

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ПРОШЛОМ — МИЛЛИОНЫ ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

О. М. Распопов

Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова Российской академии наук (СПбФ ИЗМИРАН)

Проведён анализ палеоклиматических данных для временного интервала от 250 до 5–7 миллионов лет назад. Обобщены доступные в научной литературе данные по климатическим периодичностям. Показано, что периодичности в этом временном интервале связаны с фундаментальными циклами солнечной активности. Экспериментальные данные свидетельствуют, что наиболее мощным солнечным циклом, оказывавшим климатическое воздействие в прошлом является ~200-летний цикл Зюсса-де Фриза (Suass-de Vries).

Ключевые слова: вариации солнечной активности, палеоклиматические данные.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Инструментальные наблюдения за вариациями солнечной активности (СА): число солнечных пятен и групп пятен получены на временном интервале последних ~400 лет. Для оценки вариаций СА в более ранние эпохи используются данные о содержании космогенных изотопов ^{14}C , ^{10}Be и др. в земных архивах: в кольцах деревьев, слоистых структурах ледяных покровов и донных осадков и др. Генерация космогенных изотопов в атмосфере Земли происходит под воздействием потоков космических лучей (КЛ). В свою очередь, интенсивность потоков КЛ определяется уровнем СА, из-за рассеяния КЛ на неоднородностях солнечного ветра. Образовавшиеся в атмосфере космогенные изотопы после обменных процессов в земных резервуарах (атмосфера и океан) оседают в природных архивах. Таким образом, вариации концентрации изотопов дают информацию о периодичности СА, а с учётом поправок на обменные процессы, и о её уровне. Время полураспада космогенных изотопов определяет временной масштаб, в котором возможно восстановление и анализ СА на основе данного изотопа. Так, ^{14}C имеет время полураспада 5730 лет, что позволяет судить об изменчивости СА на масштабах времени до нескольких десятков тысяч лет. Время полураспада ^{10}Be составляет около 1,5 млн лет и, следовательно, информацию о СА можно, в принципе, извлечь на временном интервале

Распопов Олег Михайлович — главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук, профессор

в несколько миллионов лет при условии высокого временного разрешения используемых данных. В то же время, детальные данные по измерению концентрации ^{10}Be не превышают последние 50 000 лет. Для временного интервала в сотни тысяч и миллионы лет индикатором изучения периодического характера СА может служить климатический индикатор, дающий информацию о климатическом отклике системы атмосфера-океан на периодичность СА.

Основатель дендрохронологии Дуглас в начале XX в. обратил внимание на существовании ~11-летней цикличности в радиальном приросте деревьев. Он отождествил эту периодичность с климатическим откликом на воздействие 11-летнего солнечного цикла Швабе (Schwabe). Он и другие исследователи, на основе анализа дендрологических и других палеоклиматических данных, обладающих слоистой структурой, выявили проявленные климатических вариаций, соответствующих фундаментальным циклам СА: цикла Хейла (Hale), равного удвоенному циклу Швабе, вековому циклу Глайсберга (Gleissberg), который по современным представлениям расщепляется на две ветви в 60–90 и 90–130 лет, а также квазидвухсотлетнему циклу Зюсса-де Фриза (Suess-de Vries). Отметим, что в последнем тысячелетии наиболее мощный климатический отклик наблюдался у квазидвухсотлетнего солнечного цикла [Распопов и др., 2009; Raspopov et al., 2008]. Экспериментальные данные свидетельствуют, что период названных циклов не остаётся постоянным и может изменяться во времени [Raspopov et al., 2004a, b]. Следует отметить, что в климатических периодичностях, достаточно часто прослеживаются и периодичности около 30 и 17–18 лет. Первая из них носит название цикла Брюкнера (Bruckner). Интерпретацию 17–18-летней периодичности можно дать с позиций воздействия цикличности лунных приливов (лунный Saros-цикл — 18,6 лет).

Таким образом, ряд климатических индикаторов, обладающих тонкой слоистой структурой и имеющих точную временную привязку, позволяет достаточно точно оценивать солнечное воздействие на изучаемые климатические индикаторы, что значительно расширяет получение информации о СА за пределами инструментальных её наблюдений.

В рамках работ, выполненных в последние годы в СПбФ ИЗМИРАН в содружестве с сотрудниками Физико-технического института РАН, был выполнен анализ уникальных палеоклиматических данных, имеющих временное разрешение в один год, во временном интервале от десятков тысяч до сотен миллионов лет тому назад. Палеоклиматические данные были подвергнуты спектральному и вейвлет-анализу с целью выявления периодичностей в климатических изменениях в прошлом. Полученные данные были сопоставлены с фундаментальными периодичностями солнечной активности [Распопов и др., 2010; Raspopov et al., 2011].

Необходимо подчеркнуть, что миллионы лет тому назад конфигурация континентов и климат существенно отличались от современного, и, следовательно, циркуляционные процессы в системе атмосфера-океан имели отличную от современной структуру. Поэтому выявление климатических периодичностей, соответствующих фундаментальным периодичностям СА могут указывать, что выявленные периодичности обязаны своим происхождением внешнему солнечному воздействию.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ В ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В выполненных в СПбФ ИЗМИРАН исследованиях были использованы данные о вариациях ширины годовичных колец окаменевших деревьев и толщины годовичных слоёв ленточных глин. Эти данные частично были получены непосредственно автором, или же были использованы литературные и архивные данные. Все имеющиеся в распоряжении данные были проанализированы различными методами спектрального и вейвлет-анализа, что позволило выделить периодичности в климатических данных, обладающих высоким уровнем достоверности. Небольшой объём статьи не позволяет изложить использованные методики, но и их можно найти в цитируемых работах. В качестве примера использованных данных на рис. 1а приведены керны ленточных глин из Permian Castle Formation, расположенной в Техасе (США), а также вариации годовичных слоёв этих ленточных глин (рис. 1б) за 800-летний отрезок времени. Возраст ленточных глин — около 250 млн лет.

В это время конфигурация континентов принципиально отличалась от современной, и часть североамериканского континента располагалась вблизи экватора. Расположение континентов приведено на рис. 1в. Звёздочкой отмечено место сбора кернов. В кернах чётко прослеживается годовичная структура, а в кривой вариаций годовичных слоёв даже визуально видна квазидвухсотлетняя периодичность. Ранее указывалось, что в современную эпоху в последнее тысячелетие чётко выявляется ~200-летняя климатическая периодичность, которая хорошо коррелирует с развитием солнечного цикла Зюсса-де Фриза. Поскольку 250 млн лет назад конфигурация континентов была совершенно иной, чем сейчас, то проявление в палеоклиматических данных 200-летней периодичности также можно рассматривать как результат внешнего воздействия на климатическую систему со стороны солнечной активности.

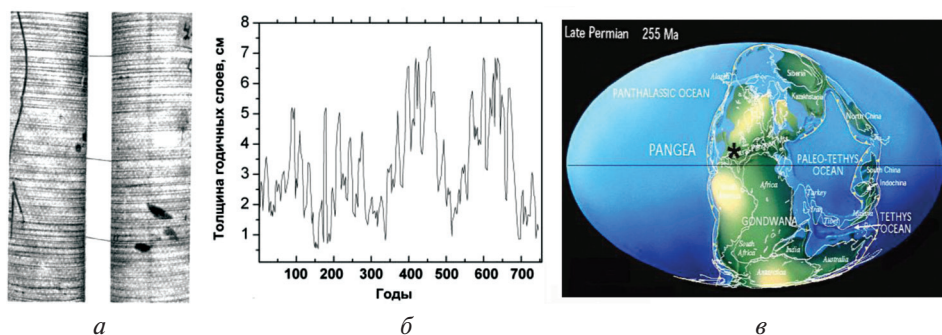


Рис. 1. Вид кернов ленточных глин, имеющих возраст около 250 млн лет (а); вариации годовичных толщин ленточных глин за 800-летний временной интервал (б); местоположение континентов около 250 млн лет назад, звёздочкой отмечено место отбора кернов (в)

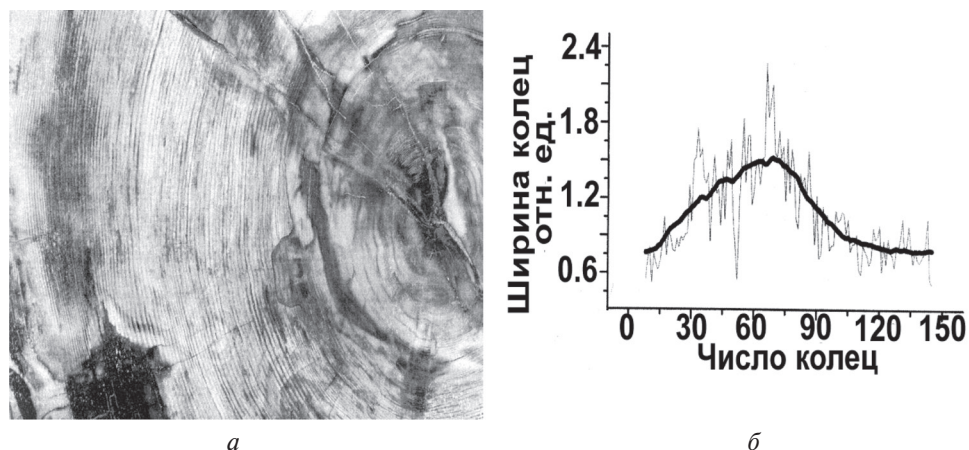


Рис. 2. Срез окаменевшей ели Дугласа, имеющей возраст около 12 млн лет (а); вариации ширины колец ели (б)

На рис. 2 приведена радиальная структура окаменевшей ели Дугласа, произраставшей 12 млн лет назад на северо-западе США, и показана кривая изменения ширины колец дерева. Эта кривая имеет необычную особенность в радиальном приросте дерева. Обычно ширина колец уменьшается с возрастом. Но в рассматриваемом случае в течение почти 50 лет происходило нарастание ширины колец, что вероятно связано с климатическим воздействием квазивекового солнечного цикла.

Палеоклиматические данные

| № образца | Вид данных | Возраст данных [млн лет] | Место сбора данных | Выявленные периодичности [годы] |
|-----------|--|--------------------------|--|---------------------------------|
| 1 | Ленточные глины | 250 | Permian Castle Formation, Техас, США | 180, 85, 36, 18 |
| 2 | Окаменевшее хвойное дерево | 200 | Штат Grande do Sol, южная Бразилия, 29° S, 54° W | 30, 20–24, 10–12 |
| 3 | Окаменевшее хвойное дерево | 150–140 | Земля короля Карла в арх. Шпицберген, 58° N, 28° E | 22 |
| 4 | Окаменевший кипарис | 70–68 | Провинция Альберта, Канада, 53° N, 114° W | 200, 100–120, 60, 30, 20–22 |
| 5 | Окаменевшее хвойное дерево | 45 | Район Орегон/Невада, США, 42° N, 118° W | 110–120, 60, 30, 20, 17–18 |
| 6 | Окаменевшее хвойное дерево | 15–20 | Силезия, Германия | 220, 150, 50, 17, 12,5 |
| 7 | Окаменевшее хвойное дерево | 12 | Штат Вашингтон, США, 47° N, 120° W | 110–120, 31–34, 17, 9–12 |
| 8 | Ленточные глины | 10,5 | Paleo-Lake Pannomon, Австрия, 48° N, 16° E | 200, 60–120 |
| 9 | Ленточные глины и погребённое в них дерево | 5–7 | Штат Теннесси, США, Grey Fossil Site | 24, 12 |

Приведём палеоклиматические данные, использованные нами для выявления и анализа присутствующих в них периодичностей (см. таблицу). В таблице указаны вид данных, место их сбора, возраст данных и выявленные в них периодичности в результате использования различных методов спектрального и вейвлет-анализа.

Результаты выявления периодичностей в палеоклиматических данных высокого временного разрешения, которые приведены в таблице, свидетельствуют, что спектр палеоклиматических вариаций представляет собой набор частот, которые могут быть отождествлены с периодичностями солнечной активности, а также периодичностью Брюкнера (около 30 лет) и лунной периодичностью Сороса (17–18 лет). Напомним, что период солнечных цикличностей не остаётся постоянным во времени и может меняться в достаточно широких пределах. Таким образом, периодичность в 180 лет — образец 1 (250 млн лет), в 200 лет — образец 4 (70–68 млн лет), в 220 лет — образец 6 (15–20 млн лет) можно отождествить с воздействием ~200-летнего цикла Зюсса-де Фриза (Suass-de Vries). В образцах 4, 5, 7 и 8 прослеживаются периодичности в 100, 110, 120 и 60 лет, которые могут быть отражением воздействия на климат векового солнечного цикла Глайсберга (Gleissberg). Солнечный цикл Хейла (Hale) находит своё отражение в образцах 2, 3, 4, 5 и 9, а цикл Швабе (Schwabe) — в образцах 2, 3, 6, 7 и 9.

Таким образом, проявление периодичностей, соответствующих всем основным циклам солнечной активности, прослеживается во всём рассмотренном временном интервале от 250 до 5–7 млн лет вне зависимости от изменения конфигурации континентов в этом интервале. Кроме того, в ряде образцов нашли своё отражение периодичность Брюкнера (образцы 2, 4, 5, 7) и лунный цикл Сороса (образцы 1, 5, 7 и 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые для временного интервала от 250 до 5–7 млн лет проведён анализ палеоклиматических данных и обобщены данные литературных источников в отношении наблюдаемых климатических периодичностей в названном временном интервале. Показано, что выявленные периодичности могут быть связаны с воздействием фундаментальных цикличностей солнечной активности, которые находят своё развитие и в настоящее время: циклы Зюсса-де Фриза (Suass-de Vries), Глайсберга (Gleissberg), Хейла (Hale) и Швабе (Schwabe). Таким образом, продемонстрировано, что климатические индикаторы могут дать информацию о цикличности солнечной активности до сотен млн. лет назад.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что наиболее мощным солнечным циклом оказывавшим климатическое воздействие в прошлом является ~200-летний цикл Зюсса-де Фриза (Suass-de Vries).

ЛИТЕРАТУРА

- [Расповов и др., 2009] *Расповов О. М., Дергачев В. А., Козырева О. В., Колстрем Т., Лопатин Е. В., Лукман Б.* География квазидвусотлетней климатической периодичности и долговременные вариации солнечной активности // Изв. РАН. Сер. географич. 2009. № 2. С. 17–27
- [Расповов и др., 2010] *Расповов О. М., Дергачев В. А., Колстрём Т., Юнгнер Х.* Солнечная активность и климатическая вариабельность во временном интервале от 10 до 250 миллионов лет назад // Геомагнетизм и аэрономия. 2010. Т. 50(2). С. 1–12.
- [Raspopov et al., 2004a] *Raspopov O. M., Dergachev V. A., Kolström T.* Hale cyclicity of solar activity and its relation to climate variability // Solar Physics. 2004. V. 224. P. 455–463.
- [Raspopov et al., 2004b] *Raspopov O. M., Dergachev V. A., Kolstrom T.* Periodicity of climate conditions and solar variability derived from dendrochronological and other palaeo climatic data in high latitudes // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2004. V. 208. P. 127–139.
- [Raspopov et al., 2008] *Raspopov O. M., Dergachev V. A., Esper J., Kozyreva O. V., Frank D., Ogurtsov M. G., Kolstrom T., Shao X.* The influence of the de Vries (~200-year) solar cycle on climate variability: Result from the Central Asian Mountains and their global link // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2008. V. 259. P. 6–10.
- [Raspopov et al., 2011] *Raspopov O. M., Dergachev V. A., Ogurtsov M. G., Kolstrom T., Jungner H., Dmitriev P. B.* Variations in climate parameters at time intervals from hundreds to tens of millions of years in the past and its relation to solar activity // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2011. P. 388–399.

INVESTIGATION OF SOLAR ACTIVITY VARIATIONS IN THE PAST — MILLIONS YEARS AGO

О. М. Расповов

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of Russian Academy of Sciences (SPbF IZMIRAN)

For the time interval from 250 to 5–7 million years ago for the first time analyze of paleoclimatic data was conducted. The climatic periodicities in these time interval were summarized from scientific literary sources. It was represented that this periodicity could be connected with fundamental solar activity cycles. Most powerful solar cycle has ~200-years named as Suass-deVries cycle. Experimental data are evidence of the most powerful climatic influence of this cycle.

Keywords: solar activity variations, paleoclimatic data.

Raspopov Oleg Mikhailovich — chief scientist, doctor of physical and mathematical sciences, professor