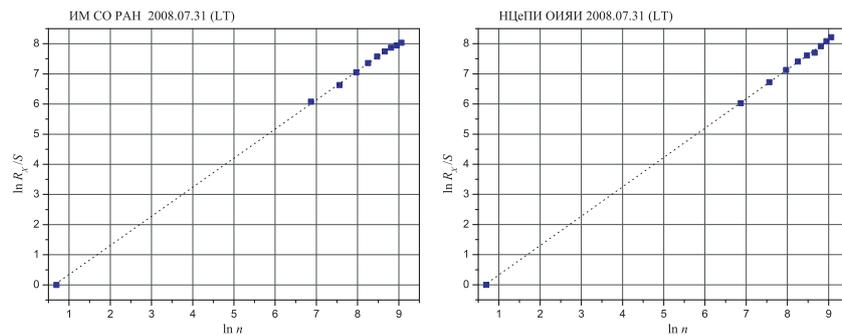


Рис. 42. Поведение нормированного размаха R_X/S как функции числа наблюдений $n = 2, 960, 2 \cdot 960, 3 \cdot 960, \dots, 9 \cdot 960$ в Новосибирске (слева) и Дубне (справа) 31 июля (LT) 2008 г.

следовании самой временной структуры суточных рядов. Кроме того, он указывает, что дело не просто в числе точек наблюдения; анализируемый временной ряд должен адекватно представлять (полностью «охватывать») исследуемую временную структуру.

С нашей точки зрения (т.е. с точки зрения существования определенной временной структуры), чтобы понять, почему в природных процессах и естественных системах наблюдается статистика Херста, необходимо сначала обратиться к физическому смыслу самой функции Херста.

Согласно определяющей ее формуле (6), это весьма специфическая функция, отличающаяся от обычных функций — характеристик состояния системы (ср. поведение функции Херста X_M на рис. 43 для временных рядов M с поведением M , представленным на рис. 2, 8 и 14; 4, 10 и 16; 6, 12 и 18). Фактически функция X_A описывает вре-

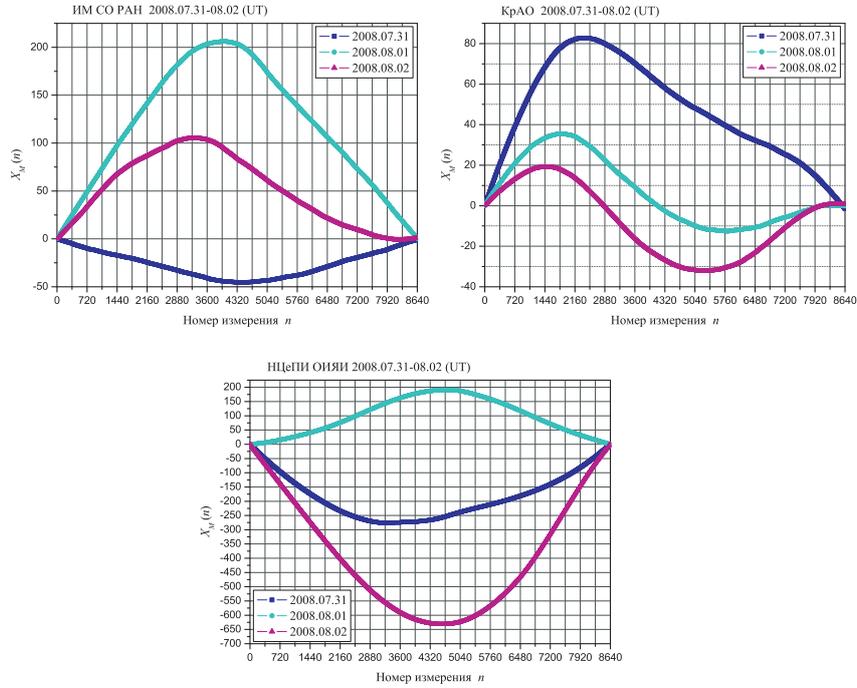


Рис. 43. Поведение функции Херста X_M как функции номера измерения n в Новосибирске, Крыму и Дубне 31 июля, 1 и 2 августа (UT) 2008 г.

менную структуру A , фиксируя шаг за шагом накопление отклонений текущего значения $A(t)$ от среднего значения \bar{A} . Размах ее соседних значений $X_A(t-1)$ и $X_A(t)$

$$|X_A(t-1) - X_A(t)| = |A(t) - \bar{A}|,$$

и в интервале $\tau \leq t \leq n\tau$ его среднее значение

$$\overline{R_X(1)} = \frac{1}{n-1} \sum_{t=2\tau}^{n\tau} |A(t) - \bar{A}|.$$

Далее, поскольку отношение R_X/S по своей математической природе неоднородно, а именно: размах R_X относится к функции X_A , а стандартное отклонение — к функции A , то при выяснении специфических свойств отношения R_X/S имеет смысл представить его в виде произведения двух семантически однородных факторов:

$$\frac{R_X}{S} = \frac{R_X}{\overline{R_X(1)}} \frac{\overline{R_X(1)}}{S}. \quad (11)$$

Действительно, первый фактор характеризует функцию X_A и при определенных фрактальных свойствах y ее кривой определяется формулой (4), где, когда $m = n$ ($k = 1$), $\overline{R(n)} = R$. Поэтому

$$\frac{R_X}{\overline{R_X(1)}} = n^{2-D_H}, \quad (12)$$

где D_H — фрактальная размерность графика $X_A(t)$.

Второй фактор характеризует функцию A :

$$\frac{\overline{R_X(1)}}{S} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{t=2\tau}^{n\tau} |A(t) - \bar{A}|}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=\tau}^{n\tau} |A(t) - \bar{A}|^2}}. \quad (13)$$

Правая часть (13) представляет собой отношение двух характеристик отклонения текущего значения $A(t)$ от среднего значения \bar{A} .

Как известно, среднее значение отклонения $A(t)$ от его среднего \bar{A} равно нулю:

$$\frac{1}{n} \sum_{t=\tau}^{n\tau} [A(t) - \bar{A}] = 0,$$

и поэтому рассматривается среднее квадратичное отклонение — дисперсия, или S^2 . Величина $\overline{R_X(1)}$ представляет собой среднее значение $n - 1$ отклонений $A(t)$ от \bar{A} по абсолютной величине.

Распишем правую часть (13) более подробно:

$$\frac{\overline{R_X(1)}}{S} = \sqrt{\frac{n}{(n-1)^2}} \times \left\{ \frac{a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_n^2 + 2a_2a_3 + 2a_2a_4 + \dots + 2a_2a_n + \dots + 2a_{n-1}a_n}{a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2} \right\}^{1/2},$$

где $a_i = |A(i\tau) - \bar{A}|$, $i = 1, 2, \dots, n$.

При $n \gg 1$ первый множитель дает $n^{-0.5}$, а во втором числитель (который содержит на $(n-1)(n-2) - 1$ слагаемых больше, чем знаменатель) значительно увеличивается с ростом n , чем знаменатель, и тем самым компенсирует уменьшение первого множителя.

Вообще говоря, исследование поведения величины $\overline{R_X(1)}/S$ представляет самостоятельный интерес как сравнение двух математических характеристик, по-разному оценивающих в среднем отклонение от среднего значения.

Итак,

$$\frac{R_X}{S} = n^{2-D_H} \frac{\overline{R_X(1)}}{S},$$

и можно предложить следующую приближенную качественную его оценку.

Учитывая рассмотренное выше поведение функции X_A , следует ожидать большей близости D_X к 1, нежели к 1,5 и выше, а учитывая достаточно близкий физический смысл $\overline{R_X(1)}$ и S , можно ожидать достаточной близости отношения $\overline{R_X(1)}/S$ к $\text{const} \approx 1$. Так что отношение $R_X/S \approx n^H$, где показатель $H > 0,5$. Как видим, парадокс, состоящий в том, что в природе $H > 0,5$, в то время как в математических моделях теории Херста. Проявим это примером анализа тех же экспериментальных данных, на основе которых был получен рис. 39.

Действительно, как следует из рис. 44, фрактальные свойства временного ряда X_M существенно отличаются от фрактальных свойств временного ряда M (ср. рис. 44 и левый рис. 25) и $D_H = 1,00$. На рис. 45 мы видим, что $\overline{R_X(1)}/S$ действительно близко к 1. Т. е. можно ожидать $H \approx 1$; на самом деле, как было отмечено выше, $H = 0,98$.

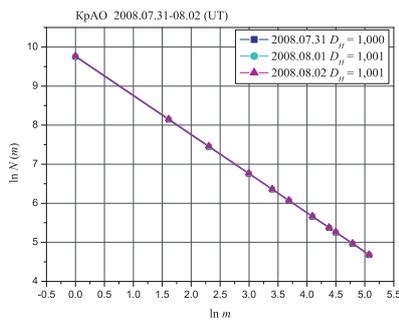


Рис. 44. Фрактальные свойства функции Херста для временных рядов M , записанных КИИС в Крыму 31 июля, 1 и 2 августа 2008 г.

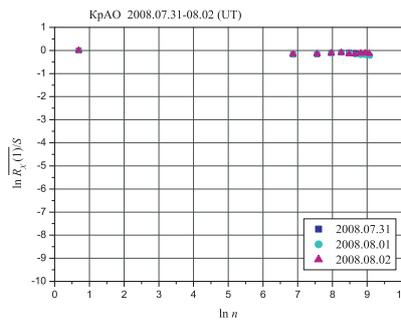


Рис. 45. Поведение нормированного размаха $\overline{R_X(1)}/S$ как функции числа наблюдений $n = 2,960, 2 \cdot 960, 3 \cdot 960, \dots, 9 \cdot 960$ в Крыму 31 июля, 1 и 2 августа (UT) 2008 г.

Геофизический мониторинг *Дубна-Научный-Новосибирск* предоставил широкие возможности для исследования природы закона Херста, но здесь мы хотели пока только показать, как важно в этих исследованиях иметь в виду существование определенной временной структуры в мире событий и понимать, что для ее изучения крайне необходимо адекватно выбрать минимальный временной масштаб.

В заключение заметим, что с точки зрения существования определенной временной структуры, описанию которой и служит функция Херста, выводы работы [15], сделанные на основе численного исследования определенного фактического материала, выглядят совершенно естественными. Они утверждают, что, во-первых, показатель Херста имеет сложную немонотонную зависимость от длины временного ряда и, во-вторых, его значение зависит от выбранного временного масштаба.

Действительно, обратимся к физическому смыслу функции Херста X_A для временной структуры величины A . С помощью известных математических средств эта структура характеризуется следующим образом. Величина \bar{A} фиксирует «центральный» уровень значений A , отклонения от которого задает величина $A - \bar{A}$. Именно эти отклонения, от одной временной точки к другой (расстояние между которыми является минимальным временным масштабом), суммирует функция X_A . Так что размах $R_X(1)$ функции Херста характеризует крупномасштабную структуру A . Мелкую структуру фиксирует размах значений A в соседних точках — $R(1)$, так что соотношение стандартного отклонения S и $R(1)$ характеризует соотношение «амплитуд» колебаний $A(t)$ — крупномасштабных и мелкомасштабных.

Сама функция Херста фактически численно характеризует разность «положительных» ($A > \bar{A}$) и «отрицательных» ($A < \bar{A}$) площадей, которые ограничены кривой $Y = A(t)$ и прямой $Y = \bar{A}$. Так что значение $X_A(t)$ показывает степень несимметричности A относительно \bar{A} на момент t , а R_X характеризует «амплитуду» вариаций этой несимметричности.

Поскольку естественным масштабом структуры A , так или иначе, является величина S , то, учитывая необходимость сравнения временных структур разного происхождения, целесообразно измерять R_X в единицах стандартного отклонения S , т. е. рассматривать R_X/S .

Очевидно, величина \bar{A} зависит и от длины определяющего A временного ряда, и от минимального временного масштаба, что отражается на всех величинах, характеризующих временную структуру A , в том числе и на показателе Херста.

Закон Херста описывает поведение «амплитуды» вариации несимметричности поведения A относительно \bar{A} как функции числа наблюдений n . Он был обнаружен при анализе долговременных наблюдений природных процессов и естественных систем при соответствующем регламенте наблюдений. Какой диапазон значений t должен фигурировать в подобном законе для произвольной временной структуры, какую роль играет минимальный временной масштаб — актуальные «открытые» вопросы R/S -анализа, но они находятся за рамками данной работы; мы только хотели отметить естественность выводов перспективной работы [15].

2. Реакция сложных систем на полное затмение Солнца

2.1. Естественная динамика массы минерала во время полного затмения Солнца. Благодаря полному затмению Солнца в Новосибирске 1 августа 2008 г. (фаза 1,02) при частных затмениях в Дубне (фаза 0,58) и Крыму (фаза $< 0,3$) открылась возможность прямого исследования степени влияния процессов на Солнце на регистрируе-

мый в геофизическом мониторинге *Дубна–Научный–Новосибирск* ход динамики массы (веса) минералов и динамики напряженности квазистатического электрического поля атмосферы. Использовать это астрономическое явление было особенно важно, поскольку неожиданно затянувшийся минимум солнечной активности (который закончился 11 октября 2008 г.) не давал возможности исследовать связь естественной динамики контролирующихся в мониторинге величин с динамикой солнечной активности.

На рис. 46 приведена общая картина динамики массы (веса) минералов в трех географических точках мониторинга в день затмения. Как видим, в этот день наблюдалось единообразное падение массы (веса) в Новосибирске и Дубне. Это падение предположительно можно было связывать с влиянием именно Солнца, поскольку в этой динамике присутствовал характерный трехчасовой сдвиг, соответствующий разнице в пояском времени. В таком случае в Новосибирске во время затмения следовало ожидать полного прекращения падения массы (веса) при существенном экранировании Солнца Луной (более чем на 50%), а в Дубне — заметного замедления скорости падения.

Именно эти факты при благоприятных сопутствующих условиях (см. рис. 8, 9, 12 и 13) были зафиксированы КИИС в Новосибирске и Дубне. Так, в Новосибирске падение массы (веса) минерала прекратилось за 15 мин до наступления нулевой освещенности земной поверхности и возобновилось (с той же скоростью) через несколько минут после выхода из нее (см. рис. 47, где для наглядности синхронно с M_1 указана освещенность S).

Соответственно, в Дубне КИИС зафиксировала только уменьшение скорости падения массы (веса) контролирующегося минерала в 1,9 раза (см. рис. 48).

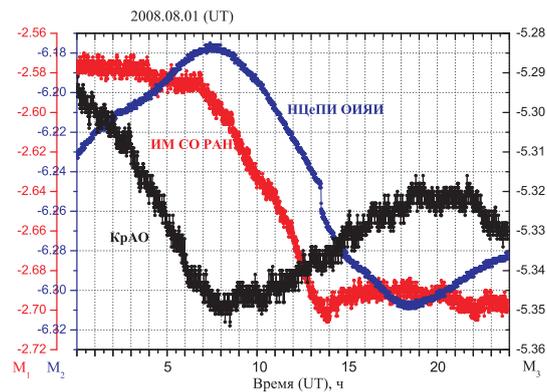


Рис. 46. Синхронное поведение массы (веса) минералов M_1 (Новосибирск), M_2 (Дубна) и M_3 (Крым) в день полного затмения Солнца в Новосибирске 1.08.2008

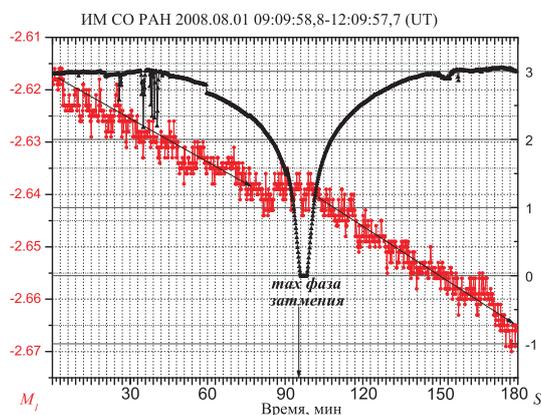


Рис. 47. Минутная динамика M_1 в течение 3 ч, включающих явление полного затмения Солнца

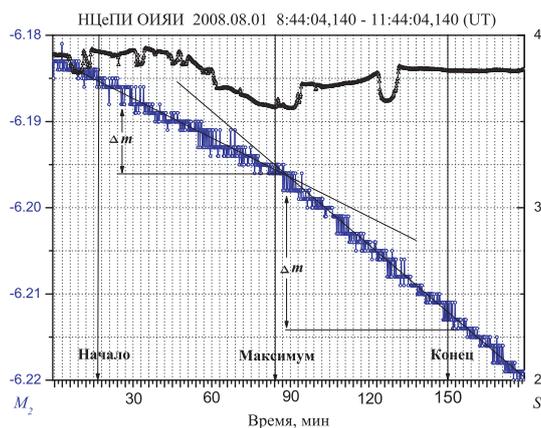


Рис. 48. Минутная динамика M_2 в течение 3 ч, включающих явление частного затмения Солнца

В Крыму, где фаза затмения была незначительной, подобных изменений зафиксировано не было.

Описанное поведение массы (веса) минерала в Новосибирске согласуется с поведением во время полного затмения Солнца некоторой сложной химической системы (водно-спиртовой раствор камфары, нитрата калия и хлористого аммония); описание этого, весьма любопытного, явления приведено в приложении.

2.2. Реакция напряженности квазистатического электрического поля атмосферы на полное затмение Солнца. Как наблюдалось в предыдущие полные затмения Солнца в Сибири [16], перед полным затмением происходит резкое падение напряженности E квазистатиче-

ского электрического поля атмосферы ¹¹. В связи с этим для получения дополнительного (контрольного) фактического материала в этот день была параллельно задействована еще одна, полностью автономная, информационно-измерительная система, управляющая дополнительным измерением напряженности E — ежесекундно.

Действительно, как было зафиксировано КИИС в Новосибирске, за час до начала полного затмения в Новосибирске произошло резкое падение напряженности E . Продолжительность падения соответствует продолжительности всего затмения. Как видим на рис. 49, напряженность E уже начинает также резко восстанавливаться, когда затмение в Новосибирске приближается к максимальной фазе. Эти данные подтвердила подробная запись дополнительной информационно-измерительной системы (см. рис. 50).

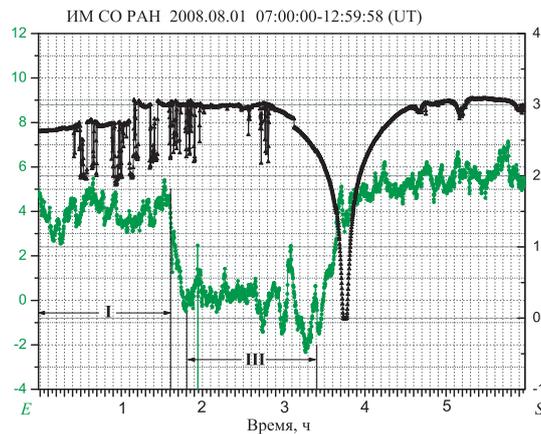


Рис. 49. Динамика напряженности E , записанная КИИС в Новосибирске в течение 6 ч, включающих явление полного затмения Солнца

Контрольный мониторинг не только подтвердил данные КИИС, но и, предоставив запись данных в 10 раз подробнее, дал возможность оценить фрактальные свойства напряженности E в течение пяти разных периодов: периоды *до изменения* и *после изменения* — I и V, периоды *во время изменения* — II, III и IV (см. рис. 50). Кроме того, сравнение записей динамики E , произведенных разными, полностью независимыми системами, позволило убедиться в ничтожности электронных шумов самой информационно-измерительной системы.

Как показали численные расчеты, периодам I и V соответствуют одинаковые фрактальные размерности $D_I = D_V = 1,5$. Периодам II, III

¹¹ Наблюдения велись в Камне-на-Оби, Новосибирске, Пржевальске и Таш-Майнаке.

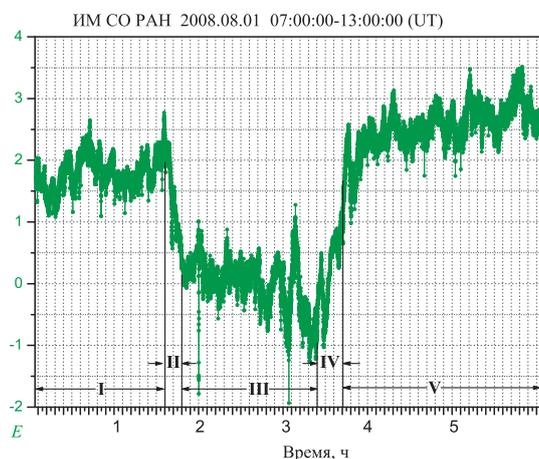


Рис. 50. Динамика напряженности E , записанная в Новосибирске дополнительной информационно-измерительной системой в течение 6 ч, включающих явление полного затмения Солнца

и IV также соответствуют одинаковые фрактальные размерности, но другой величины: $D_{II} = D_{III} = D_{IV} = 1,4$ (см. рис. 51).

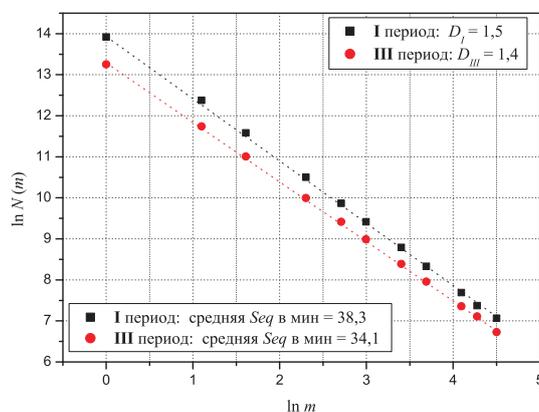


Рис. 51. Сравнение фрактальных свойств временных рядов, относящихся к I и III периодам. Число измерений в этих периодах одно и то же

Таким образом, в связи с полным затмением Солнца изменилась не только величина E , но и ритм ее колебаний (ср. значения средней секвенты в минуту для периодов I и III).

Заключение

Подводя итоги, целесообразно подчеркнуть, что исследование структуры временных рядов геофизического мониторинга *Дубна–Научный–Новосибирск* ведется с позиций представлений о характерных свойствах временного аспекта физической реальности [1]. Отметим выделившиеся при этом ключевые моменты исследования временной структуры физических характеристик:

- необходимость адекватного представления временной структуры временным рядом рассматриваемой характеристики;
- необходимость использования адекватного минимального временного масштаба;
- необходимость адекватного выбора пробного временного периода, соответствующего реальному элементу временной структуры.

Очевидно, что эти моменты требуют четкой формулировки конкретной цели проводимого исследования, которая и определит соответствующие требования к используемому фактическому материалу, математическим средствам для его анализа и необходимым временным масштабам.

Представление о существовании определенной временной структуры физической характеристики сложной системы инициировало применение идеологии теории фракталов и секвентного анализа. В целом их применение, представленное в разд. 1, свидетельствует об определенной, не случайной, структуре суточных рядов массы (веса) минералов и способствует выбору математических средств для перехода к исследованию динамики суточной структуры в течение года.

В обсуждаемых исследованиях суточная динамика массы (веса) минералов изначально рассматривается как следствие реакции вещества на гео- и космофизические процессы. Имеется в виду дистанционное воздействие внешних необратимых процессов на состояние вещества сложных систем. Подчеркнем, что это несиловое воздействие; используя терминологию, принятую в кибернетике, его можно характеризовать как информационное, оно принадлежит временному аспекту физической реальности и обладает вследствие этого рядом специфических свойств и особенностей (см. их систематическое описание в главе 4 монографии [1]).

Астрономическое явление экранирования Солнца Луной подтвердило такую интерпретацию динамики массы (веса) минералов, предоставив возможность непосредственно увидеть и достаточно подробно зафиксировать временное «выключение» воздействия процессов на Солнце на наземные системы при полной его фазе (в Новосибирске) и заметное ослабление при фазе $> 0,5$ (в Дубне). Тем более что это наблюдение было существенно информационно усилено — наблюдением некоторых неординарных химических процессов в запаянной ампуле (см. приложение).

Поэтому хотелось бы отметить, что поведение во время затмения контролируемых минералов и водно-спиртового раствора камфары, нитрата калия и хлористого аммония в запаянной ампуле, представленное в разд. 2 и приложении, весомерно подтверждает заявление авторов, сделанное в работе [3]:

В долговременных наблюдениях различных исследуемых явлений в сложных системах физики и химии, биологии и медицины имеет смысл параллельно отслеживать естественную динамику соответствующего кристалла минерала или минерального агрегата. Это позволит получить инструмент для изучения известного отсутствия строгой воспроизводимости в определенных экспериментах (особенно в биологии и медицине).

В заключение авторы, пользуясь случаем, выражают глубокую благодарность академику, проф. Ю. Л. Ершову и проф. Н. Н. Степанян за содействие проведению мониторинга в ИМ им. С. Л. Соболева СО РАН и в НИИ «КраО».

П р и л о ж е н и е **Полное затмение Солнца 1 августа 2008 г.:** **реакция штормгласов**

Предварительно необходимо заметить, что в отношении старинного метеорологического прибора, *stormglass*'а (штормглас, штормовые склянки), где для предсказания погоды используется поведение состояния водно-спиртового раствора камфары, нитрата калия и хлористого аммония, приготовленного специальным образом и находящегося в запаянной большой ампуле, так и не решен вопрос: штормглас — реальность или легенда? (См., например, [17, 18].)



Рис. 52. Штормгласы (фото П. Колесова)

Поскольку главным действующим «лицом» в предсказании погоды в нем выступает образование и поведение дендритов, штормгласы были включены в наши наблюдения массы (веса) специально подобранной коллекции кристаллов минералов и минеральных агрегатов. Штормгласы, о которых идет речь, были изготовлены около 20 лет назад (на рис. 52 представлена их фотография в их обычном состоянии) и находятся под наблюдением одного из авторов (*И. Е.*) с 1994 г. В том году они привлекли к себе вни-

мание своей реакцией на катастрофические события на Юпитере, связанные с так называемой кометой SL-9 (см. [1, с. 265]).

Отмеченные в статьях [17, 18] дискуссионные ситуации, связанные со штормгласами, могут быть, в принципе, объяснены с позиций представлений о дистанционном воздействии внешних необратимых процессов на состояние вещества сложных систем, о котором шла речь в заключении, если принять во внимание его специфические свойства и особенности. Ниже мы ограничимся описанием реакции штормгласов на полное затмение Солнца в Новосибирске.

За неделю до затмения в двух штормгласах, Ш1 и Ш2, наблюдалась, как обычно, одинаковая картина. Кратко обрисуем ее.

В растворе, на самом дне ампулы — небольшая масса (высотой 0,7 см) весьма старых кристаллов (структура крупнозернистая). Над ними через тонкий слой раствора — масса менее старых кристаллов (структура мелкозернистая), которая в Ш1 достигала в высоту 1,5 см, а в Ш2 — 4,5 см (отметим только, что причина этого количественного различия известна). Выше этой массы мелкозернистых кристаллов — свежие кристаллы, дендриты, в Ш1 и в Ш2 примерно в одинаковом количестве (в высоту 1,5 см). Граница раздела жидкость–воздух выглядела вогнутой, имеющей толщину 1,0–1,2 мм и желтоватую окраску.

Всю эту неделю наблюдалось уплотнение и частично растворение дендритов, и 1.08.2008 в Ш1 «чистый» (от кристаллов) раствор начался выше 3,2 см, а в Ш2 — выше 6,3 см (высота столба раствора в Ш1 составляла $(20,3 \pm 0,1)$ см, в Ш2 — $(25,3 \pm 0,1)$ см).

Надо сразу отметить, что, к сожалению, поскольку совершенно не ожидалось «бурной», быстропотекающей реакции штормгласов на затмение Солнца, не было приготовлено соответствующих фотографических средств.

1.08.2008, в затмение, в 10:00 UT было зафиксировано, что в Ш1 масса старых мелкозернистых кристаллов, имевшая в высоту 1,5 см, всплыла вверх на 4,6 см. Одновременно почти не стало видно свежих дендритов — в целом масса мелкозернистые кристаллы + дендриты стала иметь в высоту на 1 см меньше. В это же время в Ш2, где ничего подобного не наблюдалось, дендриты были видны, хотя масса мелкозернистые кристаллы + дендриты в целом тоже уменьшилась в высоту, на 0,5 см.

Процесс всплытия сопровождался бурным выделением многочисленных пузырьков над всплывающей массой, которые тут же устремились вверх. Скорость всплытия: 4,2 см за 25 мин, за следующие 12 мин — 1,2 см. От дендритов «отламывались» группы кристаллов и всплывали. И пузырьки, и обломки дендритов задерживались на расстоянии 2 мм от границы раздела жидкость–воздух. Вскоре стала видна новая граница раздела — в самом растворе, идеально плоская, сероватая, толщиной $< 0,1$ мм. У этой границы, снизу, и зависали пузырьки и обломки дендритов. Только отдельные пузырьки (единицы), видимо, пробивали эту границу раздела: на ней были видны следы

этого — светлые кружочки; выше границы пузырьков не было видно. (N.B.: за 14 лет такое наблюдалось впервые!)

В Ш2 картина была прежняя, только веточки дендритов как бы чуть «расправились» на пару миллиметров.

И вдруг, четко с первыми лучами Солнца, этот процесс бурного образования пузырьков мгновенно резко «выключился». Пузырьки исчезли. Примерно через 10 мин почти исчезли всплывшие обломки дендритов. Всплывшая на 10 см масса стала опускаться: в первые 13 мин после «выключения» — на 1 см, за следующие 85 мин — на 3,8 см. Утром 2.08.2008 всплывшая, заметно уменьшившаяся масса мелкозернистых кристаллов была уже на своем исходном уровне.

В Ш2 все составляющие (старые крупнозернистые кристаллы на дне, мелкозернистые — над ними и свежие дендриты) так же заметно уменьшились в своих размерах, уплотнившись и растворившись, и высота столба раствора, свободного от кристаллических образований, составила 19,5 см против исходных 18,9 см.

Что касается образовавшейся в растворе необычной новой границы раздела в жидкости, то она просуществовала до 18.08.2008, плохо просматриваясь после 14.08.2008. На рис. 53 представлены две фотографии, сделанные 4.08.2008. Сама граница (бледно-серая, идеально плоская, толщиной меньше 0,1 мм) на них не видна, но ее ярким индикатором является блик над ней: обе фотографии получены оди-

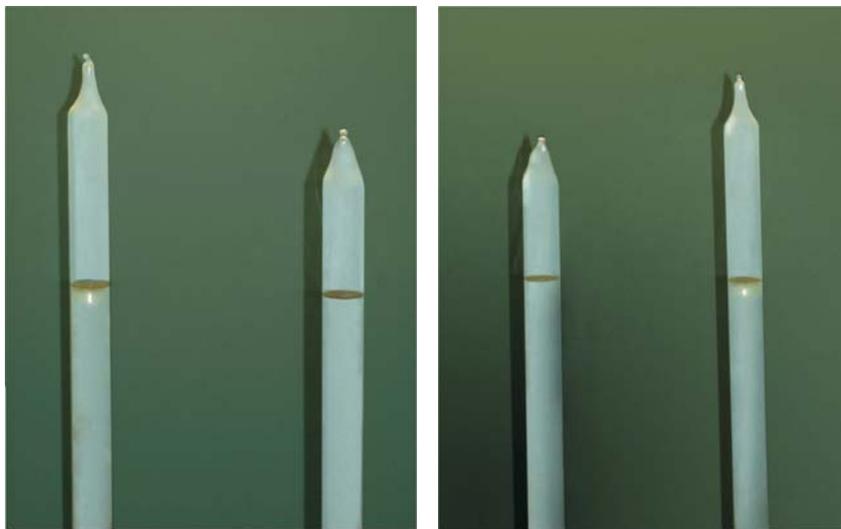


Рис. 53. Необычная граница раздела в растворе в штормгласе Ш1, на которую указывает блик на фотографии. На левой фотографии слева штормглас Ш1, справа — Ш2, на правой — наоборот. Фотографии ретушированы — убраны внутренние тени

наковым образом, но на левой фотографии Ш1 слева, а на правой фотографии — справа, и, как видим, блик переместился вместе с ним. Зафиксированная впервые на расстоянии 2 мм от основной границы раздела жидкость–воздух, она стала затем опускаться: 2.08.2008 она была на расстоянии 6 мм от основной границы, 5.08.2008 — на расстоянии 7 мм и далее там и находилась. Раствор между основной и возникшей границами имел желтоватый оттенок (см. рис. 53).

Различие в поведении штормгласов Ш1 и Ш2 можно объяснить с позиции известных специфических свойств дистанционного воздействия внешних необратимых процессов на состояние вещества сложных систем. Здесь мы только хотели представить сам зафиксированный факт — реакцию водно-спиртового раствора камфары, нитрата калия и хлористого аммония в запаянной ампуле непосредственно на полное затмение Солнца, что подтверждает динамика контролирующихся местных условий (см. данные, приведенные на рис. 8 и 9).

Список литературы

1. *Еганова И. А.* Природа пространства-времени. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005. 271 с.
2. *Еганова И. А., Клецев А. Г., Струминский В. И.* К проблеме геофизического мониторинга: масса кристаллов и минеральных агрегатов // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции / Ред. М. М. Лаврентьев, В. Н. Самойлов. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. С. 107–123.
3. *Еганова И. А., Самойлов В. Н., Струминский В. И., Каллис В.* Масса (вес) как объект долговременных наблюдений в гравитационных исследованиях. Ч. 2. Геофизический мониторинг с контролем массы // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции / Ред. М. М. Лаврентьев, В. Н. Самойлов. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. С. 184–193.
4. *Котов В. А.* Экзопланеты, время и антропный принцип // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции / Ред. М. М. Лаврентьев, В. Н. Самойлов. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. С. 271–288.
5. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Гл. ред. Ю. В. Прохоров. М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. С. 787.
6. *Федер Е.* Фракталы. М.: Мир, 1991. 260 с. [*Feder J.* Fractals. New York and London: Plenum Press, 1988. 283 p.]
7. *Еганова И. А., Самойлов В. Н., Струминский В. И., Каллис В.* Масса (вес) как объект долговременных наблюдений в гравитационных исследованиях. Ч. 1. Проблемы теории гравитации и динамика массы // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции / Ред. М. М. Лаврентьев, В. Н. Самойлов. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. С. 165–183.

8. *Северный А. Б.* Некоторые проблемы физики Солнца. М.: Наука, 1988. 224 с.
9. *Котов В. А., Лютый В. М.* Фотометрия сейфертовской галактики NGC 4151 и квазара 3С 273: период 160,010 минут // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. 1987. Т. 75. С. 89–110.
10. *Орлов В. А., Пятигорец А. В.* Лазерные деформографические исследования длиннопериодных колебаний Земли // Материалы международной конференции «Активный геофизический мониторинг литосферы Земли», 12–16 сентября 2005 г. Новосибирск, 2005. С. 180–185.
11. *Хармут Х.* Теория секвентного анализа, основы и применения. М.: Мир, 1980. 576 с. [*Harmuth H. F.* Sequency theory, foundations and applications. New York, San Francisco, London: Academic Press, 1977. 505 + xiv p.]
12. *Могилевский Э. И.* Фракталы на Солнце. М.: Физматлит, 2001. 152 с.
13. *Васильева Г. Я., Федоров П. М.* Эволюция структуры межпланетной среды внутри орбиты Марса // Изв. АН СССР, сер. физическая. 1981. Т. 45. С. 1335–1345.
14. *Еганова И. А.* О проявлении динамики структуры мира событий в гелиофизике // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции / Ред. М. М. Лаврентьев. Новосибирск, 2004. С. 90–100.
15. *Калуш Ю. А., Логинов В. М.* Показатель Херста и его скрытые свойства // Сибирский журнал индустриальной математики. 2002. Т. 5, № 4(12). С. 29–37.
16. *Иманкулов А. Ч., Струминский В. И., Татаринов С. П.* Эффект солнечного затмения в атмосферно-электрическом поле по данным наземных измерений в 1981 и 1987 гг. // Магнитосферные исследования. № 15. Атмосферное электричество и солнечно-земные связи. М., 1990. С. 32–37.
17. Химия и жизнь. 1979. № 6. С. 71–76.
18. Химия и жизнь. 1980. № 2. С. 68–71.

Получено 20 мая 2009 г.

Редактор *А. Н. Шабашова*

Подписано в печать 3.06.2009.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,48. Тираж 100 экз. Заказ № 56614.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/

Еганова И. А. и др.

P18-2009-75

Геофизический мониторинг *Дубна–Научный–Новосибирск*:
природа явления Херста и затмение Солнца 1 августа 2008 г.

На основе представлений о времени как аспекте существования физической реальности демонстрируются возможности использования идеологии теории фракталов и секвентного анализа для изучения структуры временных рядов физических характеристик с помощью базы данных комплексного геофизического мониторинга. Предлагается принципиально новый подход к раскрытию природы статистики Херста, и обсуждаются результаты наблюдения реакции сложных систем на полное затмение Солнца 1 августа 2008 г.

Работа выполнена в Научном центре прикладных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2009

Eganova I. A. et al.

P18-2009-75

Geophysical Monitoring *Dubna–Nauchny–Novosibirsk*:
The Origin of the Hurst Phenomenon and the Solar Eclipse
of August 1, 2008

Opportunities to apply the fractal theory and the sequency theory are presented based on the idea about time as an aspect of the physical reality existence, to study the structure of time series of the physical characteristics, using the data base of the complex geophysical monitoring. A crucially new approach is suggested to unveil the origin of the Hurst statistics, and results of the observation of the complex systems' reaction to the total solar eclipse of August 1, 2008 are discussed.

The investigation has been performed at the Scientific Center for Applied Research, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2009