

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАНЫХ СКВАЖИННОЙ ТЕРМОМЕТРИИ*

Д. Ю. ДЕМЕЖКО

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Разработана методика, позволяющая по данным термометрии скважин реконструировать температурную историю поверхности Земли. Получены реконструкции температурной истории Северного и Среднего Урала, охватывающие период от 800–1400 гг. н. э. до наших дней.

Прогнозирование грядущих климатических изменений, как и оценка антропогенного вклада в формирование климата, невозможны без достоверных данных об изменчивости климата в прошлом. Известен целый ряд косвенных методов реконструкции палеоклимата, использующих корреляционные связи между температурой воздуха и измеряемым параметром (индексом годового прироста растений, содержанием различных изотопов в ледяном керне, споропыльцевым составом торфяников и др.). К прямым методам относятся непосредственные метеонаблюдения, длительность которых, за редким исключением, не превышает столетия, и метод реконструкции температурной истории поверхности Земли, основанный на исследовании современного распределения температур горных пород, вскрытых буровыми скважинами. В последнем используется известное явление [2, 6]: вариации температуры поверхности Земли приводят к искажению стационарного распределения температур горных пород. Глубина проникновения температурной аномалии определяется длительностью и амплитудой колебаний температуры поверхности. Сезонные колебания не проникают ниже 20–30 м, температурные изменения векового масштаба искажают стационарное поле температур на глубинах в первые сотни метров, а влияние потепления в начале голоцена (около 12 тыс. лет назад) иногда прослеживается до глубины 1.7 км [1]. Математическая формулировка задачи восстановления температурной истории поверхности по данным термометрии скважин впервые была дана в статье [4]. Методике интерпретации посвящены работы [5, 9]. Общепринятый подход состоит в решении нестационарной задачи кондуктивного теплопереноса для полубесконечного массива горных пород, однородного по теплофизическим свойствам (тепло- и температуропроводности). В качестве начального условия принимается стационарное распределение температур (линейная зависимость от глубины), в качестве граничного — некоторое семейство функций, аппроксимирующих реальную температурную историю поверхности. В Институте геофизики УрО РАН разработана методика палеоклиматической интерпретации данных термометрии и проведена реконструкция температурной истории поверхности для Северного (район г. Ивделя) и Среднего (район г. Кушвы) Урала. Были использованы термограммы, полученные сотрудником института В. А. Щаповым в 1984–94 гг. в рамках программы по исследованию тепловых потоков Урала. Предварительно термограммы исследовались с

* © Д. Ю. Демежко, 1997.

точки зрения соответствия температурного режима принятой модели кондуктивного теплопереноса в однородной среде. Отбраковывались термограммы, записанные в скважинах с явно выраженной фильтрацией и перетоками подземных вод, — для этого привлекались данные гелиевого опробования. Постоянные концентрации растворенного в воде гелия свидетельствуют об отсутствии фильтрационных процессов [10]. Также отбраковывались термограммы, отражающие неоднородность горных пород по теплопроводности. На каждой из оставленных термограмм выделялся интервал глубин, соответствующий стационарному распределению температур. График температур здесь аппроксимировался линейной зависимостью, и определялись геотермический градиент и начальная температура поверхности. Температурная история представлялась ступенчатой функцией, состоящей из серии мгновенных изменений температуры поверхности, в интервалах между которыми температура сохранялась постоянной. Амплитуды скачков предполагались неизвестными, а границы интервалов устанавливались произвольно в исследуемом диапазоне времен. Наблюденная термограмма подбиралась путем варьирования амплитуд скачков, невязка рассчитывалась в метрике (L2). Количество интервалов аппроксимации температурной истории определялось экспериментально. Как правило, 10–15 интервалов обеспечивали погрешность подбора термограммы, сопоставимую с погрешностью измерений (0.01–0.03 К). Произвольная установка границ интервалов обеспечивала устойчивость подбора и позволяла получать семейство эквивалентных историй, с равной точностью удовлетворяющих измеренной термограмме, и определять наиболее вероятную температурную историю (рис. 1). Коэффициент температуропроводности во всех случаях принимался равным 0.01 см·см/с.

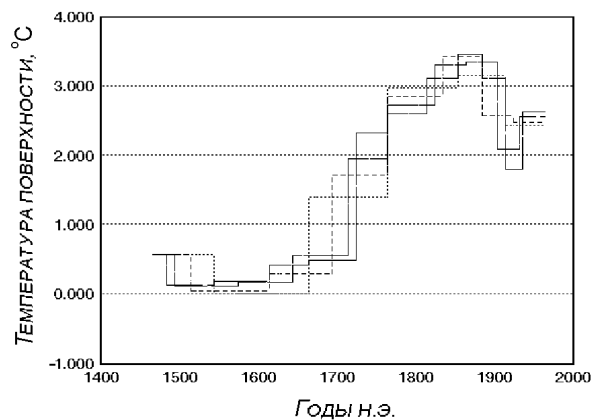


Рис. 1. Семейство эквивалентных температурных историй поверхности.

Реконструкции температурных историй приведены на рис. 2. На рис. 3 наиболее длительная из историй (для района г. Кушвы) сопоставляется с некоторыми известными по литературным источникам реконструкциями температуры воздуха и почвы для Европы.

В период с 800 г. н.э. до наших дней отмечается несколько климатических событий, достоверность которых подтверждается как хорошей воспроизводимостью на большинстве реконструкций, так и независимыми данными. Теплый период 800–1400 гг., реконструированный по термограмме скважины ku667, известен как Второй Климатический Оптимум, или Средневековый Теплый Период (Medieval Warm Period). Существуют многочисленные исторические и дендрохронологические свидетельства тому, что в это время наблюдались максимумы потепления в Гренландии (VIII–X вв.), Исландии (XI–XIII вв.), Англии (XII–XIV вв.), Северной Патагонии (1080–1250 гг.), Китае (XIII в.) [3, 11]. По дан-

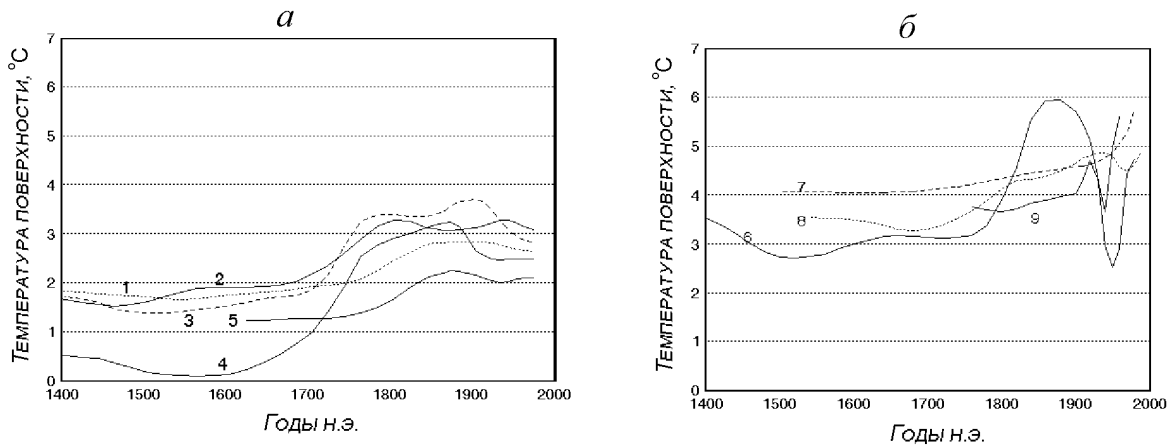


Рис. 2. Реконструкции температурных историй поверхности для Северного Урала (а) и Среднего Урала (б).

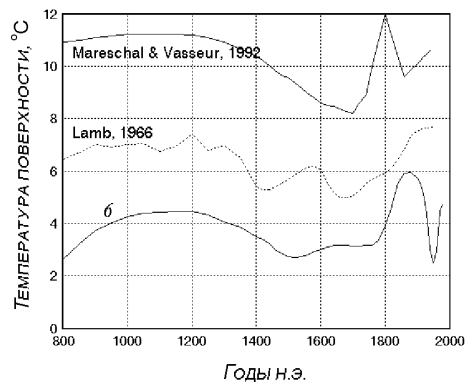


Рис. 3. Сопоставление реконструкции (б) с температурой поверхности в Центральной Франции (Mareschal & Vasseur [8]), реконструированной по данным геотермии, и с относительными изменениями температуры воздуха в Восточной Европе (Lamb [7]), реконструированными по историческим хроникам.

ным термометрии скважин, это потепление реконструировано в Центральной Франции [8] (см. рис. 3). Вместе с тем имеется немало материалов, опровергающих существование глобального потепления в средние века [3]. В отличие от Второго Климатического Оптимума сменившее его похолодание — Малый Ледниковый Период — подтверждается большинством исследователей палеоклимата. На реконструкциях (см. рис. 2) этот период уверенно отмечается в интервале 1400–1800 гг. В то же время имеются различия в хронологии окончания Малого Ледникового Периода и темпах последовавшего затем потепления. Если в районе г. Ивделя потепление закончилось достаточно быстро и уже с начала XVIII в. наступила относительная стабилизация температурного режима поверхности, то на Среднем Урале тенденция потепления прослеживается вплоть до настоящего времени. Однако наибольшие различия между реконструкциями наблюдаются в текущем столетии. Наиболее вероятное объяснение этому — неклиматическая природа колебаний температуры поверхности. На данный период приходится начало интенсивного хозяйственного освоения Урала. Вырубка лесов, строительство зданий и коммуникаций, очевидно, приводили к

изменению условий теплообмена на поверхности. Это в свою очередь вызывало изменения среднегодовой температуры поверхности даже при сохранении неизменной среднегодовой температуры приземного воздуха. Хотя исследование подобных антропогенных изменений имеет самостоятельное научное значение (особенно в районах вечной мерзлоты), при решении палеоклиматических задач они являются помехой, существенно снижающей достоверность геотермического метода. Как правило, температурные изменения неклиматической природы имеют локальное распространение на поверхности. Эволюция во времени температурного поля от таких объектов отличается от эволюции, описываемой моделью палеоклиматических изменений. Наблюдая изменение температур в скважине в течение нескольких лет (с интервалами 5–15 лет), можно разделить естественную палеоклиматическую и антропогенную составляющие температурной истории поверхности.

Дальнейшее развитие геотермического метода реконструкции температурной истории поверхности Земли связано с созданием постоянной сети наблюдений температурного поля в полигонных скважинах, совершенствованием методики интерпретации термограмм и комплексными исследованиями различных данных, несущих информацию о климатах прошлого.

Список литературы

- [1] ALLIS R. G. The effect of Pleistocene climatic variations on the geothermal regime in Ontario: a reassessment. *Can. J. Earth. Sci.*, **15**, 1978, 1875–1879.
- [2] BIRCH F. The effect of Pleistocene climatic variations upon geothermal gradient. *Amer. J. Sci.*, **246:729-760**, 1948, 173–176.
- [3] Climate Change. Подборка статей на тему “*Был ли Средневековый Теплый Период?*”, **26**, №2-3, 1994.
- [4] HOTCHKISS W. O. AND INGERSOL L. R. Post glacial time calculation from recent measurements in the Calumet Copper Mine. *J. Geol.*, **42**, 1934, 113–142.
- [5] LACHENBRUCH A. H. AND MARSHALL B. V. Changing climate: Geothermal evidens from permafrost in the Alaskan Arctic. *Science*, **234**, 1986, 689–696.
- [6] LANE A. C. Geotherms from the Lake Superior copper country. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **34**, 1923, 703–720.
- [7] LAMB H. H. *The Changing Climate: selected Papers*. Methuen, London, 1966.
- [8] MARESCHAL J.-C. AND VASSEUR G. Ground temperature history from two deep boreholes in central France. *Global and Planetary Change*, **6**, 1992, 185–192.
- [9] SHEN P. Y. AND BECK A. E. Determination of Surface Temperature history from borehole temperature gradients. *J. Geophys. Res.*, **88**, 1983, 7485–7493.
- [10] БУЛАШЕВИЧ Ю. П., ЩАПОВ В. А. Новые данные об аномально низком тепловом потоке Тагильского синклиория. *Докл. АН СССР*, **290**, №1, 1986.
- [11] ШИЯТОВ С. Г. *Дендрохронология верхней границы леса на Урале*. Наука, М., 1986.

Поступила в редакцию 29 апреля 1997 г.