**РИТМЫ ПЕЛЕОКЛИМАТА ЗЕМЛИ
В СТРУКТУРЕ ОКАМЕНЕВШИХ СЛОИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЯ (~ 2 МЛРД. ЛЕТ ТОМУ НАЗАД)
И СОВРЕМЕННЫЕ ЦИКЛЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ**

Тясто М.И.¹, Дергачев В.А.², Дмитриев П.Б.², Благовещенская Е.Э.¹

¹Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: mtyasto@mail.ru

²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: v.dergachev@mail.ioffe.ru

**THE RHYTHMITES OF THE EARTH'S PALEOCLIMATE OF THE
STRUCTURE OF THE FOSSILIZED SEDIMENTARY LAMINAE
FROM THE PALEOPROTEROZOIC (~ 2 BILLION YEARS AGO)
AND THE PRESENT CYCLES OF THE SOLAR ACTIVITY**

Tyasto M.I.¹, Dergachev V.A.², Dmitriev P.B.², Blagoveshchenskaya E.E.¹

¹IZMIRAN, St. Petersburg Branch, St. Petersburg, Russia
e-mail: mtyasto@mail.ru

²A.F. Ioffe Physical-Technical Institute, St. Petersburg, Russia
e-mail: v.dergachev@mail.ioffe.ru

Paleoclimatic data (the thickness variation of the rhythmically deposited argillites of the Gowganda Formation located in the Mississagi River Valley near Wharncliffe, Ontario, Canada) with a spatial resolution about one year and enclosed the time period about 256 years which were dated from early Proterozoic age (ca. 2.0–2.5 billion years before present) have been studied in order to reveal quasiperiodic variations of climatic processes in the past. There are six hidden periodicities: 3, 5, 11, 14, 29 and 75 years were revealed with significance level of its amplitudes in the frame of the polyharmonic model from 2σ up to 4σ .

It has been indicated that some of the detected periodicities are often similar to present day solar activity cyclicity.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-377-380

Введение

Слоистые аргиллиты – твердые камнеподобные породы, сформировавшиеся в результате уплотнения ленточных глин, представляют собой отложения приледниковых озёр, состоящие из многократно повторяющихся ежегодных отложений тонких слоев ледниковой мути, которая содержит в основном тонкозернистый песчаный материал летом и глинистый зимой [1]. По толщине таких годовых отложений величиной от долей миллиметра до нескольких сантиметров можно судить об интенсивности таяния ледника, а тем самым и об изменении климата в то далекое доисторическое время. Поэтому для изучения изменения климата в палеопротерозойском периоде (~2 млрд. лет тому назад) в настоящей работе проведено исследование палеоданных толщины слоев отложений аргилли-

та формации «Gowganda» [2], расположенной на юге канадской провинции Онтарио, и которые были взяты с сервера [3].

Исходные данные. Исследуемый временной ряд (рис. 1) представляет собой измерения (в мм) толщины слоев отложений аргиллита формации «Gowganda», расположенной в долине реки Миссиссаги на юге провинции Онтарио в Канаде. Временное разрешение данных составляет один год и охватывает временной интервал длительностью в 256 лет, относящийся по времени к палеопротерозойской эре около 2.0–2.5 млрд. лет тому назад.

Рис. 1. Значения толщин слоёв отложений аргиллита формации «Gowganda» (серая линия) и аппроксимация этих значений шестью гармониками (черная линия).

Метод исследования. Поиск скрытых периодичностей во временной структуре исходных данных осуществляется в рамках полигармонической модели сигнала с шумовой составляющей [4]:

$$X(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\nu} R_k \cos \left(\frac{2\pi}{T_k} t - \varphi_k \right) + n(t),$$

где A_0 – постоянная величина, R_k , φ_k – амплитуда и начальная фаза k -ой гармоники, ν – число этих гармоник, а $n(t)$ – случайная помеха («белый шум»). В этом случае целью исследования становится нахождение значений $3\nu + 1$ неизвестных параметров: A_0, R_k, φ_k, T_k , которое осуществляется в два этапа: на первом – определяется величина ν – число квазипериодов, и их значения T_k методом построения комбинированной спектральной периодограммы (КСП) [5], на втором – при известном числе ν , осуществляется оценка амплитуд R_k , начальных фаз φ_k , параметра A_0 и их доверительных интервалов методом наименьших квадратов [6]. Суть метода КСП кратко заключается в следующем: выборочная оценка нормированной спектральной плотности (ВОНСП) [7] для исходного временного ряда вычисляется в зависимости от «пробного» периода. Затем исходный ряд данных подвергается высокочастотной фильтрации [8] с заданной частотой

«среза» фильтра на половине мощности сигнала, которой во временной области соответствует величина «разделительного» периода T_ϕ , и для каждого отфильтрованного со своим конкретным значением параметра T_ϕ высокочастотного компонента (ВЧК) снова вычисляется ВОНСП от периода. Все эти оценки, вычисленные для различных значений параметра T_ϕ , накладываются друг на друга на одном и том же поле графика, образуя КСП.

Достоверность выявленных периодов определяется на втором этапе обработки данных по доверительным оценкам амплитуд полигармонической модели сигнала. Более полно метод изложен в работе [5].

Результаты обработки палеоданных. В исходных данных и в их отфильтрованном ВЧК (со значениями параметра T_ϕ , равным 7, 11, 17, 23, 31, 53 и 79 лет) при помощи выше описанной методики были обнаружены квазипериодические компоненты с периодами: 3, 5, 11, 14, 29 и 75 лет на уровне значимости значений их амплитуд от 2 до 4σ (см. рис. 2 и таблицу).

Рис. 2. КСП исходных палеоданных и их высокочастотных компонентов.

Таблица. Значения параметров и их стандартов полигармонической модели сигнала, состоящей из шести гармоник, вычисленные для исходного ряда данных.

T , год	$R \pm \sigma_R$, Мм	R/σ_R	$\varphi \pm \sigma_\varphi$, град. дуги	T , год	$R \pm \sigma_R$, мм	R/σ_R	$\varphi \pm \sigma_\varphi$, град. дуги
A_0	9.82 ± 0.20	49					
3	0.66 ± 0.28	2	327 ± 25	14	1.07 ± 0.28	3	167 ± 15
5	0.69 ± 0.28	2	276 ± 23	29	0.78 ± 0.28	2	16 ± 21
11	0.56 ± 0.28	2	312 ± 29	75	1.20 ± 0.29	4	357 ± 13

Для изучения стабильности во времени значений периодов выявленных квазигармоник ВОНСП была построена для исходных данных в скользящем временном окне шириной 181 (рис. 3а) и 101 год (рис. 3б). На этих рисунках четко видна их степень проявления и изолированность друг от друга на протяжении всех 256 лет. Если предположить, что три, самые мощные гармоники T_n : 14, 29 и 75 лет, соответствуют основным современным циклам солнечной активности T_c : Швабе (11 лет), Хэйла (22 года) и наименьшему из значений цикла Гляйсберга (60 лет), то введя понятие от-

носительного сдвига для соотнесенных T_p и T_c : $\delta_T = (T_p - T_c) / T_c$, и оценив его среднее значение по этим трем выбранным парам ($\delta_T \approx 0.28$), приведем весь ряд выявленных гармоник: 3, 5, 11, 14, 29 и 75 лет, к современности. Получим, соответственно: 2.3, 3.9, 8.6, 10.9, 22.6 и 58.6 лет. Эти значения неоднократно присутствуют в списке таблицы 1 работы [9], где приведены многочисленные оценки значений циклов солнечной активности, вычисленные на основе современных наблюдений.

Рис. 3. ВОНСП, вычисленная для исходных данных в скользящем временном окне с шириной окна: а – 181 год и б – 101 год.

Выводы. Анализ вариаций толщины ежегодных слоев отложений аргиллита формации «Gowganda», расположенной на юге провинции Онтарио в Канаде, возраст которых составляет около 2.5 млрд. лет, позволил выявить квазигармоники, которые могут быть отнесены к основным современным циклам солнечной активности: циклам Швабе и Хэйла (11 и 22 года), а так же к наименьшему из значений цикла Гляйсберга (60 лет).

Литература

1. Жемчужников Ю.А. Сезонная слоистость и периодичность осадконакопления // Труды Геол. ин-та АН СССР. 1963. Вып. 86. 72 с.
2. Hughes G.B., Giegengack R., Kritikos H.N. Modern spectral climate patterns in rhythmically deposited argillites of the Gowganda Formation (Early Proterozoic), southern Ontario, Canada // Earth and Planetary Science Letters, 2003, V. 207, Issue 1-4, PP. 13-22.
3. <http://ncdc.noaa.gov/paleo/study/18216>
4. Серебrenников М.Т., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей – М.: Наука. 1965. – 244 с.
5. Dergachev V.A., Tyasto M.I., Dmitriev P.B. Palaeoclimate and solar activity cyclicity 100–150 million years ago // Advances in Space Research. 2016. V. 57. P. 1118.
6. Агекян Т.А. Основы теории ошибок для астрономов и физиков – М.: Наука. 1972. – 172 с.
7. Дженкинс Г., Баттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Вып. 2 – М.: Мир. 1972. – 287 с.
8. Alavi A.S., Jenkins G. M. An example of digital filtering // Appl. Statist. 1965. V. 14. P. 70.
9. Kuklin G.V. Cyclical and secular variations of solar activity // Proc. 71st IAU Symposium “Basic mechanisms of solar activity” – Holland; Boston: D. Reidel, 1976. PP. 147-190.