

АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КЛИМАТ

УДК 551.324

ЕСТЕСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА В ЗАПАДНОЙ
И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 130 ТЫСЯЧ ЛЕТ*

Дж. Вандерберген

Свободный Университет, факультет наук о Земле, Амстердам, Нидерланды

В проекте „Палеоклимат и циркуляция в Европе“ были собраны все доступные данные** для реконструкции климата на территории Западной и Центральной Европы в течение последнего ледниково-межледникового цикла. Автор следовал нескольким базовым принципам. Во-первых, особое внимание было обращено на влияние океана и континента; во-вторых, по возможности всему давалась количественная оценка; в-третьих, с методической позиции был применен мультидисциплинарный подход. Использовалась палеоэкологическая, палеогидрологическая, седиментологическая и, особенно, перигляциальная информация, т. е. все виды информации, полезные для такого рода реконструкций. Все собранные данные были обработаны и сконцентрированы в „Мультидисциплинарной базе данных для палеогеографических реконструкций“. Было установлено, что в течение теплых и переходных периодов существовал западно-восточный климатический градиент, в то время как в очень холодные периоды была распространена вечная мерзлота, а климатический градиент имел направление север—юг. Климатические условия Северо-Западной и Центральной Европы находились под контролем трех главных природных феноменов: 1) Фенноскандинавского ледникового щита, 2) циркуляции на севере Атлантического океана и 3) свободного от ледникового льда континента.

Палеоклимат, перигляциал, климатические реконструкции, висла, зем

VARIATION IN NATURAL CLIMATE OVER THE PAST 130 KA IN WESTERN AND CENTRAL EUROPE

J. Vanderberghen

*Vrije Universiteit, Faculty of Earth Sciences, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam,
The Netherlands, (e-mail vanj@geo.vu.nl)*

In a project on European Palaeo-Environmental Climate and Circulation (EPECC) a collection was made of all available data for the reconstruction of the climate during the last interglacial-glacial cycle in west and central Europe. Some specific principles govern this reconstruction. At first, special attention was given to the influences of the ocean and the continent. Secondly, the output is as quantitative as possible. Thirdly, from a methodological point of view a multi-proxy approach, using palaeoecological, palaeohydrological, sedimentological and especially periglacial information, has proven to be most appropriate for such reconstructions. The extensive data set is managed and processed by a specially designed 'Multi-Proxy DataBase for Palaeoclimate Reconstruction' (MPDB). It appears that a west-east climate gradient existed during the warm and intermediate periods, while the (very) cold periods with permafrost were characterized by a north to south climate gradient. Climatic conditions in northwest and central Europe were controlled by three major influences, namely 1) the Fennoscandian ice sheet, 2) the circulation of the North Atlantic ocean and 3) the ice-free continent.

Palaeoclimate, periglacial, climate reconstruction, Weichselian, Eemian

В недавнем прошлом палеоклиматические реконструкции часто создавались с использованием недостаточного числа количественных палеоклиматологических данных, полученных путем изучения природных явлений прошлого. Значительный прогресс был достигнут, когда появилась возможность получать численные зна-

чения климатических параметров или, по крайней мере, сделать вероятностное ранжирование температуры, осадков и направления ветров. Специально разработанная по площади информация (в противоположность полученной в точках) обеспечивает данные, необходимые для получения климатических градиентов; она необ-

* Перевод статьи сделан профессором Н.Н. Романовским.

** К сожалению, российские методики и данные оказались для автора недоступными (прим. ред.)

ходима также для понимания и проверки палеоклиматических моделей. С целью получения обоснованных количественных палеоклиматических данных был учрежден проект „Палеоклимат и циркуляция в Европе“. Полученные данные являются результатом палеогеографических исследований природных событий последних 130 тыс. лет; они сконцентрированы по определенным возрастным интервалам, так называемым критическим временным интервалам. Обзор результатов этого проекта был представлен ранее [Vandenberghen et al., 1998].

Детальная реконструкция эволюции климата за последние 130 тыс. лет включает получение значений количественных показателей среднегодовых температур воздуха, средних температур самого холодного и самого теплого месяцев. С большим трудом и меньшей достоверностью были получены также величины количества осадков. Реже удавалось получать данные по направлению ветров.

В рамках настоящего проекта мы концентрировали исследования по трансекте запад—восток, которая протягивалась от областей с океаническими условиями (Ирландия) до регионов с континентальным климатом (Польша). Это создавало предполагаемый региональный палеоклиматический градиент.

МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПРИБЛИЖЕННЫЙ ПОДХОД К РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОКЛИМАТА

Для получения всего спектра климатических параметров прошлого необходимы свидетельства многих палеоиндикаторов, поскольку при использовании одиночного индикатора может быть получено только ограниченное количество климатической информации. Палеоклиматические параметры были получены различными способами, по следам разных природных явлений и по разным отложениям. Изучались эти параметры с использованием палеоэкологических, палеогеографических и седиментологических методов. Применение мультидисциплинарного подхода является решающим для региональных палеоклиматических реконструкций. Для оптимизации и интеграции данных биотических и абиотических свидетельства трансформируются в количественные показатели климата путем использования стандартизованного математического перевода. Климатические реконструкции, основанные на мультидисциплинарном подходе, дают возможность достичь наибольшей достоверности получаемых данных, оценить их, дать оценку достоверности климатических интерпретаций, а также лучше понять их отношение с сигналами, идущими на уровне

шумов. Кроме того, интеграция значений определенного климатического параметра, полученного путем двух или более разных способов, может сужать границы неопределенности путем взаимного ограничения диапазонов возможных ошибок.

ПРЕДЕЛЫ СВИДЕТЕЛЬСТВ ПРИРОДНЫХ СОБЫТИЙ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ПО НИМ ПАРАМЕТРОВ КЛИМАТА

Перигляциальные явления, зафиксированные в отложениях, служат основой для разумных количественных расчетов экстремальных среднегодовых температур и средних температур самого холодного месяца. На основе аналогий с современностью перигляциальные явления делают возможным с достаточно высокой точностью реконструировать распространение сплошной, прерывистой и островной мерзлоты, а также различия в глубинах сезонного промерзания—оттаивания отложений. Эти явления неплохо отражают особенности деградации мерзлоты при повышении температур воздуха и пород. Возможности перигляциального подхода к палеоклиматическим реконструкциям в настоящее время уже хорошо обоснованы [Vandenberghen, Pissart, 1993; Isarin et al., 1997]. В дополнение к нему имеются микроструктурные свидетельства сезонного и/или многолетнего промерзания отложений, устанавливаемые по исследованиям в тонких срезах почв [Van Vliet-Lanol et al., 1984; Huijzer, 1993].

Биологические индикаторы. Важным источником количественной климатической информации являются данные биологических методов, позволяющие реконструировать вариации климатических параметров. Географическое распространение определенных видов растений определено климатическим порогом для холодного и/или теплого сезонов. Метод „видовых индикаторов климата“ позволяет рассчитывать минимальную температуру самого теплого месяца в году [Aalbersberg, Litt, 1998]. Современное распространение многих видов жесткокрылых используется в методе „совместного климатического распространения“ для палеоклиматических реконструкций [Atkinson et al., 1987]. Данные, полученные этим методом, позволяют по распространению сообществ жесткокрылых реконструировать значения температуры самого холодного и самого теплого месяцев в году [Coore et al., 1998].

Гляциологические индикаторы. По аналогии с современностью палеотемпературы сезона абляции ледников могут быть получены по палеовысотам снеговой линии (высота равновесной фирновой линии). Последняя может быть полу-

чена по положению конечных и боковых морен [Humlin, 1998].

Седиментологические индикаторы. Колебания уровней озер могут быть восстановлены по *озерным отложениям*, которые также возможно использовать для реконструкции региональных палеогидрологических изменений. Опосредованно и качественно по ним можно установить количество атмосферных осадков в прошлом. *Речные отложения* дают сведения о связях рек с влажностным режимом климата. Реконструкция расположения речной сети в прошлом позволяет рассчитывать расходы палеорек [Vandenberghen, 1987; Sidorchuk et al., 1998]. Принимая во внимание региональные значения испаряемости и морфологию региона, можно получить относительные значения величин атмосферных осадков, а также их изменения по сезону года по реконструированному палеостоку рек.

Направления ветров были получены с использованием следующих данных: по площадному распространению отложений, подвергшихся дефляции, по ориентации эоловых дюн и по седиментационным провинциям [Isarin et al., 1997].

Взаимоотношения между косвенными показателями и получаемыми климатическими параметрами представлены в табл. 1.

ПРИЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОСВЕННЫХ ДАННЫХ

Обширные наборы косвенных показателей используются и обрабатываются при помощи соответствующей базы данных, связанной с геоинформационной системой (ГИС). Они включают банк данных косвенных показателей климата

и соответствующую информацию по индивидуальным объектам в компьютерной базе данных, а также интеграцию данных по точкам (географическим объектам) в виде схемы распределения специализированных климатических параметров. Мультидисциплинарная база данных для реконструкции палеоклимата была создана специально для сбора многодисциплинарных опосредованных (косвенных) данных по четвертичным геологическим объектам совместно со сведениями об обстановке формирования отложений и соответствующей палеоклиматической информацией [Huijzer, Isarin, 1996]. Конечной целью проекта является создание палеоклиматических карт Европы по выбранным временным интервалам с использованием ГИС.

Весьма важной задачей является определение качества данных, поскольку оно существенно различается для событий прошлого. Во-первых, качество данных (как геологических, так и биологических) основывается на тщательности и детальности представления их автором. Во-вторых, для правильного сопоставления и адекватного сравнения климатических событий прошлого важно определение абсолютного возраста отдельных климатических показателей и критическая оценка радиометрических данных. В-третьих, достоверность реконструкций климата также очень сильно зависит от применяемой климатической интерпретации. Наконец, чтобы уменьшить сомнения в отношении качества всей климатической базы данных, данные могут быть разделены по их качеству на различные уровни. Делается это путем предъявления различных требований: к описанию свойств, к достоверности опосредованных данных, по временному контролю и по климатической интерпретации.

Таблица 1. Взаимоотношение между параметрами климата, используемыми косвенными данными и подходом к преобразованию их в климатические параметры

Параметры климата	Используемые для реконструкции данные	Способ преобразования
<i>Температура воздуха</i>		
Экстремальная среднегодовая	Перигляциальные явления	По аналогии с современностью
Минимальная средняя самого теплого месяца	Ботанические данные	Метод видовых индикаторов климата
Экстремальная средняя самого холодного месяца	Перигляциальные явления	По аналогии с современностью
Средняя самого жаркого месяца	Энтомологические данные	Метод совместного климатического распространения
Средняя самого холодного месяца	»	»
Средняя сезона абляции (с мая по сентябрь)	Высота снеговой линии	Гляциологические методы
<i>Атмосферные осадки</i>		
	Озерные, речные, эоловые отложения	Колебания уровня озер, изменения в распределении русел водотоков, „каменные мостовые“
<i>Направление ветров</i>		
	Эоловые отложения и формы	Строение отложений, морфология дюн, ветрогранники, распределение эоловых отложений по территории, по аналогии с современностью

РЕЗУЛЬТАТЫ

Реконструкции климатических условий были сделаны для эма и ранней вислы ($Q_{II}^1—Q_{II}^2$) по семи временным интервалам. Они основываются главным образом на палеоботанических данных и дополнительной информации по Coleoptera и перигляциальным структурам. Для земского максимума было установлено существование климатического градиента, направленного с юго-востока на северо-запад. В позднем эме временные интервалы по своим климатическим условиям довольно однородны. Комплекс стадия амерсфорт—бреруп и стадия оддерде (кислородная стадия 5c и 5a соответственно) существенно отличаются от земского времени (стадия 5e) более холодными зимами и более высокой континентальностью [Aalbersberg, Litt, 1998].

Количественные климатические реконструкции для шести временных интервалов вислинского пленигляциала были получены по различным источникам с использованием перигляциальных, эоловых, ледниковых, флювиальных, биологических и ботанических свидетельств [Huijzer, Vandenberghen, 1998]. Дополнительно были установлены климатические градиенты, направленные или с севера на юг, или с запада на восток и менявшие направления. В табл. 2 суммированы основные климатические параметры по шести временным интервалам для низменностей Северо-Западной и Центральной Европы. Все индивидуальные данные, как исходные, так и результаты интерпретации, собраны и доступны на CD в базе данных CAPS (WDC-A Glaciology, Boulder, USA).

Для последнего ледникового максимума количественные палеотемпературные данные были получены путем объединения данных методом „совместного климатического распространения“. Это позволило установить заметные различия климатических условий на территории Европы в течение последнего переходного времени от ледникового времени к межледниковью. Это отра-

зилось в большом термическом градиенте, существовавшем в Северной Европе, особенно в период 13—12 тыс. лет назад. Он появился в период резкого потепления, когда наблюдался большой западно-восточный перепад температурных условий (особенно в летнее время); но на протяжении эпох похолоданий по всей Северной Европе температуры воздуха имели более равномерное распределение. Почти уверенно можно утверждать, что эти различия отражают воздействия локального охлаждения сокращающегося Фенноскандинавского ледникового щита на востоке и теплых поверхностных вод Северной Атлантики на западе [Coope et al., 1998].

Парадоксально, но западно-восточный климатический градиент в Северо-Западной и Центральной Европе существовал на протяжении теплого времени в ранней висле и, по-видимому, в относительно теплые интервалы времени в пленигляциальный период. В холодные этапы времени, когда была распространена мерзлота, существовал климатический градиент, ориентированный с севера на юг. Можно сделать заключение, что климатические условия в Северо-Западной и Центральной Европе контролировались влияниями трех главных природных феноменов, временами противоборствовавших между собой. К ним относятся: 1) Фенноскандинавский ледниковый щит, 2) изменения океанической циркуляции в Северной Атлантике и 3) области континента, не покрытые ледником и расположенные на большом удалении от океанов и ледникового щита. В этих областях колебания солнечной инсоляции могли быть значительными и оказывать сильное влияние на изменения климата. Разделить достаточно точно воздействие каждого из указанных выше главных феноменов и дать им количественную оценку очень трудно, однако относительный вклад каждого из этих факторов в формирование климата континентальной Европы очевиден.

Автор признателен проф. Н. Н. Романовскому, сделавшему перевод статьи на русский язык.

Таблица 2. Результаты реконструкции климатических условий для выбранных временных интервалов

Временной интервал, (тыс. лет до н.в.)	Температура самого теплого месяца, °C	Средне-годовая температура, °C	Температура самого холодного месяца, °C	Годовые амплитуды температуры, °C	Климатический градиент	Ветровая активность	Осадки
74—59	10—13	-8 — -4	-26 — -20	30—39	С севера на юг	++	—
50—41	7—10	-4 — -1	-20 — -13	23—27	С запада на восток	—	+
41—38	10—11	-9 — -4	-27 — -20	30—37	С севера на юг	+	—
36—32	10	-7 — -2	-20 — -16	26—30	—	—	+
27—20/18	4; 8	-8 — -4	-25 — -20	28—33	С севера на юг	+	±
17—14	8; 10	-9 — -4	-26 — -20	28—36	С севера на юг	++	—

Литература

- Aalbersberg G., Litt T. Multiproxy climate reconstructions for the Eemian and Early Weichselian // *J. Quater. Sci.*, 1998, 13, p. 167—390.
- Atkinson T., Briffa K., Coope G. R. Seasonal temperatures in Britain during the past 22,000 years reconstructed using beetle remains // *Nature*, 1987, 352, p. 587—592.
- Coope G. R. Fossil Coleopteran assemblages as sensitive indicators of climatic changes during the Devensian (Last) cold stage. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1977, B, 280, p. 313—340.
- Coope G. R., Lemdahl G., Lowe J., Walkling A. Temperature gradients in northern Europe during the last glacial-Holocene transition (14—9 ¹⁴C kyr BP) interpreted from coleopteran assemblages // *J. Quater. Sci.*, 1998, 13, p. 419—434.
- Huijzer A. S. Cryogenic microfibrils and macrostructures: interrelations, processes and palaeoclimatic significance. PhD. Amsterdam, Vrije Universiteit, 1993, 245 p.
- Huijzer A. S., Isarin R. The multi-proxy approach to the reconstruction of past climates with an example of the Weichselian Pleniglacial in northwestern and central Europe // *Quater. Sci. Rev.*, 1996, 16, p. 513—533.
- Huijzer A. S., Vandenberghe J. Climatic reconstruction of the Weichselian Pleniglacial in north western and central Europe // *J. Quater. Sci.*, 1998, 13, p. 391—418.
- Humlun O. Rock glaciers on the Faeroe Islands, the North Atlantic // *J. Quater. Sci.*, 1998, 13, p. 293—307.
- Isarin R., Renssen H., Koster E. Surface wind climate during the Younger Dryas in Europe as inferred from aeolian records and model simulations // *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 1997, 134, p. 127—148.
- Sidorchuk A., Panin A., Borisova O., Kovalyuk N. Palaeohydrology of the lower Vychehda river (northern Russia) in the Late Glacial and Holocene // *FLAG Conf. Cheltenham*, 15—18/9/1998, Abst., 1998, v. 10.
- Vandenberghe J. Changing fluvial processes in a small lowland valley at the end of the Weichselian Pleniglacial and during the Lateglacial // *Proceed. 1st Int. Conf. Geomorphology*, 1987, part I, Wiley & Sons, Chichester, p. 731—744.
- Vandenberghe J. Geomorphology and climate of the cool oxygen isotope stage 3 in comparison with the cold stages 2 and 4 in the Netherlands. *Zeitschrift for Geomorphologie, Supplement Band*, 1992, 86, p. 65—75.
- Vandenberghe J., Pissart A. Permafrost changes in Europe during the Last Glacial // *Permafrost Periglac. Proces.*, 1993, 4, p. 121—135.
- Vandenberghe J., Kasse C., Coope G. R. Palaeoclimate of the last interglacial-glacial cycle in western and central Europe // *J. Quater. Sci.*, 1998, 13, sp. issue, p. 361—497.
- Van Vliet-Lanol B., Coutard J. P., Pissart F. Structures caused by repeated freezing and thawing in various loamy sediments. A comparison of active, fossil and experimental data // *Earth Surface Processes and Landforms*, 1984, 9, p. 553—565.

Поступила в редакцию
1 октября 1999 г.