

ВЕСТНИК БГУ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ИЗДАЕТСЯ С ФЕВРАЛЯ 1969 ГОДА
ОДИН РАЗ В ЧЕТЫРЕ МЕСЯЦА

СЕРИЯ 2

3, 2015

Главный редактор С. В. АБЛАМЕЙКО

Заместитель главного редактора М. А. ЖУРАВКОВ

Редакционная коллегия серии:

Ответственный редактор О. А. ИВАШКЕВИЧ

В. Е. АГАБЕКОВ, Е. А. АНТИПОВА, С. В. БУГА, А. Н. ВИТЧЕНКО, Б. П. ВЛАСОВ,
С. А. ВОРОБЬЕВА (*ответственный секретарь*), Т. В. ГАЕВСКАЯ, О. Г. ДАВЫДЕНКО, В. В. ДЕМИДЧИК,
В. В. ЕГОРОВ, Я. К. ЕЛОВИЧЕВА, Д. Л. ИВАНОВ (*зам. ответственного редактора*), Ф. Н. КАПУЦКИЙ,
А. И. ЛЕСНИКОВИЧ, В. В. ЛЫСАК, В. Д. ПОЛИКСЕНОВА (*зам. ответственного редактора*),
В. Н. РЕШЕТНИКОВ, А. Ф. САНЬКО, Д. В. СВИРИДОВ, С. А. УСАНОВ, А. Г. ЧУМАК

МИНСК
БГУ

УДК 523.98:551.579

Н. В. ЦВИД-ЭНДРЮ (УКРАИНА)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА УРОВЕНЬ ВОДЫ
ОЗЕРА СВИТЯЗЬ, КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРУ ВОЗДУХА
(на основе спектрально-корреляционного анализа)**

Приведены результаты изучения зависимости изменения уровня воды оз. Свитязь от количества солнечных пятен, атмосферных осадков и температуры воздуха на основе корреляционного анализа с целью выявления роли солнечной активности в динамике уровня воды озера и определения ее цикличности. Обосновано, что уровень воды оз. Свитязь представляет собой сложную колебательную систему. Выявлено несколько основных периодов его изменений: 1 год; 6,3; 8,5; 9,7; 11,5; 17; 25 и 83 года. Установлено, что наибольшая корреляция между уровнем воды оз. Свитязь и количеством солнечных пятен наблюдается для суммы колебаний уровня воды оз. Свитязь с периодами 8,5 + 9,7 + 11,5 года и для 11-летнего периода колебаний, где коэффициент корреляции r равен 0,51 и 0,50 соответственно. Вычислено, что ее вклад в изменение уровня воды оз. Свитязь составляет примерно 20 % (28 см) среднего значения уровня воды озера (141 см). Показано, что вклад колебаний 11-летнего периода в изменение уровня воды оз. Свитязь значительно меньше и равняется 4 % (6 см). Установлено, что корреляция 11-летнего периода колебаний уровня воды озера и чисел Вольфа с колебанием количества осадков этого периода очень высока: r равен 0,94 и 0,76 соответственно. Следовательно, 11-летний период колебаний уровня воды оз. Свитязь имеет солнечное происхождение.

Ключевые слова: уровень воды; солнечная активность; числа Вольфа; корреляция; период; тренд; спектрально-корреляционный анализ.

The paper presents the results of spectral analysis of correlation between the water level in Svityaz Lake, the number of sunspots, the amount of precipitation and air temperature. The main objective of this research is to identify possible cyclical fluctuations in the water level of Svityaz Lake of solar origin, as well as to define the influence of solar activity changes on water level changes. Grounded, the water level in the Svityaz Lake is a complex oscillatory system. We have defined a number of major periods in it, such as 1; 6,3; 8,5; 9,7; 11,5; 17; 25 and 83 years. Installed, the strongest correlation between the water level in Svityaz Lake and the number of sunspots is for the amount of fluctuations of 8,5 + 9,7 + 11,5 year and for 11 year periods, where as the correlation coefficient is $r \approx 0,51$ and $r \approx 0,50$ respectively. Calculated, the effect of this correlation comes up to 20 % (28 cm) of the average lake level, which is 141 cm. Shows, the effect of 11-year period is smaller and comes up only to 4 % (6 cm). Investigated, the interdependence of 11-year water level fluctuations and Wolf number with 11-year precipitation fluctuations is very strong, and reaches $r \approx 0,94$, $r \approx 0,76$, respectively. Consequently, 11-years water level fluctuation in Svityaz Lake is of solar origin.

Key words: water level; solar activity; Wolf number; correlation; period; trend; spectral and correlation analysis.

Шацкий национальный природный парк (далее – Шацкий НПП) находится в северо-западной части Украины, занимая 48 977 га. На территории парка есть 24 озера (общей площадью 6400 га), которые

относятся к бассейнам Балтийского и Черного морей. Шацкие озера составляют одну из крупнейших озерных групп Европы. Озеро Свитязь – самое большое из них.

Постановка научной проблемы

Шацкие озера – сложные по генезису, им свойствен нестабильный уровень режима вод. Характерные типы источников питания – подземные воды и атмосферные осадки. Существующие связи между уровнем солнечной активности и количеством осадков в регионе, очевидно, влияют на уровень воды в озерах. Для изучения таких процессов необходимо прежде всего выявить динамику уровня режима вод, а также определить амплитуду и фазу колебания. Актуальность исследования заключается в том, что полученные результаты позволят выделить колебания и разделить их на связанные с влиянием солнечной активности и не связанные с ней.

Исследования солнечно-земных связей проводились на различных территориях нашей планеты. В частности, М. И. Пудовкин, С. В. Бабушкина изучали наличие эффектов солнечных вспышек в вариациях приземного давления атмосферы [1], О. М. Распопов, О. И. Шумилов определяли характер влияния солнечной активности на климатические процессы [2], И. Я. Либин и А. Яни исследовали влияние изменений солнечной активности на геофизические и гидрологические процессы, а также спектральные характеристики колебания уровня воды Чудского озера [3]. Для территории Шацких озер солнечно-земные связи мало изучены.

Цель настоящего исследования – изучение корреляции между колебаниями гидрометеорологических параметров в районе оз. Свитязь путем проведения множественного корреляционно-регрессионного анализа зависимости уровня воды оз. Свитязь от величины солнечной активности и гидрометеорологических параметров. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: 1) вычислить корреляцию между измеряемыми значениями уровня воды озера и количеством солнечных пятен, а также между количеством солнечных пятен, осадков и температурой воздуха; 2) исследовать корреляцию между 11-летним колебанием чисел Вольфа и отдельными колебаниями уровня воды оз. Свитязь; 3) найти парные коэффициенты корреляции и разность фаз $\Delta\varphi$ в годах между 11-летними колебаниями уровня воды оз. Свитязь, числами Вольфа, температурой воздуха и количеством осадков.

Методика исследований

Для анализа использовались ежедневные данные метеостанции «Свитязь», а также сведения из государственного архива и интернета. Исследования выполнялись путем многоспектрального корреляционного анализа и фурье-анализа. Данная методика апробирована на озерах ледниково-тектонического генезиса (Чудское озеро) [3, 4]. Природные условия Шацкого Поозерья и Чудского озера подобны, поскольку лежат в пределах одного климатического пояса.

Основные результаты исследования

Исследования изменения уровня воды оз. Свитязь в зависимости от величины солнечной активности проводились в несколько этапов.

На первом этапе изучалась корреляция между измеряемыми значениями уровня воды озера и количеством солнечных пятен, а также между количеством солнечных пятен, осадков и температурой воздуха. В результате были вычислены парные коэффициенты корреляции между названными параметрами (табл. 1).

Таблица 1

Парные коэффициенты корреляции

Наименование параметра	Уровень воды озера	Количество осадков	Температура воздуха	Числа Вольфа
Уровень воды озера	–	–0,01	0,08	0,15
Количество осадков	–0,01	–	–0,06	0,09
Температура воздуха	0,08	–0,06	–	0,07
Числа Вольфа	0,15	0,09	0,07	–

Как следует из табл. 1, парные коэффициенты корреляции между вышеперечисленными параметрами очень малы. Среди них самый большой коэффициент корреляции (r) выявлен между числами Вольфа и уровнем воды оз. Свитязь: $r \approx 0,15$. Низкий уровень корреляции между измеряемыми величинами

обусловлен прежде всего тем, что все эти параметры по-разному изменяются с течением времени, т. е. каждый из них имеет собственный спектр колебаний. Для дальнейшего исследования необходимо представить графическую модель уровня воды оз. Свитязь (рис. 1) и спектр колебания уровня воды оз. Свитязь (рис. 2).

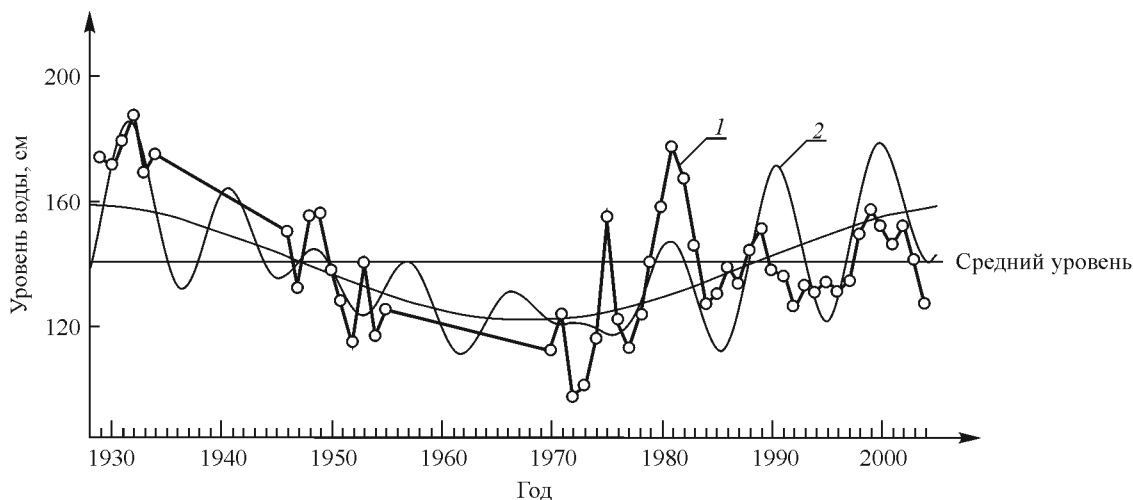


Рис. 1. Уровень воды оз. Свитязь:
1 – измеряемые значения уровня воды оз. Свитязь; 2 – расчетные значения уровня воды оз. Свитязь

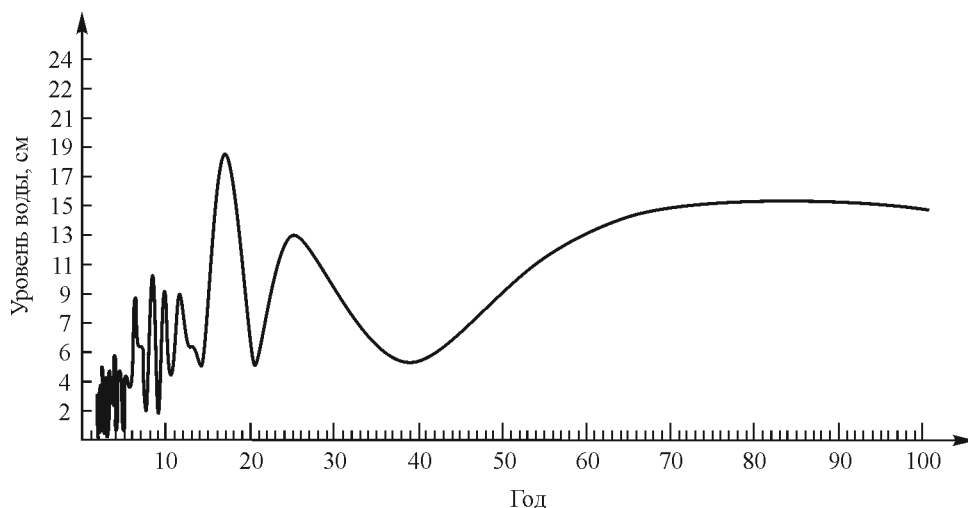


Рис. 2. Спектр колебаний уровня воды оз. Свитязь

Согласно рис. 1 и 2 в спектре колебания уровня воды оз. Свитязь выражены 7 основных периодов (не считая однолетнего), а именно: 6,3; 8,5; 9,7; 11,5; 17; 25 и 83 года. Вклад остальных колебаний в изменение уровня воды озера значительно ниже, и поэтому они не рассматривались.

Спектры колебаний, приведенные на рис. 2, были получены путем разложения измеряемых параметров в ряд Фурье. Известно, что фурье-анализ очень чувствителен к нецелостности исследуемого ряда измерений. Для оз. Свитязь имеются значительные пропуски в измерениях (Первая и Вторая мировые войны). Поэтому для определения периодов, амплитуд и фаз колебаний дополнительно использовался метод наименьших квадратов, который позволяет более точно получить параметры колебания. Из рис. 1 видно, что в изменении уровня воды оз. Свитязь присутствует длительный, 83-летний, тренд, который и вносит основной вклад в изменение уровня озера на большом интервале времени. Амплитуда тренда составляет ± 15 см относительно среднего значения уровня воды оз. Свитязь (141 см). Естественно было бы предположить, что после вычитания 83-летнего тренда из измеряемых значений уровня воды оз. Свитязь корреляция между уровнем воды оз. Свитязь и количеством солнечных пятен должна увеличиться (рис. 3 и 4), что и наблюдалось в действительности: $r \approx 0,25$.

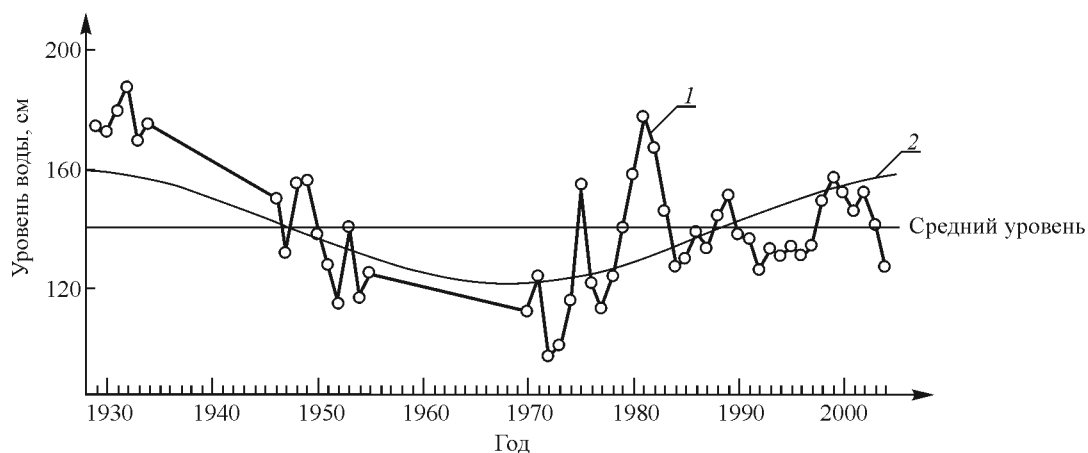


Рис. 3. Уровень воды оз. Свитязь при наличии 83-летнего тренда:
1 – измеряемые значения уровня воды оз. Свитязь; 2 – долгопериодный 83-летний тренд уровня воды оз. Свитязь

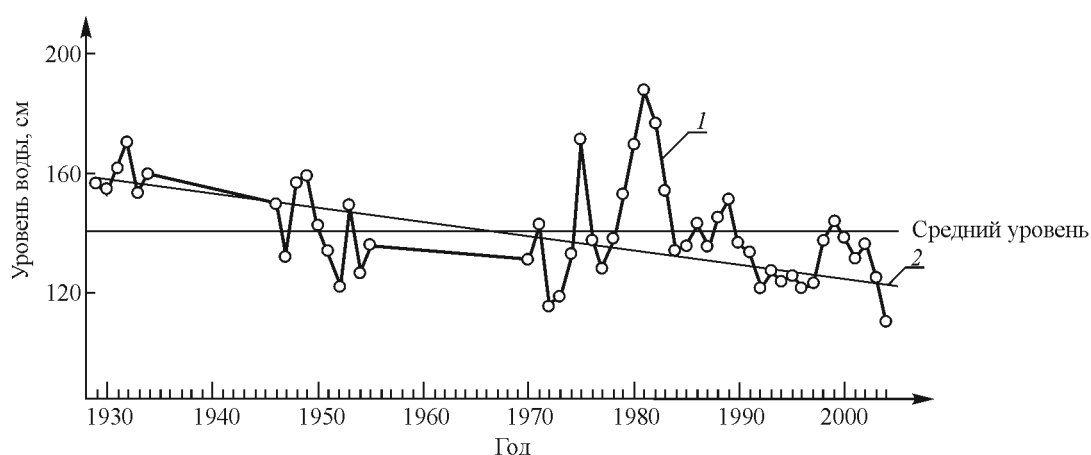


Рис. 4. Уровень воды оз. Свитязь после вычитания 83-летнего тренда из измеряемых значений:
1 – измеряемые значения уровня воды оз. Свитязь; 2 – тренд уровня воды оз. Свитязь после вычитания 83-летнего тренда из измеряемых значений

Из рис. 4 следует, что после вычитания 83-летнего тренда отмечено постепенное монотонное падение уровня воды озера на протяжении всего периода измерений. Трудно сказать, является ли это падение постоянным или носит периодический характер. Для того чтобы ответить на этот вопрос, необходимы измерения уровня воды озера на протяжении сотен лет, но они отсутствуют. Монотонное падение уровня воды оз. Свитязь на исследуемом интервале можно аппроксимировать прямой. Низкая корреляция между уровнем воды озера и количеством солнечных пятен связана с тем, что в течение изменения уровня воды озера наблюдалось несколько колебаний с разными периодами, амплитудами и фазами. Эти колебания, накладываясь друг на друга, скрывают колебания, связанные с 11-летним солнечным циклом, и, чтобы выявить последние, была исследована корреляция между 11-летним периодом колебаний чисел Вольфа и отдельными колебаниями уровня воды оз. Свитязь. Наибольший интерес представляют колебания уровня воды оз. Свитязь с периодами, близкими к 11 годам: 8,5; 9,7 и 11,5 года. В табл. 2 приводятся результаты данных исследований.

Таблица 2

Корреляции между 11-летним периодом колебаний чисел Вольфа и отдельными колебаниями уровня воды оз. Свитязь, количеством осадков и температурой воздуха

Колебание	Период колебания, лет	Коэффициент корреляции	Разность фаз, лет	Амплитуда, %	Амплитуда от среднего
Уровня воды	6,3	0,03	-5,20	6	9 см
	8,5	0,33	-4,96	7	10 см
	9,7	0,45	-4,93	6	9 см

Колебание	Период колебания, лет	Коэффициент корреляции	Разность фаз, лет	Амплитуда, %	Амплитуда от среднего
Уровня воды	11	0,50	-1,82	4	6 см
	11,5	0,31	-3,52	6	9 см
	17	0,00	-4,44	14	19 см
	25	-0,18	-4,05	9	13 см
	83	-0,10	73,06	11	15 см
	8,5 + 9,7	0,49	-	14	19 см
	8,5 + 9,7 + 11,5	0,51	-	20	28 см
	8,5 + 9,7 + 17	0,25	-	27	38 см
	6,3 + 8,5 + 9,7 + + 12 + 17 + 25 + 83	0,13	-	60	84 см
Осадков	11	0,76	-1,24	11	0,17 мм
Температуры	11	0,60	1,63	6	0,45 °С

Из табл. 2 видно, что корреляция между 11-летним периодом колебаний чисел Вольфа и отдельными колебаниями уровня воды оз. Свитязь значительно возросла по сравнению с корреляцией между числами Вольфа и всем спектром колебаний (см. табл. 1), т. е. с измеряемыми значениями уровня воды оз. Свитязь. Большая корреляция имеет место для периодов 8,5; 9,7; 11 и 11,5 года, $r \approx 0,33$; 0,45; 0,50 и 0,31 соответственно. Максимальная наблюдается для суммы колебаний с периодами 8,5 + 9,7 + 11,5 года, где $r \approx 0,51$ (см. табл. 2). Выделенная сумма колебаний с периодами 8,5 + 9,7 + 11,5 года потенциально может иметь солнечное происхождение, поскольку данное колебание коррелирует как с количеством солнечных пятен при $r \approx 0,51$, так и с измеряемыми значениями уровня воды оз. Свитязь, где коэффициент корреляции $r \approx 0,43$. Вклад корреляции в изменение уровня воды оз. Свитязь составляет примерно 20 % (28 см) среднего значения уровня озера (141 см). Также согласно нашим исследованиям данное суммарное колебание носит периодический затухающий характер. Это объясняется прежде всего тем, что в спектре колебания уровня воды оз. Свитязь присутствует много других, которые связаны не с уровнем солнечной активности, а с изменением параметров окружающей среды. Позиция этих колебаний с 11-летним периодом может давать колебания с периодами, близкими к 11-летнему циклу. Поэтому колебания с периодами 8,5; 9,7 и 11,5 года представляют собой искажение колебаний 11-летнего периода.

Уровень воды оз. Свитязь – сложная функция многих параметров, в том числе температуры воздуха и количества выпадаемых осадков. Проанализировав спектры колебаний последних, можно отметить, что в них также присутствуют колебания с периодами, близкими к 11-летнему циклу. Особый интерес представляет то, что в спектре колебаний количества осадков наблюдается явно выраженный 11-летний период. Более того, фазы колебаний 11-летних периодов для солнечных пятен и для количества осадков фактически совпадают. Коэффициент корреляции между 11-летним периодом колебаний количества солнечных пятен и выделенным 11-летним периодом колебаний уровня осадков $r \approx 0,76$. Наличие корреляции между числами Вольфа и 11-летним периодом колебаний для осадков свидетельствует о том, что выделенные колебания для уровня воды оз. Свитязь с периодами 8,5; 9,7; 11,5 года, скорее всего, имеют солнечное происхождение, так как уровень воды оз. Свитязь в конечном счете зависит от количества выпадаемых осадков. В связи с наличием четко выраженного 11-летнего периода колебаний в спектре для осадков представляется целесообразным выделить 11-летний период колебаний как для уровня воды, так и температуры и исследовать корреляцию между 11-летним периодом колебаний чисел Вольфа и уровня воды, осадков и температуры. Результаты таких исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3

Парные коэффициенты корреляции и разность фаз $\Delta\varphi$

Наименование параметра	Уровень воды озера	Количество осадков	Температура воздуха	Числа Вольфа
Уровень озера	-	0,94 $\Delta\varphi$ = 0,59	-0,39 $\Delta\varphi$ = 3,45	0,50 $\Delta\varphi$ = 1,82
Количество осадков	0,94 $\Delta\varphi$ = -0,59	-	-0,07 $\Delta\varphi$ = 2,87	0,76 $\Delta\varphi$ = 1,24

Наименование параметра	Уровень воды озера	Количество осадков	Температура воздуха	Числа Вольфа
Температура воздуха	$-0,39\Delta\varphi = -3,45$	$-0,07\Delta\varphi = -2,87$	–	$0,60\Delta\varphi = -1,63$
Числа Вольфа	$0,50\Delta\varphi = -1,82$	$0,76\Delta\varphi = -1,24$	$0,60\Delta\varphi = 1,63$	–

Максимальная корреляция, как видно из табл. 3, достигается между 11-летними периодами колебаний для уровня воды озера и количеством осадков, где $r \approx 0,94$, и для 11-летних колебаний чисел Вольфа и осадков ($r \approx 0,76$). Степень корреляции при сравнении двух 11-летних периодов колебаний определяется исключительно разностью фаз. Минимальная разность фаз наблюдается между 11-летними периодами колебаний количества осадков и уровнем воды оз. Связь и между количеством осадков и числами Вольфа (см. табл. 3).

Таким образом, высокая корреляция 11-летних колебаний чисел Вольфа и уровня воды озера с показателями 11-летнего периода колебаний осадков показывает, что именно 11-летний период колебаний, влияющий (в числе других факторов) на изменение уровня воды оз. Связь, имеет солнечное происхождение, при этом амплитуда колебания невелика и составляет приблизительно 4 % (6 см) среднего значения уровня воды (141 см) за исследуемый период. Изучение связи уровня озера Шатцкого НПЗ с солнечной активностью является важной составной частью комплексного физико-географического исследования территории этого национального природного парка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пудовкин М. И., Бабушкина С. В. Эффекты солнечных вспышек в вариациях приземного давления атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 1990. Т. 30, № 3. С. 469–473.
2. Распопов О. М., Шумилов О. И., Касаткина Е. А., Турумен Е., Линдхолм М., Колстрем Т. Нелинейный характер воздействия солнечной активности на климатические процессы // Геомагнетизм и аэрономия. 2001. Т. 41, № 3. С. 420–425.
3. Либин И. Я., Яани А. Воздействие изменений солнечной активности на геофизические и гидрологические процессы. Спектральные характеристики колебаний водности Чудского озера // Изв. АН Эстонии. Сер. Геология. 1984. Т. 39, № 4. С. 413–426.
4. Либин И. Я., Гуцина Р. Т., Перес-Пераза Х., Лейва А., Яани А. Воздействие изменений солнечной активности на гидрологические процессы. Авторегрессионный анализ солнечной активности и уровней озер // Геомагнетизм и аэрономия. 1996. Т. 36, № 5. С. 79–83.

Поступила в редакцию 28.05.2015.

Наталья Васильевна Цвид-Эндрю – кандидат географических наук, доцент кафедры географии географического факультета Восточноевропейского национального университета (г. Луцк, Украина).