

# Космогенные радионуклиды $^{14}\text{C}$ и $^{10}\text{Be}$ : солнечная активность и климат

В.А.Дергачев

*Физико-технический институт им.А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Росси*

Космогенные радионуклиды  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$  образуются в земной атмосфере в каскадах ядерных реакций, вызванных галактическими космическими лучами (ГКЛ), и затем попадают в земные архивы:  $^{14}\text{C}$  в кольца деревьев и кораллы,  $^{10}\text{Be}$  в слои льда и океанические отложения. На скорость образования этих радионуклидов влияют изменения во времени напряженности гелиомагнитного и геомагнитного полей. Для последних нескольких сотен лет (период прямых наблюдений и исторических записей солнечной изменчивости) установлена ясная связь между скоростью образования космогенных изотопов и солнечной активностью (СА): минимумы СА соответствуют максимумам образования  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$ , и наоборот. Экспериментально установленная связь между изменениями солнечного излучения и числа солнечных пятен и изменением потока ГКЛ позволяет использовать космогенные нуклиды для восстановления в прошлом как СА, так и интенсивности ГКЛ. Однако при этом необходимо учитывать и другие процессы, которые влияют на космогенные нуклиды. На концентрацию  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$  до их попадания в земные архивы могут влиять связанные с изменением климата процессы переноса этих нуклидов, главным образом, в стратосфере и тропосфере и последующее сохранение информации архивами. Эти процессы делают более сложной интерпретацию измеренных концентраций космогенных нуклидов в природных архивах. Для восстановления изменений интенсивности ГКЛ необходимо осуществить переход от измеренных концентраций космогенных нуклидов к их скорости образования. Проанализированы проблемы, связанные с идентификацией и разделением процессов, влияющих на концентрации  $^{14}\text{C}$  в кольцах деревьев и  $^{10}\text{Be}$  в слоях льда, что особенно важно при восстановлении изменений интенсивности ГКЛ и СА. Современный уровень понимания этой проблемы позволил провести высококачественное восстановление СА для прошедшего тысячелетия. Приведены доказательства, что имеющиеся данные по космогенным нуклидам  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$  хорошо согласуются на временной шкале последних 10 тысяч лет и позволяют получать достоверные оценки прошлой СА. Показано, что требуется учёт климатического влияния на концентрацию  $^{10}\text{Be}$  в природных архивах на тысячелетних шкалах в зависимости от места отбора образцов. Кроме того, геомагнитное влияние на концентрацию  $^{10}\text{Be}$  также по-разному зависит от геомагнитной широты и отличается от его влияния на концентрацию  $^{14}\text{C}$ . В целом, безотносительно главных неопределенностей, космогенные радионуклиды  $^{14}\text{C}$  и  $^{10}\text{Be}$  показывают все важнейшие изменения СА в прошлом.

Работа выполнена при поддержке Президиума РАН (Программа «Изменение окружающей среды и климата»), РФФИ (проекты 06-04-48792а, 06-02-16268а, 06-04-64200а) и Президиума Санкт-Петербургского научного центра РАН.