

АРХЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ



Серия «Геоархеология. Этнология. Антропология»

2014. Т. 8. С. 2–14

Онлайн-доступ к журналу:

<http://isu.ru/izvestia>

ИЗВЕСТИЯ

Иркутского
государственного
университета

УДК 551.8:551.5

Малый ледниковый период.

Часть 1. Космические и глобальные метеорологические аспекты*

К. Г. Леви

Институт земной коры СО РАН

Аннотация. Причины возникновения Малого ледникового периода все еще остаются научной загадкой. Многие предположения, высказанные по этому поводу, не выстраиваются в единую простую и логичную линию. Поэтому ниже мы остановимся на ряде факторов, которые, несомненно, послужили спусковым крючком для возникновения этого неординарного природно-климатического явления. Однако и, вероятно, это так, подобные «срывы» происходили в прошлом и, более того, повторялись циклично. Это заключение базируется на установленных астрофизических и гидрометеорологических фактах, на которых мы остановимся ниже.

Ключевые слова: космические лучи, солнечная активность и ее производные, плотность облачного покрова, стерические колебания уровня Мирового океана, Малый ледниковый период.

Введение

Под Малым ледниковым периодом (МЛП) обычно понимают интервал времени, начавшийся в начале – середине XIV в. и закончившийся в середине XIX в. Его возникновению предшествовал период Средневекового потепления длительностью около 150 лет, хотя представляется, что он был существенно дольше. В течение МЛП выделяют три фазы: первая восходит к 1300–1440 гг. и была холодной, дождливой и неурожайной; вторая отмечалась в 1440–1600 гг. и характеризовалась относительным потеплением и, наконец, третья длилась с 1640 по 1840 г. и отличалась значительными холодами (рис. 1).

Однако указанные даты и продолжительности фаз не являются жестко привязанными к временной шкале. Исторические хроники, являющиеся свидетельствами происходивших природно-социальных событий, датированы неточно, но позволяют получить примерный портрет эпохи МЛП. Некоторые исследователи склонны связывать это длительное похолодание с вариациями солнечной активности, замедлением скорости океанского струйного течения Гольфстрим и другими причинами. Попробуем выстроить имеющиеся факты по иерархическому принципу «от большего к малому».

* Работа выполнена в рамках проекта СО РАН VIII.69.1 «Факторы, определяющие изменение среды и климата Центральной Азии в кайнозое».

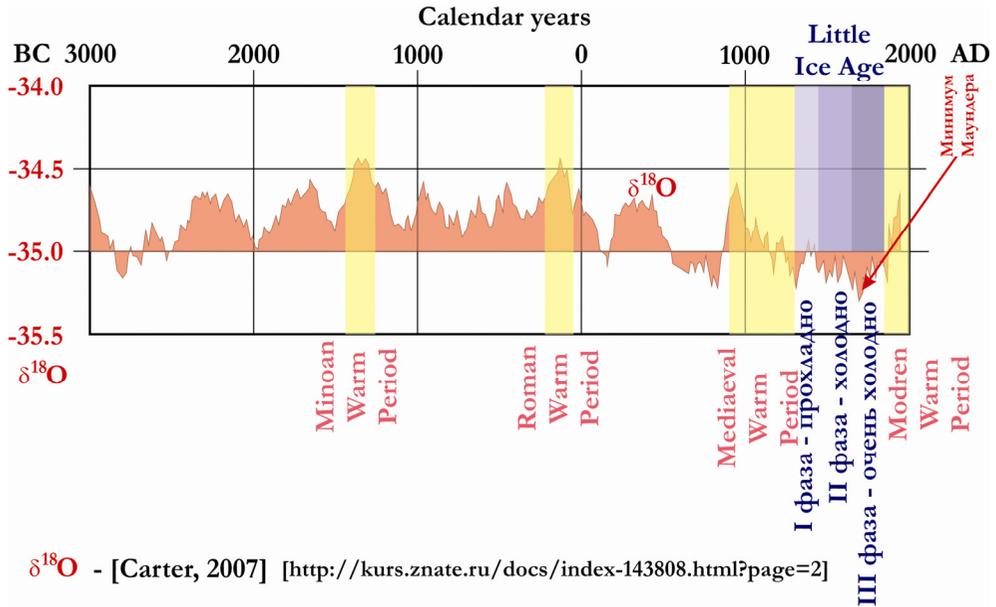


Рис. 1. Главные периоды потеплений в течение 5 тыс. лет и внутренняя структура Малого ледникового периода

Космические галактические и солнечные лучи

Изначальные причины возникновения Малого ледникового периода, на наш взгляд, следует искать в космическом влиянии на Землю. В данном случае следует обратиться к мыслям, высказанным Х. Свенмарком и Н. Колдером в книге «Леденящие звезды. Новая теория глобальных изменений климата» [Свенмарк, Колдер, 2011]. Приведем выдержки из этой публикации по существу вопроса – роли космических лучей в контроле долговременных климатических изменений: «Заряженные частицы вылетают из взорвавшихся звезд, словно атомные пули, и, пробивая земную атмосферу, оставляют на пути карточки в доказательство своего молниеносного визита. Эти визитки – редкие изотопы, получающиеся в результате ядерных реакций в верхних слоях атмосферы. В реакциях с азотом, входящим в состав воздуха, образуется радиоактивный углерод, или углерод-14...», что, правда, давно было известно (рис. 2).

Далее происходит следующее: «...физики убедились в том, что Солнце, как главный страж, охраняющий Землю от космических лучей, (в прошлом) тоже вело себя по-разному. Солнечное магнитное поле отражает большую часть галактического излучения до того, как оно проникнет в окружающее нас пространство. Колебания радиоактивного углерода...» свидетельствуют о переменах «...в солнечном настроении...» [Там же]. Но и это, признаться, было давно известно. Отметим, что совместные вариации интенсивности потока галактических лучей и солнечной активности находятся в противофазе [Обридко, 2011], что иллюстрирует рис. 3.

Отсюда следует, что низкая скорость образования ^{14}C свидетельствует о высокой активности Солнца и напряженности межпланетного магнитного поля (рис. 4).

Когда Солнце находится в минимуме своей активности, большее количество заряженных частиц проникает в земную атмосферу и концентрация радиоактивного углерода и других космогенных изотопов возрастает (рис. 5). В исторических хрониках сохранились сведения о полярных сияниях в низких широтах Северного и Южного полушарий как ответе на мощные вспышки на Солнце.

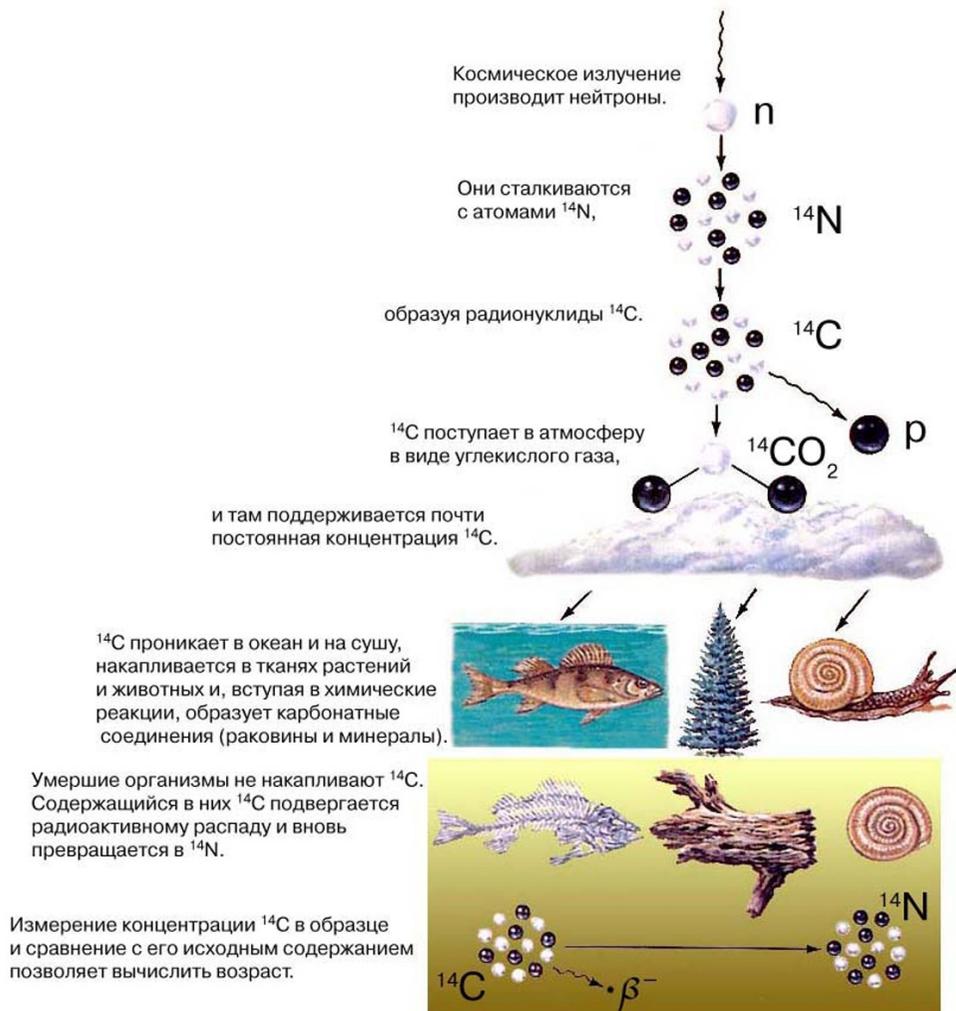


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая образование радиоуглерода при воздействии космических лучей на атмосферу Земли и его захоронение в органических остатках [Радиоуглеродное датирование ... , 2000]

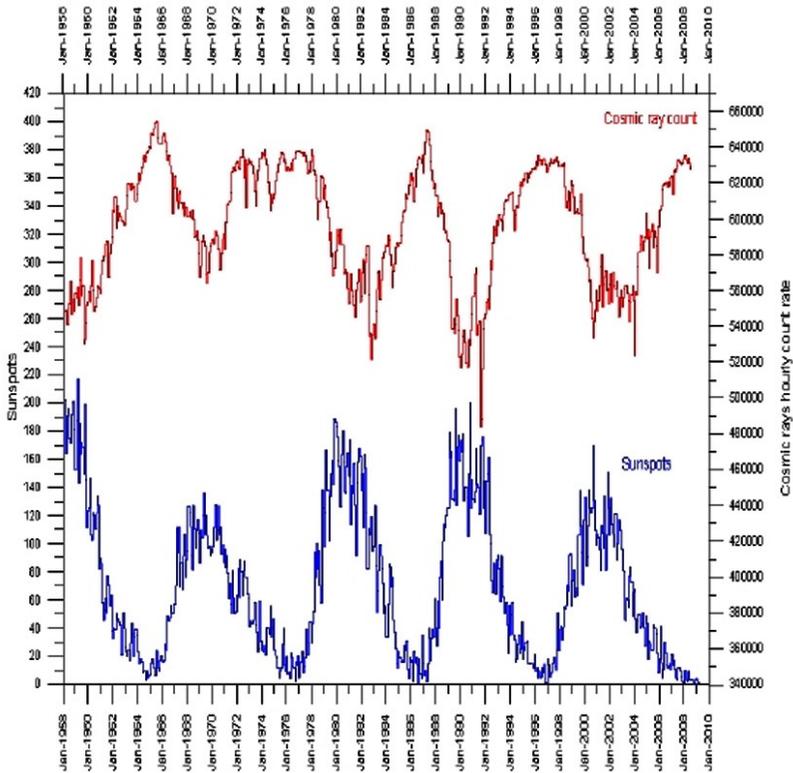


Рис. 3. Соотношение интенсивности потока космических лучей (красная кривая) и солнечной активности в числе Вольфа во времени. Интервал 1958–2010 гг. [Обридко, 2011]

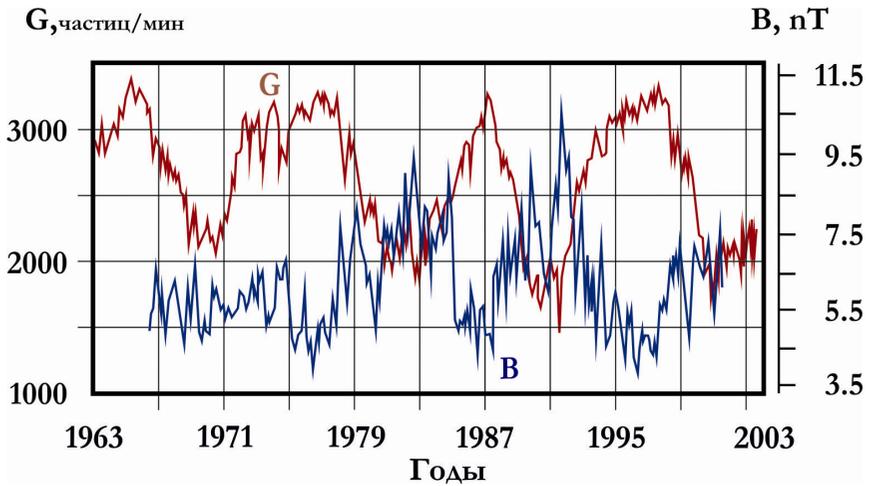


Рис. 4. Совместные вариации интенсивности потока космических галактических лучей G и напряженности межпланетного магнитного поля на орбите Земли B [Кокоуров]

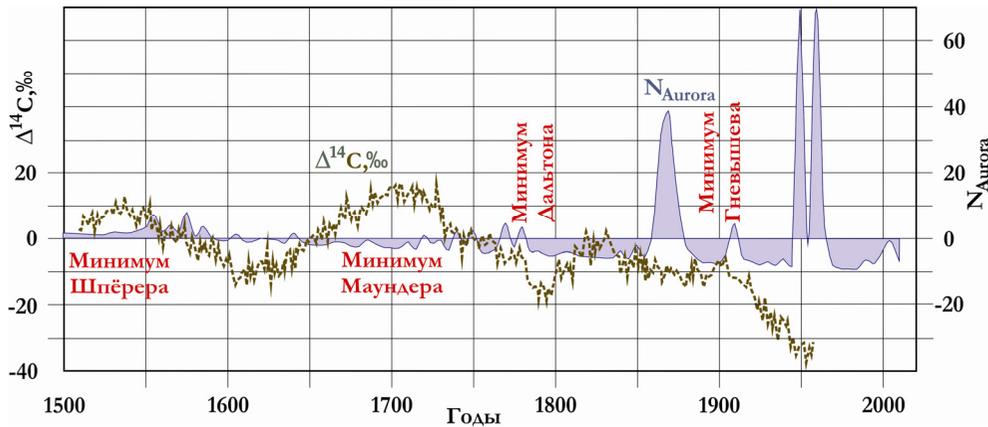


Рис. 5. Вариации содержания ^{14}C , % в атмосфере по кольцам деревьев за последние 400 лет. Хорошо видны эффекты солнечной модуляции, особенно проявления глобальных солнечных минимумов [Левченко, 2001]. Для сопоставления приведена нормализованная кривая числа исторических сообщений о наблюдавшихся полярных сияниях [Гелиогеодинамика ... , 2012]

Кроме того, в периоды активного Солнца возрастает число магнитных бурь, которые, собственно, и ответственны за полярные сияния (рис. 6).

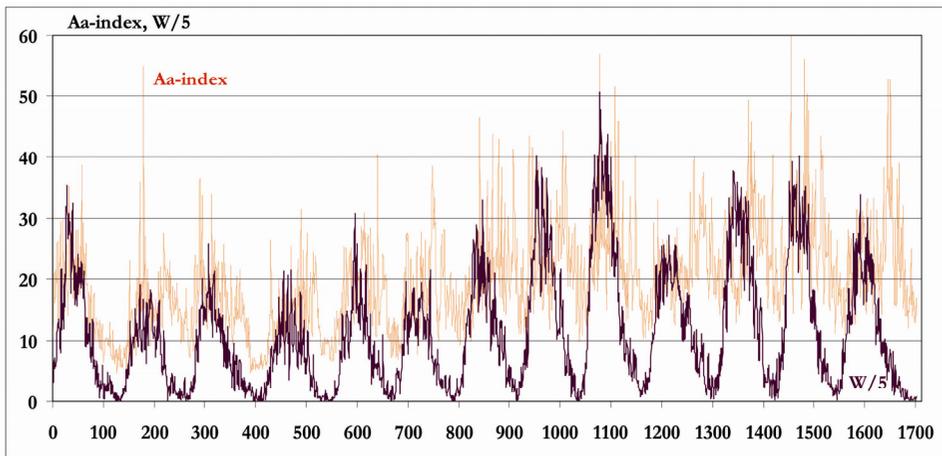


Рис. 6. Совместные вариации Aa-индекса магнитных бурь [исходные данные – Константиновская, 2011] и солнечной активности в числах Вольфа [Параметры солнечной активности ...] (W/5 – числа Вольфа для наглядности уменьшены в 5 раз)

Таким образом, наблюдается «...связь между спокойным Солнцем, дефицитом космических лучей и зафиксированным в истории разрастанием ледников, сунувших свои холодные рыла вниз, в долины. Продвижение ледников особенно было заметно в XVII–XVIII вв., когда случился самый холодный эпизод малого ледникового периода...» [Svensmark, Calder, 2007]. Отсюда следует, что известные гранд-минимумы Оорта, Вольфа, Шпёрера,

Маундера, Дальтона и Гневышева ответственны за самые холодные промежутки времени на протяжении II тыс. н. э.

Проанализировав взаимодействие космических лучей с атмосферой Земли, Х. Свенсмарк и Н. Колдер высказали мысль, что космические лучи напрямую участвуют в преобразованиях климата и регулируют состояние облачного покрова планеты, увеличение плотности которого неминуемо ведет к похолоданиям. Рисунок 7 иллюстрирует это фундаментальное заключение.

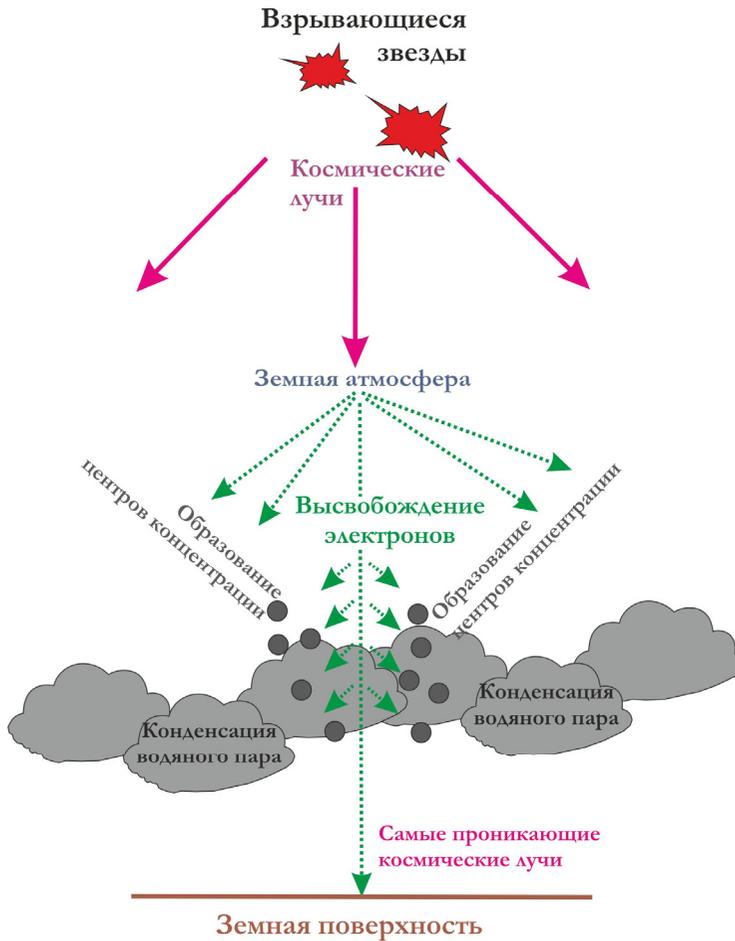


Рис. 7. Космические лучи и изменение плотности облачного покрова в атмосфере Земли [Свенсмарк, Колдер, 2011]

Космические лучи, проникая в атмосферу Земли, взаимодействуют с молекулами воздуха. Это явление именуют «airshower» (рис. 8, а), в котором рождаются новые элементарные частицы (рис. 8, б): здесь красная линия – поток галактических лучей, зеленые линии – поток протонов, оранжевые – нейтроны, желтые – пионы, фиолетовые – мюоны, голубые – фотоны, розовые – электроны и позитроны.

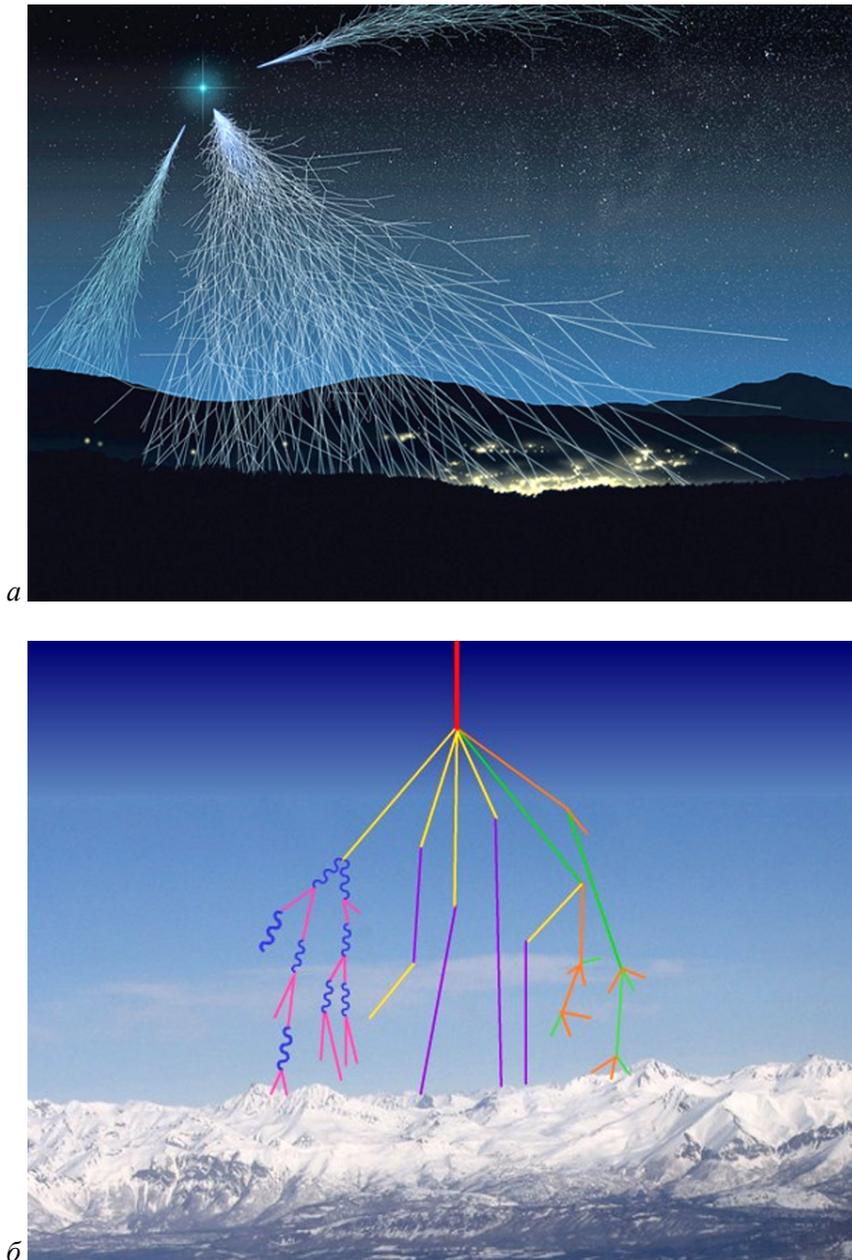


Рис. 8. Космические лучи – «airshower» [Космические лучи – «airshower» ...]

Таким образом, количество рождающихся элементарных частиц прямо зависит от интенсивности потока космических лучей. Отсюда, используя каталог изменения интенсивности потока нейтронов [Солнечно-земные связи ...], мы можем косвенно судить об относительной интенсивности космических лучей.

Сопоставим кривые (рис. 9, *a*, *б*), характеризующие интенсивность потока нейтронов на станции в Оулу, Финляндия, и станции в Москве с кривой, характеризующей помесичные вариации солнечной активности в числах Вольфа. Черные кривые на графиках – сглаженные 12-месячным окном исходные данные.

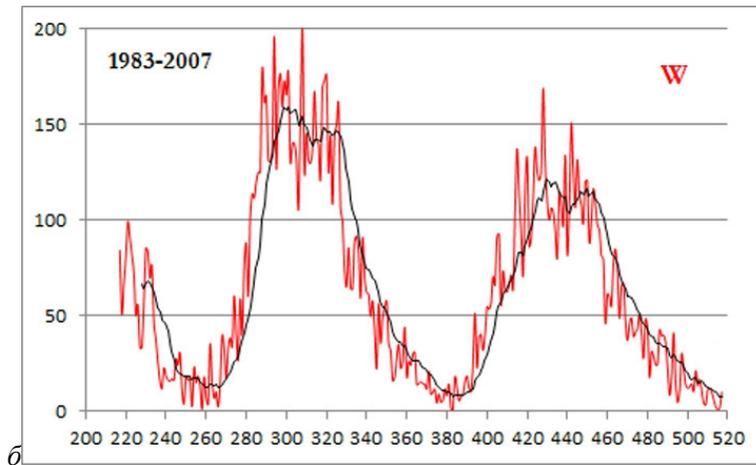
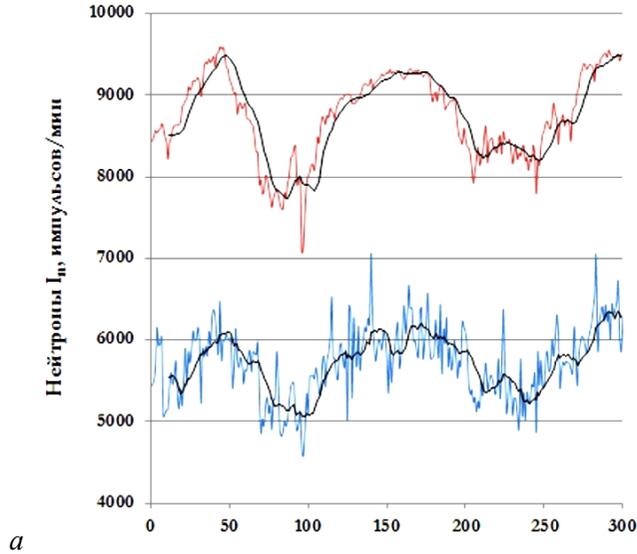


Рис. 9. Сопоставление интенсивности потока нейтронов и солнечной активности в период 1983–2008 гг.: *a* – кривая вариаций интенсивности потока нейтронов I_n , *б* – кривая вариаций солнечной активности в числах Вольфа W . Отчетливо видна обратная корреляция, подтверждающая заключение Х. Свенмарка и его коллег. Интенсивность потока нейтронов ослабевает в периоды высокой солнечной активности

Из сравнения этих кривых следует, что параметры находятся в противофазе, а это в свою очередь говорит о частичном блокировании потока космических (галактических) лучей рядом характеристик солнечной активности.

Взаимодействие частиц космических лучей с ядрами атомов земной атмосферы приводит к генерации в ней нейтронов, а последние, как говорилось выше, способствуют реализации реакции $^{14}\text{N} \rightarrow (\text{n}, \text{p}) \rightarrow ^{14}\text{C}$, приводящей к накоплению в атмосфере радиоактивного изотопа углерода ^{14}C , откуда он поступает в живые организмы. Следовательно, увеличение интенсивности потока космических лучей должно приводить к увеличению интенсивности потока нейтронов, что мы и наблюдаем на рис. 9.

Рассмотрим взаимоотношения между интенсивностью потока нейтронов как производных частиц потока космических лучей и относительной плотностью облаков нижнего (высота 2–3 км) яруса в тропосфере. Для этого воспользуемся материалами каталогов интенсивности потока нейтронов I_n , импульсов/мин, и изменений относительной плотности облаков $N_{cloud}\%$, помещенными на сайте «Лаборатория метеотехнологий» [Солнечно-земные связи ...]. Графики (рис. 10, а, б, в) изменения параметров во времени построены с месячным разрешением и сглажены 12-месячным окном.

Памятуя о том, что вариации интенсивности потока космических лучей и вариации солнечной активности находятся в противофазном соотношении, мы сравним конкретно плотность облачного покрова нижнего яруса (высота до 2–3 км) и значения солнечной активности.

На сайте «Лаборатория метеотехнологий» приводится кривая зависимости относительного количества облаков нижнего яруса N_{cloud} от относительного потока космических лучей KL [Там же] (рис. 11). Эта зависимость описывается уравнением:

$$N_{cloud} = 0,15 KL + 0,08, \quad (1)$$

при $n = 21$ и $r = 0,79$.

Увеличение плотности облачного покрова приводит к снижению инсоляции поверхности Земли и, соответственно, к понижению температуры воздуха – похолоданию. В то же время понижение глобальной температуры $\Delta T_{GL}^{\circ}\text{C}$ ведет к понижению стерического уровня Мирового океана (стерический уровень Мирового океана определяется разностью в плотности океанических вод, которая зависит от разности их температуры и солености). Это наглядно показывает график на рис. 12.

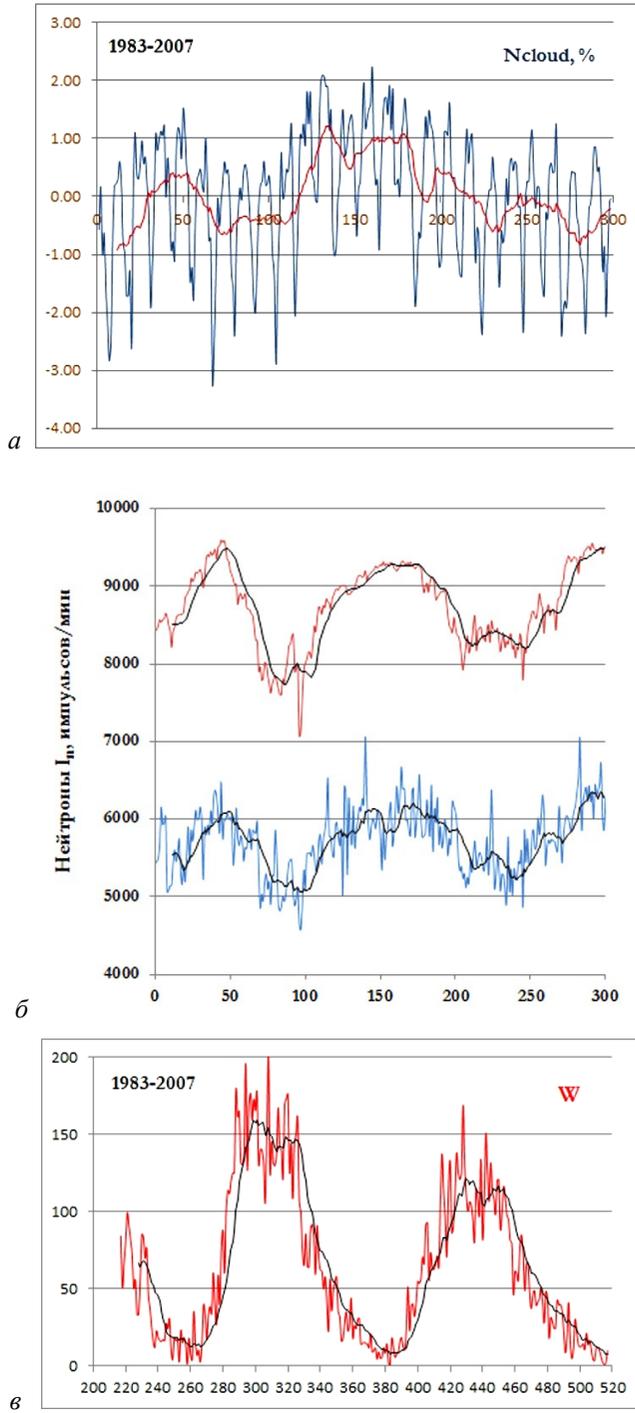


Рис. 10. Сопоставление изменения по месяцам нормализованного относительного количества облаков в нижнем ярусе N_{cloud} , % (а), вариаций

интенсивности потока нейтронов I_n (δ) и солнечной активности в числе Вольфа W (ϵ) (черные кривые – исходные данные сглаженные 12-месячным окном)

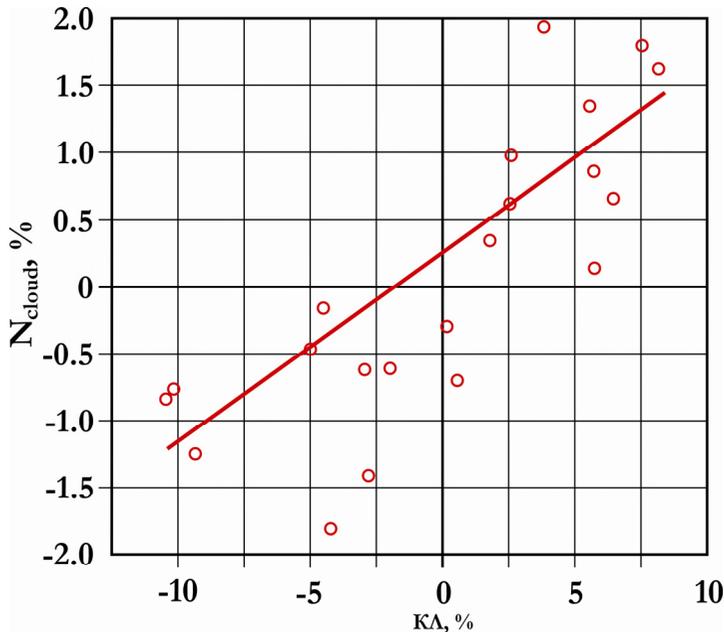


Рис. 11. Зависимость относительного количества облаков нижнего яруса N_{clouds} , % и относительного потока космических лучей $КЛ$, % [Солнечно-земные связи ...]

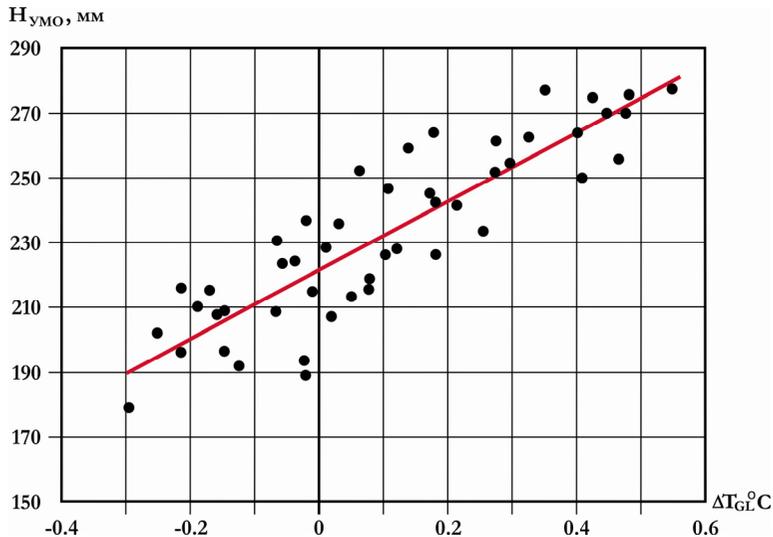


Рис. 12. Зависимость межгодовых колебаний стерического уровня Мирового океана $H_{УМО}$, мм, от аномалий глобальной температуры ΔT_{GL} , °C за 1960–2008 гг. [Малинин, 2008а, б].
Параметры выборки: $n = 48$, $r = 0,87$.

Заключение

Таким образом, мы можем сделать первый вывод: периодичность природно-климатических изменений обусловлена совместными вариациями интенсивности потока космических лучей и солнечной активности. Индикатором подобных вариаций являются временные колебания концентрации ^{14}C в органических остатках, что расширяет наши возможности реконструкции солнечной активности до, примерно, 30–35 тыс. лет. Становится ясным, что Малый ледниковый период характеризовался относительно холодными, но не запредельно, зимними и летними периодами с высокой влажностью и обильными осадками. Параллельно происходили стерические колебания уровня Мирового океана, главным образом с отрицательным трендом, что способствовало относительному увеличению площади суши и еще большему похолоданию. Другие аспекты данного периода мы рассмотрим во второй части исследования «Малый ледниковый период. Гелиофизические и природно-климатические аспекты».

Список литературы

Гелиогеодинамика: Природные аспекты глобальных солнечных минимумов / К. Г. Леви, Н. В. Задонина, С. А. Язев, В. И. Воронин, М. М. Наурызбаев, Р. М. Хантемиров. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2012. – Т. 1, кн. 1. – 511 с.

Кокоуров В. Д. Многолетние изменения в системе Солнце – Земля [Электронный ресурс] / В. Д. Кокоуров // Солнечно-земная физика. – URL: <http://www.kosmofizika.ru/irkutsk/kok/TMP183.htm>.

Константиновская Л. В. Солнечная активность (таблицы Геомагнитная активность (магнитные бури), вариации Аа-индекса с 1868 по 2006 гг.) [Электронный ресурс] / Л. В. Константиновская. – 2011. – URL: <http://www.astronom2000.info/%D1%81%D1%81%D1%8B%D0%BB%D0%BA%D0%B8/>.

Космические лучи – «airshower» [Электронный ресурс] // WindowstotheUniverse. – URL: http://www.windows2universe.org/physical_science/physics/atom_particle/cosmic_ray_spallation_big_jpg_image.html.

Левченко В. Радиоуглерод и абсолютная хронология: записки на тему [Электронный ресурс] / В. Левченко // МГУ им. Ломоносова, Группа квантовых и прецизионных измерения. – 2001. – URL: <http://hbar.phys.msu.ru/gorm/dating/wally-1.htm>.

Малинин В. Н. Современное состояние проблемы колебаний уровня Мирового океана (презентация) [Электронный ресурс] / В. Н. Малинин. – URL: <http://www.myshared.ru/slide/692849>.

Малинин В. Н. Сюрпризы изменений глобального климата и Финский залив [Электронный ресурс] / В. Н. Малинин. – URL: <http://www.myshared.ru/slide/365079>.

Метастазы Мексиканского залива. Часть 14-9 [Электронный ресурс] // Переводика. – URL: <http://perevodika.ru/articles/23756.html>.

Обридко В. Н. Некоторые замечания по проблеме «глобального потепления» [Электронный ресурс] // Полит. образование. – 2011. – URL: <http://www.lawinrussia.ru/blogs/vladimir-obridko/2011/04/20/nekotorye-zamechaniya-po-probleme-globalnogo-potepleniya>.

Параметры солнечной активности [Электронный ресурс] // SILSO. – URL: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.

Радиоуглеродное датирование [Электронный ресурс] / Академик. Энциклопедия Кольера. – 2000. – URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_colier/2818/...95.

Солнечно-земные связи [Электронный ресурс] // Лаборатория метеотехнологий. – URL: <http://www.meteolab.ru/projects/sun/>.

Свенсмарк Х. Леденящие звезды. Новая теория глобальных изменений климата / Х. Свенсмарк, Н. Колдер. – М. : Ломоносовъ, 2011. – 288 с.

Total sunspot number [Электронный ресурс] // SILSO. – URL: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.

Little Glacial Age.

Part 1. Space and Global Meteorological Aspects

K. G. Levi

Abstract. The reasons of the Little Ice Age are still a scientific mystery. Many of the assumptions that were made about it, do not line up in a single simple and logical line. Therefore, we will focus on a number of factors, which undoubtedly served as a trigger for the emergence of this extraordinary natural and climatic phenomenon. However, such "failures" occurred in the past and, moreover, repeated cyclically. This conclusion is based on the astrophysical and meteorological facts. Frequency of natural climatic changes is due to the joint variations in the intensity of the flow of cosmic rays and solar activity. Indicator of such variations is temporary fluctuations in the concentration of ^{14}C in the organic remains that enhances our ability reconstruction of solar activity to 30–35 thousand years. The Little Ice Age was characterized by relatively cold winter and summer periods of high humidity and abundant rainfall. In parallel there is steric fluctuations in global sea level, mainly due to the negative trend, it contributed to a relative increase in land area and further cooling.

Keywords: the Little Ice Age, cosmic rays, solar activity, density of the cloud cover, steric fluctuations of World ocean level.

Леви Кирилл Георгиевич

доктор геолого-минералогических наук,
профессор

зам. директора по научной работе

Институт земной коры СО РАН

664033, Россия, г. Иркутск,

ул. Лермонтова, 128

e-mail: levi@crust.irk.ru

Levi Kirill Georgievich

Doctor of Sciences (Geology and
Mineralogy), Professor,

Deputy Director for Science

Institute of the Earth's Crust SB RAS

128, Lermontov st., Irkutsk, Russia, 664033

e-mail: levi@crust.irk.ru