

УДК [551.590.21 : 556.555] (282.247.224.2/.3)

Игорь ЛИБИН, Аго ЯАНИ

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

### 1. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАНИЙ ВОДНОСТИ ЧУДСКОГО ОЗЕРА

#### 1.

В литературе неоднократно поднимался вопрос о вероятной связи многолетних и сезонных изменений различных геофизических, гидрологических и атмосферных процессов с гелиофизическими и космофизическими явлениями. Еще в 1937 г. Л. А. Чижевский высказал предположение о роли Солнца во всем комплексе явлений и механизмов, называемых сегодня солнечно-земной физикой (Чижевский, 1976). В настоящее время это не подвергается сомнению — причиной разного рода возмущений в атмосфере и гидросфере Земли являются гелиофизические процессы на Солнце (Zatopek и др., 1976; Halenka, 1986). Циркуляция атмосферы, ответственная за многие гидрофизические процессы, сама подвержена влиянию цикличности меняющейся солнечной активности (Зильс и др., 1987), которая контролирует состояние геомагнитной активности и временные изменения интенсивности космических лучей (Дорман и др., 1987а; Ариэль и др., 1986; Xanthakis и др., 1981; Feupman, 1982; Чертков, 1985). Уместно ожидать комплексную взаимосвязь между всеми упомянутыми выше явлениями (Дорман и др., 1987б; Новиков и др., 1984), в том числе между солнечной активностью и процессами, определяющими водность озер (Jaani, 1973; Reap, 1981; Reap, 1986).

Целью настоящей работы является поиск неустойчивых и квазиустойчивых частотно-зависимых корреляционных связей между различными космогелиофизическими, метеорологическими и гидрологическими процессами, чтобы, опираясь в дальнейшем на выявленные связи, попытаться прогнозировать, в частности, средние характеристики поведения гидрологических параметров (Jaani, 1973). Существование таких связей следует из простого сопоставления временных изменений солнечной активности и водности озер (Jaani, 1973), скорости ветра в энергоактивных зонах (Дорман и др., 1987а; Дорман и др., 1987б) и интенсивности космических лучей на Земле (Xanthakis и др., 1981; Дорман и др., 1987б; Новиков и др., 1984).

Одним из процессов, отражающих общее состояние атмосферы и, по-видимому, поведение гелиоактивности, является циклическое изменение водности озер (Jaani, 1973). При этом наиболее удобным показателем является средний уровень воды за какой-то определенный отрезок времени любого озера (желательно, большого и бессточного).

В настоящей работе использовали среднегодовые значения площадей солнечных пятен  $S$ , уровня воды Чудского озера  $H$  за 1885—1987 годы, повторяемости ( $P$ ) опасно сильных ветров на Балтийском море (Дорман и др., 1987а), геомагнитного  $K_p$ -индекса и интенсивности космических лучей по данным станции Киль. Исследования проводили методами корреляционного и спектрального анализов с привлечением методов рекурсивной фильтрации данных (фильтры Баттерворта; Кей, Марпл, 1981).



Чудское озеро является одним из крупнейших озер СССР и Европы, занимая по площади водного зеркала (3,6 тыс. кв. км) 5-е место в Европе и 10-е в СССР. Общая водосборная площадь озера (включая площадь самого озера) составляет 47800 км<sup>2</sup>. Водосбор вытянут в меридиональном направлении почти на 370 км от 56°10' до 59°30' с. ш. при средней ширине водосбора 160 км (Чудско-Псковское озеро, 1983). Само озеро также вытянуто в меридиональном направлении почти на 140 км и расположено между 57°51'—59°01' с. ш. и 26°57'—28°10' в. д. Оно состоит из трех частей, различающихся между собой как по морфометрическим, так и по режимным характеристикам, но составляющих единый водоем (Яни, 1987). При среднем многолетнем уровне, принятом нами 30,00 м БС, площадь озера составляет 3555 км<sup>2</sup>, а объем водной массы 25,07 км<sup>3</sup> (Чудско-Псковское озеро, 1983). Озеро мелководное — средняя глубина 7,1 м. В Чудское озеро впадает около 240 рек и ручьев, из которых наиболее крупными являются реки Великая (площадь водосбора 25200 км<sup>2</sup>), Эмайыги (9960 км<sup>2</sup>), Выханду (1410 км<sup>2</sup>) и Желча (1220 км<sup>2</sup>). Водосборы этих рек, впадающих в озеро в основном с юга (р. Великая) и запада (реки Эмайыги и Выханду), составляют 80% водосборной площади озера.

Начало регулярных исследований Чудского озера связано с большими затоплениями, причинившими большой ущерб сельскому хозяйству (1840, 1844, 1867), а также с уменьшением уловов рыбы. Руководитель работавшей на озере в 1851—1852 гг. комиссии академик К. Бэр пришел в 1852 г. к выводу о постепенном повышении уровня воды под влиянием хозяйственной деятельности на водосборе, в основном лесо- и агромелиорации. К такому же выводу в 1864 г. пришел академик Г. Гельмерсен. Впоследствии вопросам понижения уровня озера и создания Чудско-Балтийского водного пути (как известно, из-за водопадов и порожистости р. Нарвы судоходство между озером и морем невозможно) был посвящен ряд исследований. И. Б. Шпиндлер, анализируя имевшиеся к тому времени сведения, не нашел подтверждения распространенному мнению о постепенном повышении уровня озера (Шпиндлер, Зенгбуш, 1896), а Е. Л. Кениг для ликвидации разливов все же предложил понизить уровень озера на 0,7 м (Кениг, Живилов, 1909). Партией инженера Кенига в 1902 г. были открыты первые гидрологические уровенные посты на Чудском озере; из них пост в дер. Васкарнава (0,6 км ниже истока) работает до настоящего времени.

В 1921 г. в г. Муствез был организован озерный гидрометеорологический пост, который в настоящее время является основным и имеет практически непрерывный и качественный ряд наблюдений. Используя коррелятивные связи между уровнями на постах Муствез и Васкарнава, а также на р. Эмайыги в г. Тарту, где уровенные наблюдения проводятся с 1867 г., непрерывный ряд данных об уровне Чудского озера продлен до 1885 г. Таким образом, используемый в настоящее время 102-летний ряд годовых уровней Чудского озера состоит фактически из трех частей:

1) ежедневные натурные измерения в г. Муствез с марта 1921 г. Отдельные перемены в 1937 г. из-за гидротехнического строительства и в 1941 и 1944 гг. из-за военных действий с высокой точностью восстановлены по наблюдениям на других постах;

2) средние месячные уровни озера в г. Муствез за 1903—1917 гг. определены по корреляции с уровнями на посту Васкарнава;

3) средние годовые уровни озера в г. Муствез за 1885—1902 и 1918—1920 гг. определены по корреляции с уровнями воды р. Эмайыги в г. Тарту за летний период. Коэффициент корреляции  $r=0,92 \pm 0,014$ ; среднегодовые уровни Чудского озера по летним наблюдениям в г. Тарту можно определить со средней ошибкой  $\delta = \pm 13$  см. При амплитуде среднегодовых уровней Чудского озера на посту Муствез 149 см средняя ошибка рассчитанных уровней составляет 9% и весь ряд можно считать вполне пригодным для анализа многолетних изменений уровня.

Как уже было сказано, «потопными» в прошлом столетии были 1840 и особенно 1844 годы, высоким был уровень в 1867 г. и, видимо, в 1879 г. За период инструментальных наблюдений наивысшие уровни наблюдались в 1924, 1928, 1957 и 1987 гг. По некоторым соображениям можно сказать, что в 1844 г. уровень не был выше, чем в 1924 г. и последний можно считать самым многоводным годом за весь период наличия коли-



чественных данных. Расчеты Л. Куллуса (не опубликованы) позволяют заявить, что за период инструментальных наблюдений представлена практически вся теоретически возможная амплитуда колебаний среднегодовых уровней.

Вопрос о понижении уровня озера встал вновь после катастрофически многоводного 1924 г. (при максимальном уровне было затоплено 775 км<sup>2</sup> прибрежных земель продолжительностью 190 сут). Возможность понижения уровня Чудского озера была предусмотрена даже в мирном договоре между Эстонией и РСФСР 1920 г., по которому Эстонии разрешалось путем искусственного отведения воды понизить уровень озера не более чем на 1 фут. В 1926 г. был готов проект, а в тридцатые годы выполнены значительные гидротехнические работы в истоке и в верхнем течении р. Нарвы с целью улучшения условий стока и понижения уровня воды на 30 см. Работы не были закончены и вопрос о достигнутом эффекте остается открытым.

К этому времени предположение о прогрессирующем повышении уровня озера было опровергнуто, и несмотря на короткий период инструментальных наблюдений, внимание обращено на определенную цикличность изменения водности озера. А. Вельнер (Welner, 1924a; Velner, 1940), а впоследствии Т. Эйпре (Eipre, 1964, 1971) отмечали наличие цикличности в колебаниях водности и связь этих колебаний с колебаниями солнечной активности: максимальные уровни наблюдаются в периоды минимума солнечной активности и наоборот.

Более подробный анализ циклических колебаний уровня Чудского озера был выполнен А. Яани (Jaani, 1973). Используя ряды среднегодовых уровней озер Чудского с 1885 г. и Ладоги с 1859 г. (пропуски в данных по Ладоге автором по мере возможности восстанавливались) выделены внутривековые циклы продолжительностью 19—34 лет (близкие к т. н. Брикнеровским циклам) и кратковременные циклы со средней продолжительностью 5,1 лет. Высказывалось предположение о связи уровней озера с 22-летними циклами солнечной активности и отмечалась вековая тенденция понижения уровня с начала 20-х годов. Квазидвухлетние циклы не выделялись. В качестве промежуточного механизма рассматривались многолетние колебания общей циркуляции атмосферы по типам циркуляции Гирса: отмечалось определенное сходство хода уровня Чудского озера и индекса атлантической циркуляции Вителса. Определенная «четырёхтактность» в ходе уровня объяснялась влиянием на процессы атмосферной циркуляции разных проявлений солнечной активности. А. Реап (Reap, 1981) выполнил спектральный анализ того же ряда уровней и выделил циклы продолжительностью 6,1—6,4; 10—11 и 80—90 лет, а в ряду стока р. Невы циклы в 5,1 (неотчетливо); 6,1—6,3; 10,5—11 и 29,3 лет. Он же отмечает, ссылаясь на Н. П. Смирнова (Смирнов, 1975), что в стоке рек Северо-Запада ЕТС минимум 10—11-летнего цикла наблюдается на 1—3 года после максимума солнечной активности, а максимумы стока — 2—4 года до наступления максимума солнечной активности.

Аналогичные запаздывания различных процессов наблюдаются при изучении корреляционных связей между солнечной активностью и метеорологическими характеристиками, причем величина запаздывания различна в разные периоды солнечного цикла; наиболее велика она в периоды спада солнечной активности (Гулинский и др., 1988). Изучение запаздывания между атмосферными характеристиками и солнечной активностью дает величину также в 1—4 года для различных циклов солнечной активности (Дорман и др., 1987a), при этом чрезвычайно существенно, что оба процесса находятся в противофазе (Дорман и др., 1987б; Новиков и др., 1984; Реап, 1986; Яани, 1973). Уточнение оценки запаздывания водности по отношению к солнечной активности и выявление законов изменения такого запаздывания позволяют в дальнейшем перейти к разработке количественных долгосрочных прогнозов водности больших озер.

### 3.

Для выявления запаздываний, уточнения их величин и изучения общих цикличностей в массивах водности озер и солнечной активности мы использовали традиционные методы спектрального анализа, развитые в предположении о квазистационарности изучаемых процессов. Спектральные методы достаточно хорошо описаны (Кей, Марпл, 1981),



поэтому мы приведем лишь основные формулы и краткие характеристики.

Для поисков общих цикличностей в рядах данных нами использован метод Блэкмана-Тьюки, основанный на фурье-преобразовании корреляционной функции исходного процесса  $\{x(n)\}$

$$P(f) = \Delta t \cdot \sum_{m=-M}^M R_{xx}(m) \exp(j2\pi \cdot m \cdot \Delta t) \cdot \omega(m), \quad (1)$$

где  $R_{xx} = (1/(N-M)) \sum_{n=0}^{N-1} x(n+m) \cdot x(n)$  — несмещенная оценка корреляционной функции,  $\omega(m)$  — весовая функция (корреляционное окно),  $\Delta t$  — интервал дискретизации данных. (На практике, для улучшения статистических свойств и значимости результатов, используют смещенную оценку корреляционной функции

$$R_{xx} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n+m) \cdot x(n),$$

причем несложно доказать, что применение смещенных оценок равносильно введению дополнительной весовой функции  $\omega(m)$ , дающей возможность получить меньшую среднеквадратичную ошибку оценивания спектра.)

Выбор того или иного окна, а также его длины (Кей, Марпл, 1981) осуществляется в соответствии с требованием к снижению уровня боковых лепестков, возникающих в результате свертки спектра весовой функции и спектрального пика (размер и форма  $\omega(m)$  определяют также разрешающую способность оценки).

В работе использованы высокочастотные фильтры — первых разностей

$$y_t = x_{t+1} - x_t, \quad (2)$$

— Баттерворта

$$y_t = 2ay_{t-1} + by_{t-2} + x_t - 2x_{t-1} + x_{t-2} \quad (3)$$

и низкочастотные фильтры

— Гаусса

$$y_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i x_{t+i}, \quad (4)$$

где  $a_i$  — коэффициенты Гаусса;

— Баттерворта

$$y_t = 2ay_{t-1} + by_{t-2} + x_t + 2x_{t-1} + x_{t-2}, \quad (5)$$

где

$$a = \frac{\omega_c^2 - 1}{1 + \sqrt{2} \omega_c + \omega_c^2},$$

$$b = \frac{1 - \omega_c \sqrt{2} + \omega_c^2}{1 + \omega_c \sqrt{2} + \omega_c^2},$$

$\omega_c$  — частота среза (Драган и др., 1984).

Для получения взаимных оценок (выделения общих для всех процессов цикличностей) использовали методы взаимного спектрального анализа, позволяющие оценить взаимный амплитудный спектр ( $A$ ), фазовый спектр ( $F$  — характеризует сдвиг между анализируемыми процессами на различных частотах) и спектр когерентности ( $K^2$  — определяет степень коррелируемости рядов на различных частотах).



Достоверность получаемых результатов контролировалась одновременным применением различных спектральных подходов и специальных процедур (фильтрация данных, «стягивание» спектральных окон и т. д.), вычислением максимального значения коэффициента взаимной корреляции от сдвига, по которому были получены оценки запаздывания между процессами  $\{x_n\}$  и  $\{y_n\}$

$$K(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-\tau} (x_n - \hat{x}) (y_{n+\tau} - \hat{y}) / \sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2. \quad (6)$$

Кроме того, достоверность полученных оценок контролировали применением используемых методов анализа для известных (тестовых) массивов, в частности для скоростей ветра в Балтийском море и для  $K_p$ -индекса тех же периодов, что и исследуемая водность озера (Дорман и др., 1987а, 1987б).

#### 4.

Анализ спектральных характеристик проводили по среднегодовым значениям солнечной активности, водности Чудского озера за 1885—1987 гг. (100 точек),  $K_p$ -индекса за 1920—1984 гг. (65 точек), атмосферных характеристик за 1934—1985 гг. (52 точки) и интенсивности космических лучей за 1947—1987 гг. (31 точка, ионизационная камера). Длина исследуемых массивов (может быть, кроме космических лучей) позволяет уверенно выделить все цикличности от квазидвухлетней (Гулинский и др., 1988) до вековой (Jaani, 1973), при этом применение комплекса спектральных методов позволяет оценить запаздывания не только между процессами целиком, но и между каждой из циклической составляющей этих процессов (относительно  $S$ ) в отдельности.

Из вышеизложенного можно сделать ряд выводов, хорошо согласующихся с ранее полученными результатами (Jaani, 1973):

— взаимные корреляционные функции исходных рядов обладают хорошо выраженной одиннадцатилетней (рис. 1, а) и вековой (рис. 1, а, в) циклическими. Свидетельством последнего является и время затухания корреляционной функции  $H(t) \sim 80—90$  лет (рис. 1, з);

— в корреляционной функции водности  $H$  отчетливо выражена 22-летняя повторяемость, которая нашла свое место и во взаимных корреляционных функциях данных, отфильтрованных фильтром Гаусса (скользящее осреднение по семилетним отрезкам с гауссовскими коэффициентами) (рис. 1, в);

— наличие 11-летней цикличности хорошо видно во взаимных корреляционных функциях после фильтрации первыми разностями (тренд исключен) (рис. 1, б), при этом максимальное значение взаимной корреляционной функции наблюдается при сдвиге массива  $H$  относительно  $S$  на 2—3 года.

Расчеты взаимных корреляционных функций  $H$  и  $P$  показывают хорошее совпадение с результатами О. В. Гулинского и др. (1988); имеющийся незначительный сдвиг между  $H$  и  $P$  хорошо согласуется с аналогичными расчетами для  $P$  и  $W$  (Дорман и др., 1978а). Аналогичные расчеты взаимных корреляционных функций между солнечной ( $S$ ) и геомагнитной ( $K_p$ ) активностями приводят к запаздыванию  $K_p$  относительно  $S$  на 1—2 года, причем оба процесса синфазны между собой по всей реализации. Одновременно с этим, совместный корреляционный анализ между  $H$  и  $K_p$  приводит к запаздыванию водности на 1—2 года (процессы противофазны), что хорошо согласуется с результатами запаздывания  $H$  относительно  $S$ .



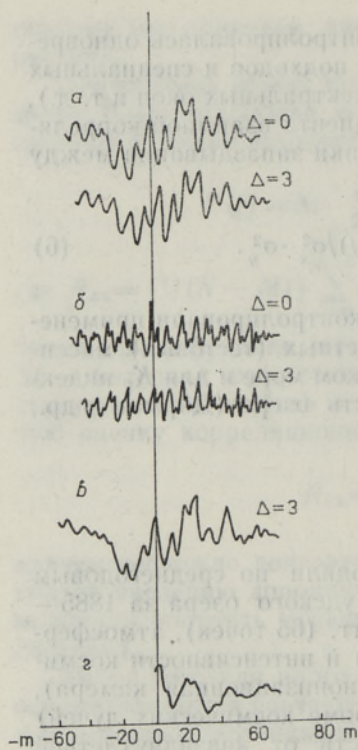


Рис. 1. Взаимные корреляционные функции солнечной активности ( $a$ — $в$ ) и водности Чудского озера ( $z$ ) без сдвига ( $\Delta=0$ ) и со сдвигом ( $\Delta=3$ ) рядов относительно друг друга:  $a$  — для исходных рядов;  $б$  — фильтрованных фильтром «первых разностей»;  $в$  — фильтрованных фильтром Гаусса;  $z$  — корреляционная функция водности Чудского озера.

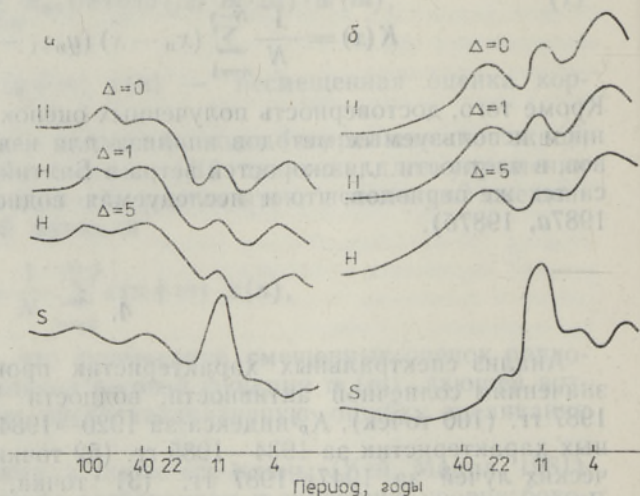


Рис. 2. Спектры мощности солнечной активности  $S$  и водности Чудского озера  $H$  без сдвига ( $\Delta=0$ ) и со сдвигом рядов ( $\Delta=1, \Delta=5$ ) относительно друг друга:  $a$  — для исходных рядов;  $б$  — фильтрованных фильтром «первых разностей».

Расчеты спектров мощности каждого из анализируемых процессов показывают наличие сложной структуры этих спектров, в особенности в области высоких частот (от 2 до 6 лет), и наличие хорошо выраженных 2—3-, 11-, 22-летних и вековых вариаций как водности, так и солнечной активности (рис. 2). Полученные результаты хорошо согласуются с данными анализов различных геофизических и гелиофизических процессов, выполненных в последние годы (Ривин, 1985; Драган и др., 1984; Оль, 1985; Базилевская и др., 1984): спектральный анализ солнечной активности, геомагнитного поля, пульсаций гелиосферы и атмосферы Земли выявил похожие периоды.

Анализ взаимных спектров показал (рис. 3), что во временных рядах водности Чудского озера можно уверенно различить четыре цикла, связанных с высокой долей вероятности связи с солнечной активностью и атмосферными процессами.

1. Квазидвухлетний, связанный, возможно, как с квазидвухлетними изменениями характеристик солнечного ветра, так и с соответствующими временными вариациями давления и температуры атмосферы (Джанишвили и др., 1985). Необходимо отметить, что такое объяснение квазидвухлетних вариаций водности Чудского озера носит предположительный характер, существующие же корреляционные связи ( $r \sim 0,7, K^2 \approx 0,6$ ) делают такое объяснение вполне возможным.

2. 11-летний, связанный с солнечной активностью (площадями солнечных пятен  $S$  или числами Вольфа  $W$ ) и проявляющийся в водности через аналогичные колебания климата Земли (Гулинский и др., 1988; Драган и др., 1984; Оль, 1985; Плахотнюк, 1980; Витинский и др., 1986). Действительно, сопоставление спектров мощности по водности Чудского озера с аналогичными спектрами атмосферных параметров (Драган



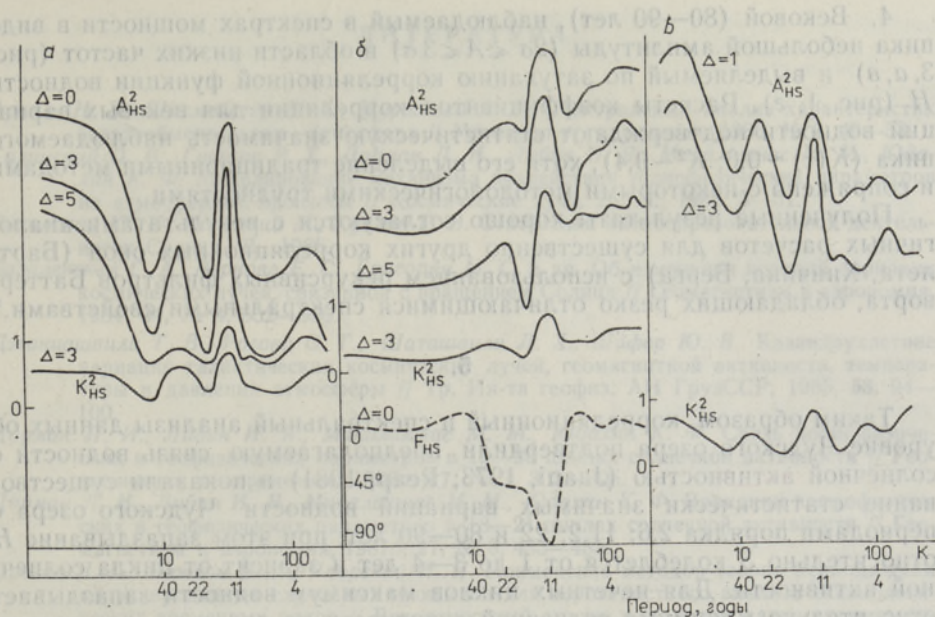


Рис. 3. Взаимные амплитудные спектры солнечной активности и водности Чудского озера  $A^2_{HS}$ , фазовые спектры  $F_{HS}$  и спектры когерентности  $K^2_{HS}$  без сдвига ( $\Delta=0$ ) и со сдвигом рядов ( $\Delta=1, \Delta=3, \Delta=5$ ) относительно друг друга; а — для исходных рядов; б — фильтрованных фильтром «первых разностей»; в — фильтрованных фильтром Гаусса.

и др., 1984) показывает не только хорошее совпадение выделенных пиков, но и высокую степень их коррелированности между собой:  $r \sim 0,7$  между  $H$  и  $P$  ( $K^2 \approx 0,6$ );  $r \sim 0,9$  между  $H$  и  $S$ ;  $K(\tau) \sim 0,9$  ( $K^2 \approx 0,8$ ).

3. 22-летний, преобладающий в изменениях водности и хорошо выделяемый как в спектрах мощности (рис. 2, а и 3, а, в), так и в корреляционных функциях (рис. 1, з). Наблюдаемый цикл хорошо согласуется с аналогичными циклами в климатических данных. В работе Дике (Рожков, 1988) приведен спектральный анализ 1000-летнего ряда индекса отношения содержания дейтерия к содержанию водорода в годовых кольцах деревьев (изменения этого индекса пропорциональны изменениям температуры атмосферы). В результате выделен период в  $22,36 \pm 0,04$  года, близкий к периоду 22-летнего цикла солнечной активности, связанного с общим магнитным полем Солнца. Близость указанных периодов в водности, атмосферных характеристиках и солнечной активности является доводом в пользу их взаимосвязи. Показано (Оль, 1973), что 11-летний цикл, являющийся основным в пятнообразовательной деятельности Солнца и обладающий большой амплитудой, в метеорологических и климатических процессах проявляется слабее, чем 22-летний. Как 11-летний, так и 22-летний циклы демонстрируют высокую достоверность:  $r \sim 0,7$  между  $H$  и  $S$ ;  $r \sim 0,75$  между  $H$  и  $P$  ( $K^2 \sim 0,5$ ).

Необходимо отметить, что проявление 22-летнего цикла солнечной активности в климате Земли имеет, как правило, региональный характер (Оль, 1985), т. е. в разных районах изменения климата, связанные с 22-летним циклом, могут иметь не только различные амплитуды, но и противоположные знаки. При этом чрезвычайно важно, что взаимные фазовые спектры между  $H$  и  $S$ , с одной стороны, и  $P$  и  $S$ , с другой, дают в данном случае близкие результаты, мало меняющиеся во времени, что лишний раз свидетельствует об общем механизме возникновения 22-летней вариации водности и атмосферных параметров.



4. Вековой (80—90 лет), наблюдаемый в спектрах мощности в виде пика небольшой амплитуды ( $2\sigma \leq A \leq 3\sigma$ ) в области низких частот (рис. 3, а, в) и выделяемый по затуханию корреляционной функции водности  $H$  (рис. 1, з). Расчеты коэффициентов корреляции для вековых вариаций водности подтверждают статистическую значимость наблюдаемого пика ( $K(\tau) \sim 0,6$ ;  $K^2 \sim 0,4$ ), хотя его выделение традиционными методами и сопряжено с некоторыми методологическими трудностями.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами аналогичных расчетов для существенно других корреляционных окон (Бартлета, Хинчина, Берга) с использованием рекурсивных фильтров Баттерворта, обладающих резко отличающимися спектральными свойствами.\*

## 5.

Таким образом, корреляционный и спектральный анализы данных об уровне Чудского озера подтвердили предполагаемую связь водности с солнечной активностью (Jaani, 1973; Reap, 1981) и показали существование статистически значимых вариаций водности Чудского озера с периодами порядка 2,6; 11,2; 22 и 80—90 лет, при этом запаздывание  $H$  относительно  $S$  колеблется от 1 до 3—4 лет и зависит от цикла солнечной активности. Для нечетных циклов максимум водности запаздывает относительно минимума солнечной активности на два года, для четных — на один год; в то же время запаздывание минимума водности относительно максимума солнечной активности составляет для нечетных циклов два года, для четных — около трех лет (рис. 4). При этом структура гистограмм водности для четных и нечетных циклов (рис. 4) различна, что также свидетельствует в пользу тезиса о преобладании в атмосферных и гидрологических процессах 22-летней цикличности.

Полученные результаты могут стать основой для разработки методов долгосрочного прогнозирования водности Чудского озера на основе различных авторегрессионных моделей (Reap, 1986), однако и без этого они свидетельствуют о непосредственном воздействии 22-летнего и 11-летнего циклов солнечной активности на нижние слои земной атмосферы и вместе с ними на региональные гидрологические характеристики, какой является водность Чудского озера.

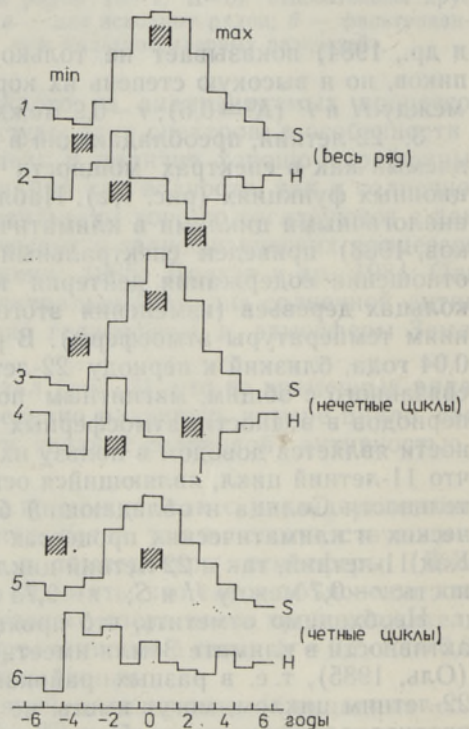


Рис. 4. Кривые поведения солнечной активности  $S$  и водности Чудского озера  $H$ , усредненные методом наложения эпох: 1, 2 — весь период анализа; 3, 4 — нечетные; 5, 6 — четные циклы солнечной активности.

\* Использование рекурсивных фильтров дает лучшие результаты для оценок спектра мощности с помощью авторегрессионных моделей, что выходит за рамки настоящей работы и является результатом самостоятельного исследования.



## ЛИТЕРАТУРА

- Ариэль Н. З., Шахмейстер В. Л., Мурашова А. В. Спектральный анализ характеристик энергообмена океан—атмосфера // Метеорол. и гидрология, 1986, № 2, 49—53.
- Гулинский О. В., Гущина Р. Т., Дорман Л. И., Либин И. Я., Микалаюнас М. М., Юдахин К. Ф. Моделирование механизма воздействия гелиофизических параметров на атмосферные процессы // Космические лучи. 26. М., 1988, 5—51.
- Витинский Ю. И., Копецкий М., Куклин Г. В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. Л., 1986.
- Базилевская Г. А., Вернова Е. С., Григорян М. С. и др. Об изменении периода вариации космических лучей, связанной с вращением Солнца // Геомагнетизм и аэрномия, 1984, 24, № 4, 552—556.
- Джаниашвили Т. В., Рогова О. Г., Шаташвили Л. Х., Шафер Ю. В. Квазидвухлетние вариации галактических космических лучей, геомагнитной активности, температуры и давления атмосферы // Тр. Ин-та геофиз. АН ГрузССР, 1985, 53, 94—100.
- Дорман Л. И., Либин И. Я., Микалаюнас М. М., Юдахин К. Ф. Связь космофизических и геофизических параметров в 19—20 циклах солнечной активности // Геомагнетизм и аэрномия, 1987а, 27, № 2, 303—305.
- Дорман Л. И., Либин И. Я., Микалаюнас М. М., Юдахин К. Ф. Вариации космофизических и геофизических параметров в 18—21 циклах солнечной активности // Геомагнетизм и аэрномия, 1987б, 27, № 3, 483—485.
- Драган Я. П., Рожков В. А., Яворский Н. Н. Применение методов теории периодически коррелированных случайных процессов для вероятностного анализа океанологических временных рядов // Вероятностный анализ и моделирование океанологических процессов. Л., 1984, 4—23.
- Зильс В., Митрикас В. Г., Петров В. М., Охлопкова Л. С., Охлопков В. П., Чарахчян Т. Н. Квазипериодические вариации в проявлениях солнечной активности // Косм. исслед., 1987, 25, № 2, 325—328.
- Кей С. М., Марпл С. Л. Современные методы спектрального анализа // Тр. Ин-та инженеров электроники и радиоэлектроники, 1981, 69, № 11, 5—48.
- Кениг Е. Л., Живилов И. А. О проекте непрерывного Псковско-Юрьево-Нарвского водного пути. СПб., 1909.
- Новиков А. М., Старина В. А., Скрябин Н. Г. Регистрация спектров временных вариаций интенсивности космических лучей и атмосферного давления // Бюллетень НТИ, Якутск, 1984, № 4, 3—6.
- Оль А. И. Ритмические процессы в земной атмосфере. Л., 1973.
- Оль А. И. 22-летний цикл в температуре воздуха Северного полушария и в древесных кольцах // Солнечные данные, 1985, № 12, 69—72.
- Плахотнюк В. Н. Особенности циклов солнечной активности и геоэффективность межпланетной среды // Космические лучи. 21. М., 1980, 75—84.
- Reap A. O. О возможности сверхдолгосрочного прогноза водности Чудско-Псковского озера // Проблемы и пути рационального использования природных ресурсов и охраны природы. Тр. XI респ. гидрометеор. конф., Шяуляй, 1986, 80.
- Ривин Ю. Р. Спектральный анализ изменений амплитуды 11-летних циклов солнечной активности // Солнечные данные, 1985, № 9, 78—82.
- Рожков В. А. Методы вероятностного анализа океанологических процессов. Л., 1988.
- Смирнов Н. П. Пространственно-временные закономерности многолетних колебаний стока рек СССР // Тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда. 3. Л., 1975.
- Чертков А. Д. Солнечный ветер и внутреннее строение Солнца. М., 1985.
- Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. М., 1976.
- Чудско-Псковское озеро. Л., 1983.
- Шпидлер И. Б., Зенбуш А. Чудское озеро // Изв. Императорского Русского географического общества, 1896, 32, вып. 4.
- Яани А. Э. Как называть Чудское озеро? // Изв. АН ЭССР. Биол., 1987, 36, № 2, 169—172.
- Eipre, T. Peipsi-Pihkva järve veeseisud // Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat 1963. Tln., 1964, 35—54.
- Eipre, T. Eesti mageveeolud ja veeolude reguleerimine. I // Eesti Loodus, 1971, N 9, 549—556.
- Feynman, J. Geomagnetic and solar wind cycles 1900—1975 // J. Geophys. Res., 1982, A87, N 8, 6153—6162.
- Halenka, J. The connection between characteristics values of the 11-year cycles of solar and geomagnetic activity // Stud. geophys. geod., 1986, 30, N 2, 153—157.
- Jaani, A. Veerohkus muutub tsükliiselt // Eesti Loodus, 1973, nr. 12, 758—764.
- Reap, A. Peipsi-Pihkva järve veeseisude prognoosist // Maaparandus. Teaduslik-tehnilisi uurimistulemusi. Tln., 1981, 17—24.
- Zatopek, A., Krivaky, L., Laštoviška, J. Correlation between solar, interplanetary, geomagnetic, ionospheric, atmospheric circulation // J. Inter. Cycle Res., 1976, 7, N 1, 9—13.



Xanthakis, J., Mavromichalaki, H., Petropulos, B. Cosmic ray intensity related to solar and terrestrial activity indices in solar cycle N 20 // *Astrophys. Space Sci.*, 1981, 74, N 2, 303—317.

Welner, A. Peipsi perioodid // *Tee ja Tehnika*, 1929, nr. 2, 22—24.

Velner, A. Veepinnad Narva jõe ja Peipsi järve vesikonnas 1929—1938 // *Loodusvarade Instituudi Avaldised*, 1940, nr. 6.

*Институт земного магнетизма, ионосферы  
и распространения радиоволн АН СССР*

Поступила в редакцию  
6/VI 1988

*Эстонское республиканское управление  
по гидрометеорологии*

Igor LIBIN, Ago JAANI

## PAİKESE AKTIIVSUSE MÕJU GEOFÜSİKALISTELE JA HÜDROLOOGILISTELE PROTSESSIDELE

### 1. Peipsi järve veerohkuse kõikumise spektrikarakteristikud

Korrelatsioon- ja spektraalanalüüsi meetoditega on uuritud Peipsi järve (mõeldud on kogu Peipsi-Pihkva järve) aastakeskmiste veeseisude ( $H$ ) 102-aastast andmerida (1885—1987) koos Päikese aktiivsuse (näitajaks on võetud päikeseplekkide pindala  $S$ ) ning mõnede teiste helio- ja geofüüsikaliste karakteristikutega. Peipsi veerohkuse pikaajalistes kõikumistes avalduvad statistiliselt olulised variatsioonid perioodidega 2,6; 11,2; 22 ja 80—90 aastat. See lubab väita Peipsi veerohkuse tihedat seost Päikese aktiivsuse kõikumistega. Nagu varemgi kirjanduses väidetud (Eipre, 1964; Jaani, 1973; Reap, 1981), vastavad üldjoontes kõrgele Päikese aktiivsusele veevaesed aastad ja vastupidi, kuid võrreldes Päikese aktiivsuse kõrg- ja madalseisudega 11-aastastes tsüklites saabuavad veerohkemad ja veevaesemad aastad Peipsil 1- kuni 3—4-aastase hilinemisega, kusjuures hilinemine on paaris- ja paaritunumbritelises Päikese aktiivsuse tsüklites erinev. Veerohked aastad on paarisnumbrilises tsüklis Päikese aktiivsuse miinimumist 1 aasta, paaritunumbriilises tsüklis 2 aastat hiljem; veevaesed aastad on paarisnumbrilises tsüklis 3 aastat, paaritunumbriilises tsüklis 2 aastat pärast Päikese aktiivsuse maksimumi.

Igor LIBIN, Ago JAANI

## INFLUENCE OF SOLAR ACTIVITY ON GEOPHYSICAL AND HYDROLOGICAL PROCESSES

### 1. Spectral characteristics of the changes in water abundance in Lake Peipsi

The 102-year data series of the mean annual water level in Lake Peipsi ( $H$ ) together with solar activity (sunspot area as an index) has been studied by means of the correlation and spectral analysis and some other helio- and geophysical characteristics. The long-time changes in the water abundance of L. Peipsi reveal statistically significant variations with the periods of 2.6, 11.2, 22, and 80—90 years. This allows us to state that water abundance in L. Peipsi and the changes in solar activity are closely connected. As has been mentioned in literature before (Eipre, 1964; Jaani, 1973; Reap, 1981), the years poor in water correspond to the years of high solar activity and vice versa. However, as compared to high and low states of solar energy in 11-year cycles the years in which the level of water in L. Peipsi is higher or lower occur by 1 to 3 or 4 years later whereby this phenomena varies in the case of even- and odd-numbered cycles of solar activity. In the even-numbered cycles the years rich in water occur one year later than the minimum solar activity, in the odd-numbered cycles two years later; the years poor in water occur in the even-numbered cycles three years after the maximum solar activity, in the odd-numbered cycles — two years.