

УДК [551.590.21 : 556.555](282.247.224.2/3)

Игорь ЛИБИН, Роман ПРИЛУЦКИЙ, Аго ЯАНИ

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

II. КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВОДНОСТИ ЧУДСКОГО ОЗЕРА

В настоящее время не вызывает сомнения, что значительную роль в возникновении возмущений в магнитосфере и атмосфере Земли играют процессы на Солнце (Либин, Яани, 1989; Дорман и др., 1987а, б). Циркуляция атмосферы испытывает влияние солнечной активности, которая при этом контролирует поведение не только геомагнитной активности и интенсивности космических лучей (ИКЛ), но и целого ряда процессов в гидросфере Земли. И если вопрос о долгопериодных изменениях всех изучаемых процессов (≥ 11 лет) относительно исследован (Либин, Яани, 1989; Реап, 1986; Зильс и др., 1987; Витинский и др., 1986), то изменения с периодами, меньшими двух-четырех лет, нуждаются в подробном изучении. Представляет интерес выявить единые тенденции этих процессов в соответствии с изменениями активности Солнца, так как природа связи между гелиофизическими, атмосферными и гидрологическими процессами все еще слабо изучена. Трудности кроются в разнообразии масштабов и форм представления пространственно-временной структуры процессов и в обилии источников гелиогеофизических возмущений (Чертков, 1985).

В первой части настоящей работы (Либин, Яани, 1989) были исследованы относительно долгопериодные колебания водности Чудского озера, в которых были выявлены статистически значимые вариации с периодами 2,6; 11,2; 22 и 80—90 лет. Эти результаты подтвердили ранее предполагавшуюся связь водности с солнечной активностью (Jaani, 1973; Reap, 1981). В общих чертах высокой активности Солнца соответствует малая водность, и наоборот, но по сравнению с максимумами и минимумами солнечной активности в 11-летних циклах мало- и многоводные годы наступают с определенным запаздыванием, причем это запаздывание зависит от номера цикла: в нечетных циклах максимум водности запаздывает относительно минимума солнечной активности на два года, в четных циклах на один год; запаздывание минимума водности относительно максимума солнечной активности составляет в нечетных циклах два года, в четных — около трех лет. Установлено также, что преобладающей в атмосферных и гидрологических процессах является не 11-летняя, а 22-летняя цикличность.

Целью настоящей работы является исследование широкого спектра относительно короткопериодных колебаний некоторых геофизических параметров и их связи с аналогичными колебаниями солнечной активности. Из атмосферных параметров выбрана повторяемость штормовых ветров в энергоактивной зоне северного полушария P (Дорман и др., 1987а, б), из гидрологических — колебания водности Чудского озера V (выраженной в уровнях воды на посту Муствез), из космо- и геофизических — индекс геомагнитной активности и ИКЛ (Дорман и др., 1987б; Зильс и др., 1987). В качестве параметров, характеризующих солнеч-

ную активность, использовались относительное число солнечных пятен (числа Вольфа), суммарная площадь пятен, отражающая магнитный поток в группах пятен, и поток радиоизлучения на длине волны 10,7 см, отражающий изменения температуры и плотности на всей площади всех активных областей видимого диска Солнца.

1

Попытка проанализировать и сопоставить между собой колебания гелиофизических характеристик единым методом была предпринята в работе В. Зильса и др. (1987). Для анализа были отобраны следующие ряды данных: числа Вольфа W , число групп пятен на Солнце η , частота вспышек на Солнце в линии H_{α} , результаты стратосферных измерений галактических космических лучей в Мурманске и Мирном, число солнечных протонных событий с интенсивностью в максимуме выше выбранных энергий и порога и другие. Спектральный анализ временных рядов за 20-й и 21-й циклы солнечной активности различных гелиогеофизических наблюдений показал, что их вариации имеют три основных периода менее 11 лет: 2 года, 1 год и 3—6 месяцев. При этом наиболее мощными и отчетливо выделяемыми являются квазидвухлетние и годовые колебания первых двух рядов, что подтверждает правильность выбора параметров для анализа в рамках настоящей работы. Необходимо отметить, что с увеличением мощности анализируемых солнечных протонных событий происходит ослабление вариаций с периодами в 1 год и 3—6 месяцев.

Аналогичный результат для 20-го и 21-го циклов солнечной активности был получен в работе Р. М. Арслановой и др. (1981): была выделена мощная трехмесячная вариация, наблюдаемая на фазе спада 20-го и 21-го циклов. Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическими предсказаниями пульсаций гелиосферы с характерными периодами от нескольких месяцев до нескольких лет (Dorman, Ptuskin, 1981) и экспериментальными наблюдениями ИКЛ, выполненными с помощью ионизационной камеры в Уанкайо (Перу) в 1937—1953 гг. (Attolini и др., 1983) и нейтронного монитора в Клаймаксе (США) в 1953—1979 гг. (Attolini и др., 1984), т. е. в течение примерно четырех солнечных циклов. Статистически значимые вариации космических лучей с периодами в несколько месяцев, 1—1,3 и 2 года наблюдались также по данным мировой сети станций космических лучей (Otaola, Hurtado, 1981; Коломеец и др., 1972; Blokh и др., 1981; Gulinsky и др., 1988) за период с 1937 по 1987 гг., причем мощность этих вариаций существенно зависит от уровня солнечной активности и номера цикла (для квазидвухлетних вариаций это свидетельствует об их 22-летней модуляции).

Сходные колебания геомагнитной активности, атмосферных параметров (повторяемости штормовых ветров, давления, температуры подстилающей поверхности) и скорости вращения Земли (Kane, 1986; Djurović, 1983; Плaxотнюк, 1980) наблюдались при их анализе различными методами, причем сходство поведения 3—4-месячных вариаций (поведения их амплитуд и фаз) во всех анализируемых процессах свидетельствует в пользу их связи с колебаниями солнечной активности (напрямую или опосредованно).

Вопросам взаимодействия атмосферы и гидросферы Земли с солнечной активностью, точнее, вопросам о возможной связи гелиофизических явлений с сезонными, многолетними и короткопериодными изменениями атмосферы и гидросферы, в контексте с настоящей работой, посвящен ряд работ (Либин, Яани, 1989; Дорман и др., 1987а, б; Ариэль,

1986). Анализ параметров солнечной активности, геомагнитной активности, ИКЛ на Земле совместно с повторяемостью штормовых ветров позволил обнаружить общие для всех процессов колебания с периодами порядка 3—4, 8, 12 месяцев и 2 лет, при этом показано, что запаздывание между рядами существенно только для колебаний с периодами, большими одного года. И хотя установление функциональных связей между исследуемыми процессами является делом не всегда простым, тем не менее изучение и выделение этих связей дает возможность построения эмпирических моделей солнечно-земных связей, пригодных для решения ряда прикладных задач, в частности, для прогноза колебаний водности Чудского озера.

2

Подходы и методы для такого анализа подробно изложены в ряде работ (Либин, Яани, 1989; Дорман, 1987а, б; Макс, 1983; Дорман и др., 1978; Рожков, 1979; Кей, Марпл, 1981; Прилуцкий, 1988), в частности, в первых трех упомянутых детально описаны применяемые авторами методы оценки спектральной плотности: фурье-анализ, авторегрессионный анализ, включая нестационарный АРСС (Прилуцкий, 1988), методы взаимного спектра мощности (Кей, Марпл, 1981) и, наконец, многократного корреляционного преобразования (Дорман и др., 1978). Поэтому в рамках настоящей работы имеет смысл остановиться не на алгоритмах методов, а на их конкретной реализации: на интерактивной программе исследования статистических свойств и характеристик солнечной активности, водности, повторяемости штормовых ветров и ИКЛ. Так как исследование всех этих процессов сопряжено с одновременным применением различных статистических методов и параллельной обработкой нескольких групп данных, то привлечение большого количества программ, необходимых для реализации каждого метода отдельно, приводит к нерациональному расходованию машинного времени (повторная компиляция, редактирование при внесении исправлений и т.д.) и существенному замедлению самого процесса исследований. Этих недостатков лишена программа, поддерживающая диалог с пользователем и соответственно допускающая оперативный выбор того или иного статистического метода, его параметров и т.д. Для каждого статистического анализа была создана интерактивная программа (Прилуцкий, 1988), модернизированная для решения данной задачи и реализующая все описанные выше методы. В ее основу были положены следующие требования:

1. Интерактивный режим с активным обменом.
2. Наличие оперативного и общего банка данных.
3. Оперативный выбор вида графического представления результатов.
4. Реализация различных методов спектрального анализа в выбранной точке данных и в указанной последовательности точек с заданным фиксированным сдвигом.
5. Промежуточное хранение результатов обработки на внешних запоминающих устройствах.
6. Нарастивание программ за счет подключения модулей, разработанных пользователем.

Программа реализуется на ЭВМ серии ЕС и требует порядка 400 Кбайт оперативной памяти. Ниже приводится краткое описание реализаций каждого из перечисленных выше требований (подробнее они изложены в работе Р. Е. Прилуцкого, 1988).

1. Программа поддерживает обмен со стандартным дисплеем ЕС 7920; в любой момент времени на терминале отражается информация о возможных режимах работы и текущем состоянии программы. Система режимов имеет иерархическую организацию.

2. Исследование колебательных процессов требует работы с большими массивами исходных данных, из которых необходимо оперативно извлекать, сортировать и использовать любые отрезки. Работу программы обеспечивают два банка данных — общий (на магнитных лентах) и оперативный (на магнитных дисках). Выборка данных из банков осуществляется по идентифицирующему имени, состоящему из 4 символов имени и 76 символов комментария.

3. При анализе колебательных процессов, какими являются все исследуемые в работе ряды данных, наиболее удобной является графическая форма представления результатов обработки. Программа использует для вывода результатов анализа терминал, с которого ведется диалог, АЦПУ и «графический файл».

4. Программой реализуются следующие методы спектрального анализа:

- метод фурье-преобразования корреляционной функции (FR);
- метод Левинсона—Дарбина (AR) (Кей, Марпл, 1981);
- метод Берга (BR) (Кей, Марпл, 1981);
- сплайн-аппроксимация параметров авторегрессии (SR) (Прилуцкий, 1988).

Выбор параметров программы производится заполнением соответствующей таблицы, состоящей из граф: «метод» — код метода оценивания спектра, «начало» и «конец» — длина отрезка данных для анализа, даты первой и последней точек, «сдвиг» — шаг разбиения между точками, «кадр» — длина всей выборки, «порядок модели» — порядок модели авторегрессии, «запись» — номер записи в выходном файле.

5. Результаты обработки, полученные в разное время, могут быть скомпонованы на одном графике — в программе для этого организовано промежуточное хранение информации на внешнем запоминающем устройстве: каждый результат обработки заносится как одна запись в файлы прямого доступа *A* и *B* соответственно. При этом любой из файлов *A* и *B* может быть просмотрен на терминале.

На рис. 1 показано взаимодействие основных режимов работы программы с набором данных на внешних устройствах (Прилуцкий, 1988). Каждый режим обозначен двумя латинскими буквами, причем используются те же обозначения, что и в работе с программой. Приведем краткие описания назначений и возможностей каждого режима:

GT — считывает в оперативную память по указанному имени ряд данных с магнитных лент общего банка данных;

PT — записывает ряд данных, находящихся в оперативной памяти, на магнитные ленты общего банка данных;

VT — распечатывает на АЦПУ или на экране терминала оглавление общего банка данных;

GD — считывает ряд данных с магнитных дисков оперативного банка;

PD — записывает ряд данных на магнитные диски оперативного банка;

VD — отображает каталог оперативного банка данных на экране терминала. В этом режиме возможна корректировка каталога (например, изменение имен и т. д.);

PR — строит график значений данных, находящихся в оперативной памяти, а также график усредненных значений с заданным значением усреднения;

FL — предварительная фильтрация данных: данные обрабатываются фильтром низких частот с указанной частотой среза. Применяются фильтры Баттерворта, Гаусса, первых разностей и др.;

AF — режим спектрального анализа; из этого режима можно выйти в один из подрежимов (AR, BR, FR, SR), которые реализуют различные методы оценок спектральной плотности. Каждая полученная оценка сохраняется в виде одной записи файла *A*;

GA — режим представления в удобной графической форме результатов обработки в режиме AF. Внешнее устройство, предназначенное для вывода информации, определяется выбором подрежима: PL — графический файл, LP — АЦПУ, TT — терминал пользователя;

BF — воспроизводит картину изменения характеристик исследуемого ряда. Вид характеристики определяется выбором подрежима: DS — дисперсия сигнала, SO — дисперсия сигнала остатка, AR — коэффициент AP-модели. Характеристики оцениваются на указанном отрезке данных с заданным сдвигом, результаты помещаются в файл сохранения *B*;

GB — аналогичен GA, но работает с файлом *B*.

Управляющая программа осуществляет выбор режимов, указанных пользователем, и резервирует память для данных и рабочих областей.

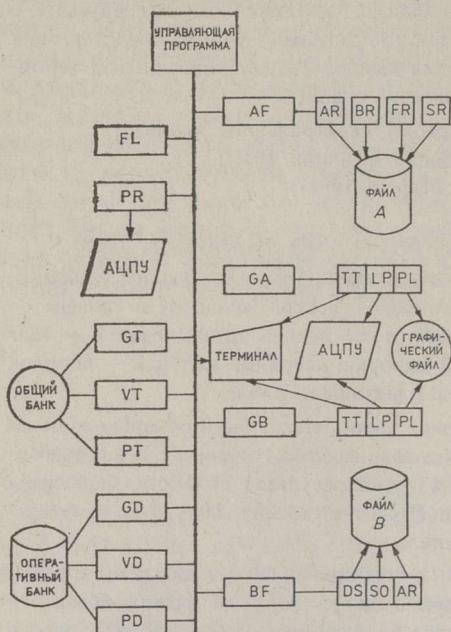
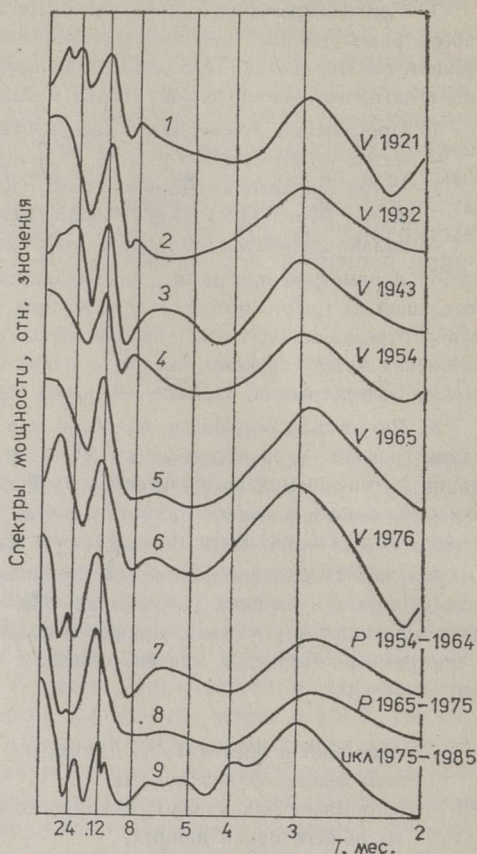


Рис. 1. Блок-схема интерактивной программы для расчета спектральных характеристик колебательных процессов.

Рис. 2. Спектры мощности водности Чудского озера V (кривые 1—6), штормистости P (кривые 7, 8) и интенсивности космических лучей (кривая 9) для различных циклов солнечной активности.



Анализ спектральных характеристик короткопериодных изменений проводился по среднемесячным значениям солнечной активности, водности Чудского озера, геомагнитной активности, ИКЛ (по данным станций Киль, Апатиты и Москва) и повторяемости штормовых ветров (в энергоактивной зоне северного полушария — Северной Атлантике). Длина исследуемых массивов позволяла уверенно выделять все цикличности от нескольких месяцев до 2—4 лет для каждого цикла солнечной активности, что существенно не только для повышения уровня достоверности получаемых оценок, но и для анализа поведения спектральных характеристик в четных и нечетных циклах. На рис. 2 показаны спектры мощности водности Чудского озера V для различных циклов солнечной активности (кривые 1—6), повторяемости штормовых ветров P для периодов 1954—1964 и 1965—1975 гг. (кривые 7 и 8) и ИКЛ для периода 1975—1985 гг. (кривая 9). Из приведенных кривых видно наличие в спектрах широкого набора колебаний различной длительности, превышающих по меньшей мере 95%-ный доверительный интервал: наряду с ожидаемыми годовыми изменениями водности хорошо прослеживаются трехмесячные и квазидвухлетние вариации. Сопоставление полученных результатов со спектрами повторяемости штормовых ветров и ИКЛ показывает хорошее согласие как пиков в спектрах всех процессов, так и самих спектров в целом. Необходимо отметить, что квазидвухлетние вариации водности Чудского озера V существенны для четных и менее значимы для нечетных солнечных циклов. Этот результат хорошо согла-

соединяется с результатами работы Дормана и др. (1987 б) и позволяет сделать вывод о 22-летней модуляции квазидвухлетних вариаций не только атмосферных (Дорман и др., 1987б), но и гидрологических параметров и, следовательно, об общем механизме их возникновения.

Наиболее удобным для таких исследований представляется взаимный спектральный анализ (Макс, 1983), позволяющий извлекать из данных наблюдений сведения о зависимостях, которые могут наблюдаться между отдельными реализациями исходного процесса или различными процессами. В ходе взаимного спектрального анализа рассчитываются: взаимные корреляционные функции, взаимные спектры мощности A , фазовые спектры F и спектры когерентности K^2 .

Взаимные корреляционные функции позволяют оценивать смещения (сдвиги) между рядами и проводить предварительное оценивание обоих исследуемых процессов.

Взаимные спектры мощности характеризуют наличие идентичных колебаний в каждом из исследуемых рядов и позволяют уверенно идентифицировать истинные пики в спектрах, так как ложные (связанные с методическими погрешностями) будут существенно подавляться из-за их малого вклада.

Фазовые спектры позволяют оценивать смещения между рядами на каждой из частот (т.е. для каждого из колебаний в отдельности) и необходимость в дальнейшем сдвиге исследуемых рядов друг относительно друга.

Спектры когерентности нужны для оценивания коррелированности реализаций, точности оценок частотных характеристик и решения некоторых прикладных задач, например для уточнения смещений рядов друг относительно друга и определения статистической задержки между процессами (Макс, 1983).

Методика применения взаимного спектрального анализа детально изложена в работах Ж. Макса (1983), Л. И. Дормана и др. (1978), В. А. Рожкова (1979), С. М. Кея и С. Л. Марпла (1981), Р. Е. Прилуцкого (1988).

На рис. 3 показаны спектральные плотности квазидвухлетних, трехмесячных и годовых вариаций A_{vw} (водности и солнечной активности), вычисленные по полным выборкам данных за 1921—1985 гг. и по частичным выборкам за 1877—1921 гг. для различных циклов солнечной активности. Из приведенных кривых видно наличие 22-летней модуляции для квазидвухлетних и вековой для трехмесячных и годовых изменений амплитуд. И хотя полученный результат выходит за рамки решаемых в настоящей работе задач, тем не менее отсутствие 22-летней модуляции короткопериодных вариаций свидетельствует о том, что в основе их возникновения лежит существенно иной, нежели для квазидвухлетней вариации, механизм: если первые связаны непосредственно с солнечной активностью, то последние — с изменениями общего магнитного поля Солнца, разумеется, через целый ряд промежуточных механизмов (Djurović, 1983; Плахотнюк, 1980; Ариэль и др., 1986). Полученные результаты хорошо согласуются с результатами ранее опубликованных работ (Оль, Оль, 1987; Agrawal, 1983), в которых указывается на существенно различный вклад в солнечно-земные связи 11-летних и 22-летних изменений солнечной активности.

Изучение взаимных спектров водности V и повторяемости штормовых ветров P для 19-го и 20-го циклов солнечной активности (рис. 4, кривые 1, 3) и спектров когерентности (рис. 4, кривые 2, 4), а также взаимного спектра водности V и ИКЛ для 20-го цикла (кривая 5) подтверждает высокую коррелированность изучаемых процессов на выделенных частотах: коэффициенты корреляции для 19-го и 20-го циклов составляют 0,96 и 0,86 для годовых и 0,68 и 0,57 для трехмесячных вариаций соответственно. При этом из разности фаз годовых вариаций V и P , составляющей величину порядка $60 \pm 30^\circ$, можно сделать вывод о запаздывании водности Чудского озера относительно атмосферных про-

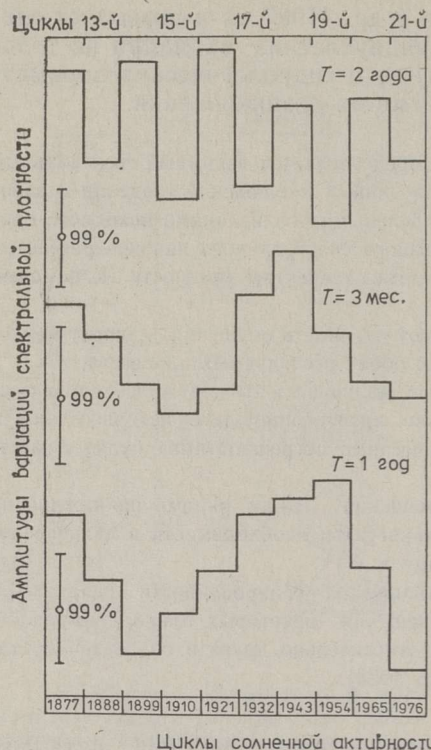


Рис. 3. Долговременные изменения амплитуд спектральной плотности квазидвухлетних, годовых и трехмесячных вариаций водности Чудского озера и повторяемости штормовых ветров.

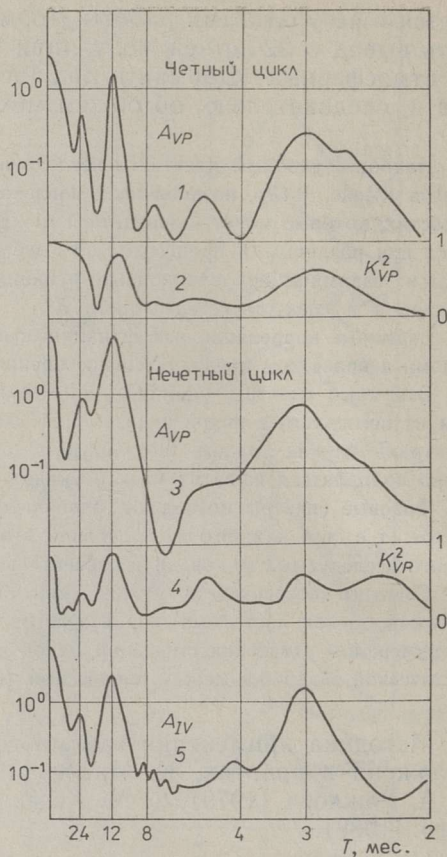


Рис. 4. Взаимные спектры мощности вариаций водности Чудского озера и повторяемости штормовых ветров (A_{VP}) (кривые 1 и 3), водности и интенсивности космических лучей A_{IV} (кривая 5) и спектры когерентности водности и повторяемости штормовых ветров K^2_{VP} (кривые 2 и 4) для 19-го и 20-го циклов солнечной активности.

цессов на 2 месяца. Что касается квазидвухлетних вариаций, то их коррелированность составляет величину порядка 0,4—0,5 с той же приблизительно разностью фаз, что приводит к запаздыванию V относительно P в 2—3 месяца.

Проверка полученных результатов с помощью фильтров первых разностей, обращенных фильтров Гаусса и фильтров Баттерворта второго рода (Либин, Яани, 1989; Дорман и др., 1987а, б; Кей, Марпл, 1981; Прилуцкий, 1988) дала практически те же результаты: уверенно выделяются трехмесячные и, естественно, годовые вариации, при этом выравнивание рядов друг относительно друга дает величину запаздывания водности относительно P в 1—2 месяца.

Аналогичным образом проведено сопоставление спектральных характеристик водности V относительно спектральных характеристик солнечной активности W . Анализировались числа Вольфа, площадь пятен и, в ряде случаев, интенсивность радиоизлучения Солнца на волне 10,7 см (рис. 5, а, б). В этих спектрах тоже уверенно выделяются пики, соответствующие квазидвухлетним, годовым и трехмесячным вариациям и превышающие, как правило, 95%-ный доверительный интервал (Рожков, 1979). При этом следует отметить, что коэффициенты корреляции составляют величины порядка 0,3—0,4 для квазидвухлетних, 0,6—0,7

для годовых и 0,4—0,8 для трехмесячных вариаций. Максимальные значения коэффициентов корреляции наблюдались в 17—19-х циклах солнечной активности, минимальные в 20-м цикле. Анализ спектров фильтрованных рядов приводит к похожим результатам (рис. 5, б): в спектрах наблюдаются устойчивые пики, соответствующие годовым и трехмесячным изменениям водности Чудского озера при нерегулярной квазидвухлетней вариации водности. Сопоставление фазовых спектров и корреляционных функций исследуемых процессов приводит к нерегулярному запаздыванию водности относительно чисел Вольфа для годовых изменений порядка 2—3 месяцев, что согласуется с результатами исследований по другим геофизическим параметрам (Дорман и др., 1987а, б; Беляев, Рожков, 1984). Расчеты взаимных спектров водности и ИКЛ дают достаточно устойчивую картину, хотя когерентность процессов в этом случае существенно ниже: коэффициент корреляции для выделенных пиков составляет величину порядка 0,3—0,35.

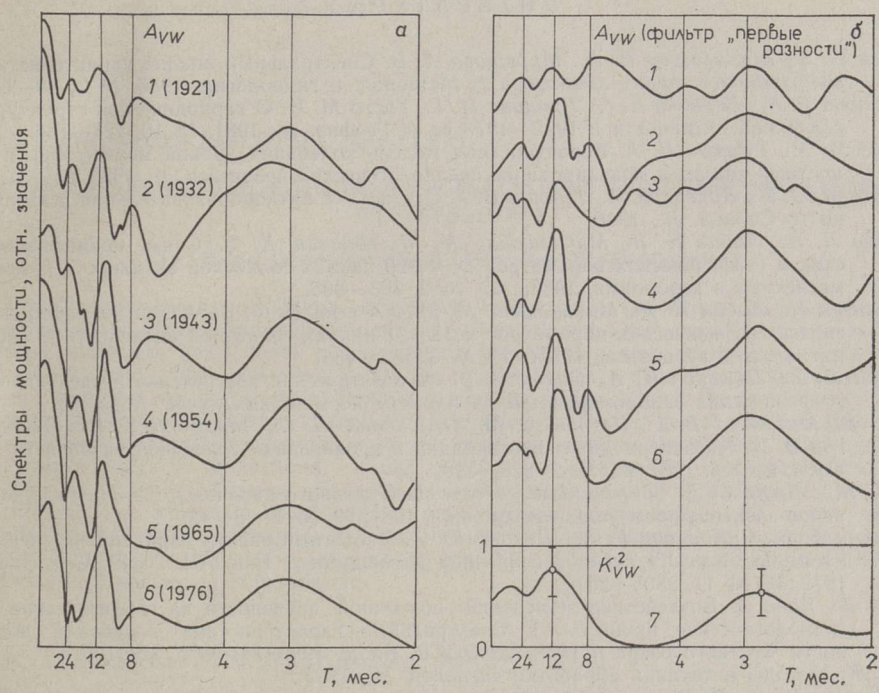


Рис. 5. Взаимные спектры мощности вариаций водности Чудского озера и солнечной активности A_{VW} (кривые 1—6) по исходным (а) и фильтрованным (б) данным для различных циклов солнечной активности и спектр когерентности водности и солнечной активности K_{VW}^2 (кривая 7), усредненный по всем выборкам.

4

Таким образом, взаимный спектральный анализ среднемесячных значений водности Чудского озера, солнечной активности, повторяемости штормовых ветров, интенсивности космических лучей и геомагнитной активности показал наличие во всех процессах статистически значимых колебаний с периодами порядка трех месяцев, одного года и двух лет с запаздыванием водности относительно остальных процессов на 1—3 месяца.

Показано, что обнаруженные колебания имеют различные источники: если квазидвухлетние колебания модулируются с периодом порядка 22 лет (что свидетельствует об их связи с изменениями общего магнитного поля Солнца), то годовые и трехмесячные вариации имеют достаточно хорошо наблюдаемый тренд с периодом порядка 80 лет и, по-видимому, модулируются 11-летними изменениями солнечной активности. Это станет ясно после расчетов динамических спектральных характеристик этих колебаний. Тем не менее полученные результаты являются существенным шагом на пути построения прогностических моделей водности Чудского озера и могут быть использованы для изучения его авторегрессионных моделей.

ЛИТЕРАТУРА

- Ариэль Н. З., Шахмейстер В. Л., Мурашова А. В. Спектральный анализ характеристик энергообмена океан—атмосфера // Метеорол. и гидрология, 1986, № 2, 49—53.
- Арсланова Р. М., Вернова Е. С., Птицина Н. Г., Тясто М. И. О периодической структуре солнечной активности в 1972—1978 гг. // Геофиз. ж., 1981, № 16, 128—136.
- Беляев М. М., Рожков В. А. Вероятностная модель колебания уровня моря // Вероятностный анализ и моделирование океанологических процессов. Л., 1984, 24—31.
- Витинский Ю. И., Копецкий М., Куклин В. Г. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. Л., 1986.
- 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 аэронавигация, 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 аэронавигация, 1987б, 27, № 3, 483—485.
- Дорман Л. И., Пименов И. А., Сацук В. В. Математическое обеспечение исследований геофизических закономерностей на примере космических лучей. М., 1978.
- Зильс В., Митрикас В. Г., Петров В. М., Охлопкова Л. С., Чарахчян Т. Н., Охлопков В. П. 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.
- Коломеец Е. В., Чубалова Р. А., Шахова Ю. А. Частотный спектр вариаций интенсивности космических лучей и солнечной активности // Изв. АН СССР. Сер. физ., 1972, 36, № 11, 2505—2510.
- Либин И., Яни А. Воздействие изменений солнечной активности на геофизические и гидрологические процессы. I. Спектральные характеристики колебаний водности Чудского озера // Изв. АН ЭССР. Биол., 1989, 38, № 2, 97—106.
- Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов. М., 1983.
- Оль Г. И., Оль А. И. Геомагнитно-активные долготы в четных и нечетных циклах солнечной активности // Солнечные данные, 1987, № 7, 85—88.
- Плахотнюк В. Н. Особенности циклов солнечной активности и геоэффективность межпланетной среды // Космические лучи, вып. 21. М., 1980, 75—85.
- Прилуцкий Р. Е. Методы и программные средства статистического анализа флуктуаций космических лучей. Препринт ИЗМИРАН № 41 (795). М., 1988.
- Репан А. О. О возможности сверхдолгосрочного прогнозирования водности Чудского озера // Проблемы и пути рационального использования природных ресурсов и охраны природы. Тр. XI респ. гидрометеорол. конф. Шяуляй, 1986, 80.
- Рожков В. А. Методы вероятностного анализа океанологических процессов. Л., 1979.
- Чертков А. Д. Солнечный ветер и внутреннее строение Солнца. М., 1985.
- Agrawal, S. P. Study of 11 and 22 year periodic variation // Proc. 18th Intern. Cosmic Ray Conf., Bangalore, India, 1983, 3, 316—319.
- Attolini, M. R., Cecchini, S., Galli, M. A search for heliosphere pulsation in the rang 1 C/yr to 1 C/10 yr // Proc. 18th Intern. Cosmic Ray Conf., Bangalore, India, 1983, 10, 174—177.
- Attolini, M. R., Cecchini, S., Galli, M. The power spectrum of cosmic ray // Nuovo Cimento, 1984, C7, N 4, 413—426.
- Blokh, Ya. L., Gulinsky, O. V., Libin, I. Ya. Spectral characteristics of the cosmic ray fluctuations in solar // Proc. 17th Intern. Cosmic Ray Conf., Paris, France, 1981, 8, 231—233.

- Djurović, L. Short-period geomagnetic, atmospheric and Earth-rotation variations // *Astron. Astrophys.*, 1983, **118**, 26—28.
- Dorman, L. I., Ptuskin, V. S. Oscillations of the heliosphere // *Asiron. Astrophys.*, 1981, **79**, 397—410.
- Gulinsky, O. V., Dorman, L. I., Kaminer, N. S., Libin, J. Ya., et al. Large-scale cosmic ray fluctuations inferred from the ground based neutron and ionizing component // *Geofis. Intern.*, 1988, **27**, N 2, 167—190.
- Jaani, A. Veerohkus muutub tsükliliselt // *Eesti Loodus*, 1973, nr. 12, 758—764.
- Kane, R. P. Power spectrum analysis of geomagnetic indexes // *Proc. Indian Acad. Sci.*, 1986, **95**, N 1, 26—28.
- Otaola, H., Hurtado, A. Power spectra of cosmic ray intensity in the period range of 1—11 years // *Proc. 17th Intern. Cosmic Ray Conf.*, Paris, France, 1981, **10**, 167—170.
- Reap, A. Peipsi-Pihkva järve veeseisude prognoosist // *Maaparandus. Teaduslik-tehnilisi uurimistulemusi*. Tln., 1981, 17—24.

Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
18/X 1989

Эстонское республиканское управление
по гидрометеорологии

Igor LIBIN, Roman PRILUTSKI, Ago JAANI

PAIKESE AKTIIVSUSE MÕJU GEOFÜÜSIKALISTELE JA HÜDROLOOGILISTELE PROTSESSIDELE

II. Peipsi järve veerohkuse lühiperioodilised kõikumised

Spektraalanalüüsi meetoditega on uuritud Peipsi järve veerohkuse ja mõnede teiste geofüüsikaliste parameetrite lühiperioodilisi (mõnest kuust kahe aastani) kõikumisi koos Päikese aktiivsuse sama laadi kõikumistega. Päikese aktiivsuse näitajatenä on kasutatud Wolffi arve, päikeseplekkide pindala ja raadiokiirguse voogu lainepikkusel 10,7 cm. Peipsi kuukeskmiste veetasemete, Päikese aktiivsuse, Põhja-Atlandi energoaktiivse tsooni ohtlike tormituulte korduvuse, kosmiliste kiirte intensiivsuse ja geomagnetilise aktiivsuse vastastikune spektraalanalüüs näitas kõigis neis protsessides statistiliselt olulisi kõikumisi perioodidega ~ kolm kuud, ~ üks aasta ja ~ kaks aastat, kusjuures veerohkuse kõikumised hilinevad teistega võrreldes 1—3 kuu võrra. Leitud kõikumised on erineva päritoluga: kui kaheaastaste kõikumiste moduleerimine perioodiga ~22 aastat näitab nende seost Päikese üldmagnetvälja muutustega, siis kolmekuustel ja aastastel variatsioonidel on hästi märgatav ~80-aastane trend ja nad on nähtavasti tingitud Päikese aktiivsuse 11-aastastest kõikumistest.

Igor LIBIN, Roman PRILUTSKI and Ago JAANI

INFLUENCE OF SOLAR ACTIVITY ON GEOPHYSICAL AND HYDROLOGICAL PROCESSES

II. Short-term fluctuations of the amount of water in Lake Peipsi

Short-term fluctuations (from a few months to two years) of some geophysical parameters and their relation to similar variation in solar activity have been studied using the methods of spectral analysis. Wolf numbers, the sum total of the areas of sun-spots and the flow of radio-frequency radiation at the wave-length of 10.7 cm were used as characteristics of solar activity. Mutual spectral analysis of average monthly water level of L. Peipsi, solar activity, the recurrence of dangerous storms in the North-Atlantic energetically active zone, the intensity of cosmic rays and geomagnetic activity showed statistically significant fluctuations in all these processes over the periods of approximately three months, one year and two years, at that the fluctuations of the water amount are delayed by 1—3 months with respect to the other processes. The fluctuations ascertained have different origins: while the two-year fluctuations modulate over the period of approximately 22 years which testifies to their connection with the variation in the Sun's total magnetic field, then the three-month and yearly variations have a quite clear 80-year trend which is apparently caused by 11-year variation in solar activity.