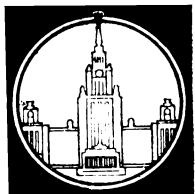


Вестник Московского университета

ISSN 0201—7385

ISSN 0579—9414



НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

Основан
в 1946 году

В номере

Географическое обоснование
экологических экспертиз

Факторы и сущность почвообразования

Принципы и методы создания карт
промышленности для высшей школы

Теоретические представления
о процессе освоения территории

Серия 5

география

4 / 1983

УДК 551.524(215—17)

Б. Л. Берри, А. А. Либерман, С. Г. Шиятов

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУР СЕВЕРНОГО
ПОЛУШАРИЯ ПО КОЛЕБАНИЯМ ИНДЕКСОВ ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ
НА ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЕ ЛЕСА**

Исследования динамики климатических параметров и их прогноз относятся к базовым задачам человечества. Жизненную важность эти вопросы приобрели в последнее время, когда быстро растут масштабы антропогенного воздействия на природную среду, которое может привести к необратимым изменениям климата. Необходимо точнее познать закономерности естественных вариаций климата, чтобы на ранних этапах заметить глобальные влияния на этот процесс человеческой деятельности, изучить возможности его искусственной корректировки.

Обычная оценка палеотемператур связана с сопоставлением инструментальных наблюдений за последние 100—200 лет с каким-либо более длинным рядом наблюдений величин (предикторов), физически связанных со значениями температур. При этом могут быть использованы различные летописные сведения, например данные о распространении оледенений северных акваторий или органические регистраторы климатических изменений: деревья, фауна морей и т. д.

В настоящей работе в качестве температурного предиктора использовались данные о радиальном приросте деревьев. На прирост деревьев влияют температура, осадки, уровень грунтовых вод и их минерализация, экспозиция склона и пр. Поэтому связь между приростом и климатическим параметром не всегда однозначна. Но это

же явление позволяет подобрать группы модельных деревьев, прирост которых в основном определяется одним из факторов.

Известно, что величина прироста деревьев на полярной границе леса зависит преимущественно от средних температур летних месяцев [10]. Можно также подобрать ряды прироста деревьев, которые тесно связаны с изменением средних температур одного из летних месяцев. Для ряда инструментальных наблюдений среднеюльских температур Салехарда (длиной в 90 лет) получена хорошая корреляция с рядом индексов прироста кедра сибирского [12].

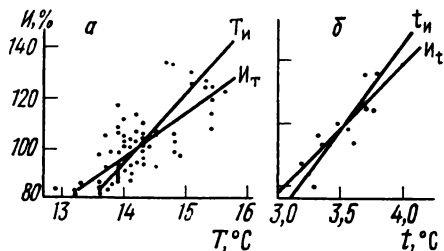


Рис. 1. Линии регрессии температур воздуха и радиального прироста деревьев: *a* — индексов прироста кедра сибирского (U_T , %) и среднеюльских температур (T_U , °C) Салехарда; *б* — аппроксимированных индексов прироста лиственниц (U_t , %) и осредненных по пятилетиям среднегодовых температур (t_U , °C) Северного полушария Земли

Связь среднеюльских температур (T , °C) и индексов прироста (U) показана на рис. 1, *a*. Уравнения линии регрессии

$$T_U = 14,2 + 0,0357 (U - 99,4); \quad (1)$$

$$U_T = 99,4 + 17,7 (T - 14,2). \quad (2)$$

Коэффициент корреляции $\rho = 0,80$. Среднеквадратические ошибки определения температур и индексов прироста по уравнениям регрессии составляют: $\sigma_T = 0,63^\circ\text{C}$, $\sigma_U = 14\%$; коэффициент вариации $v_T = 4,4\%$, $v_U = 14\%$.

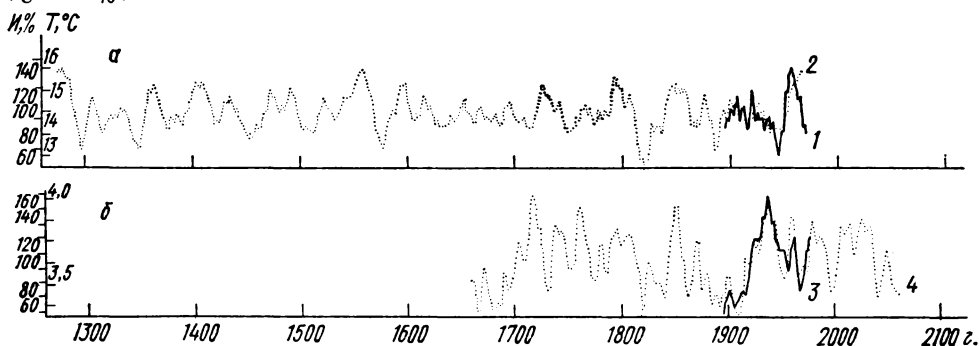


Рис. 2. Результаты экстраполяции температур воздуха по радиальному приросту деревьев: *a* — графики среднеюльских температур Салехарда, данные инструментальных наблюдений (1) и восстановленные значения (2); *б* — графики среднегодовых температур Северного полушария Земли, данные инструментальных наблюдений (3) и экстраполированные значения (4)

Существование тесной корреляционной связи между индексами прироста и температурой послужило основанием для восстановления среднеюльской температуры Салехарда на всю длину ряда индексов прироста кедра сибирского вплоть до 1280 г. (рис. 2, *a*). Ошибки метода растут при удалении от интервала инструментально измеренных температур 12,9—15,7°C. В правой части графика сплошной линией нанесены результаты июльских наблюдений на станции «Салехард».

Наибольшие аномалии среднегодовых температур наблюдаются в северных широтах [4], и деревья на полярной границе леса наиболее

чувствительны к температурам. Поэтому оправдан поиск корреляционных связей между приростом деревьев и среднегодовыми температурами воздуха Северного полушария. Сопоставление графика данных температур с рядами прироста деревьев позволило подобрать ряд № 39 индексов прироста лиственницы (1660—1965 гг.), построенный С. Г. Шиятовым, который хорошо совпадает по форме с осредненной по пятилетиям кривой изменения среднегодовых температур Северного полушария (1895—1975 гг.), полученной Е. П. Борисенковым и В. Н. Приемовым [4].

Модельные деревья лиственниц ряда № 39 отбирались из сухих местообитаний низовья р. Оби. Временная последовательность индексов прироста затем аппроксимировалась 12 гармониками, подобранными с помощью ЭВМ по описанной ранее методике [2]. Среднеквадратическая ошибка аппроксимации ряда составляет $\epsilon = 29\%$. На рис. 1,б показана корреляционная связь между кривой, аппроксимирующей индексы прироста лиственниц ($U, \%$), и осредненными по пятилетиям значениями среднегодовых температур воздуха Северного полушария (t), снятыми с графика за период 1895—1965 гг., на который имеется фактический материал по радиальному приросту лиственниц и температурам воздуха.

Уравнения линий регрессии

$$t_U = 3,53 + 7,14 \cdot 10^{-3} (U - 100); \quad (3)$$

$$U_t = 100 + 105 (t - 3,53). \quad (4)$$

Коэффициент корреляции $\rho = 0,87$. Среднеквадратические ошибки определения температур и индексов прироста по уравнениям регрессии составляют: $\sigma_t = 0,23^\circ\text{C}$, $\sigma_U = 28\%$; коэффициенты вариации $v_t = 6,5\%$, $v_U = 28\%$. Наличие тесной корреляции на тарировочном участке явилось основанием для восстановления осредненных по пятилетиям среднегодовых температур Северного полушария до 1660 г. и их прогноза до 2060 г. (рис. 2,б). Сплошной линией указаны фактические данные по температуре воздуха Северного полушария за период 1895—1975 гг. Корреляционная связь сохраняется и на участке 1965—1975 гг., который не использовался для ее получения.

Таблица 1

Гармонические составляющие кривой, аппроксимирующей ряд № 39 индексов ($U\%$) прироста лиственниц ряда из сухих местообитаний низовья р. Оби

Период T_j , лет	230	73	22	105	44	27	18	15	11	9	7	55
Амплитуда A_j прироста $U\%$,	16,2	15,7	16,3	9,84	11,4	7,96	8,49	6,70	6,12	4,09	3,57	6,81
Амплитуды t_j , $^\circ\text{C}$	0,12	0,11	0,12	0,07	0,08	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,05
Фаза ϕ_j , радиан	2,79	1,35	4,34	4,62	1,57	0,14	3,28	0,18	0,21	2,34	2,62	4,21

Здесь одновременно решаются задачи удлинения ряда наблюдений в прошлое и экстраполяция его в будущее. Среднеквадратическая ошибка аппроксимации ежегодного прироста деревьев ($\epsilon = 29\%$) гармоническими составляющими очень близка к ошибке уравнения регрессии $\sigma_U = 28\%$. Сглаживание дендрохронологического ряда примерно вдвое уменьшает ошибку аппроксимации [2]. Данные табл. 1 позволяют удлинять ряд индексов прироста и температур Северного полушария Земли в любом направлении. Амплитуды гармонических составляющих температур вычислены по формуле (3) из величин амплитуд прироста U .

Аппроксимирующая кривая, отражающая детерминированную часть ряда индексов прироста листовенниц, представлена сложнопериодической функцией с линейным трендом (рис. 2,б)

$$U = 99,1 + 0,01 L + \sum_{j=1}^{12} A_j \cos \left(\frac{2\pi L}{T_j} - \varphi_j \right). \quad (5)$$

Расчетное начало координат относится к началу ряда, т. е. к 1660 г., L — число лет от начала ряда. Расстояние в годах от начала ряда до первого максимума периода T_j определяется по формуле

$$\Delta T = \frac{\varphi_j}{2\pi} T_j, \quad (6)$$

где T_j , φ_j , A_j — данные табл. 1.

Стабильность периодов природных ритмов Земли имеет общую астрономическую причину своего существования. Большая временная экстраполяция данных опирается на представления о существовании солнечных, космических и земных ритмов, связанных с периодами вращения и обращения планет и их спутников [7]. Наиболее стабильной величиной является период колебания, а амплитуда и фаза зависят от локальных и региональных условий, а также типа исследуемого явления. При больших внешних отличиях внутренняя частотная структура рядов может быть идентичной, поэтому чаще всего неправомерны выводы, полученные только на базе визуальных сопоставлений рядов различного типа.

На обоих восстановленных графиках температур (рис. 2) четко выделяется известный температурный минимум 1820 г., соответствующий минимуму солнечной активности в 180-летнем цикле. Минимум солнечных пятен 1645—1715 гг., выявленный Маундером [9], отражается пониженным фоном средних температур июля и уменьшением амплитуд длиннопериодных вариаций (40—60 лет) за счет интерференции колебаний. Среднегодовые температуры воздуха Северного полушария резко уменьшаются в этот период. Приведенные данные свидетельствуют в пользу того, что во второй половине XVII в. общее длительное похолодание Северного полушария в летнее и зимнее время создало благоприятные условия для развития ледников. Аналогичные, но более короткие периоды повторились в начале и в конце XIX в. Эпоха оледенения фернау XVII—XIX вв. хорошо освещена в литературе, наши реконструкции температур дополняют имеющиеся сведения и не противоречат им.

В восстановленном ряду среднеиюльских температур кроме времени минимума Маундера обращает на себя внимание участок пониженных температур в первую половину XIV в. Это время соответствует началу понижения температур после периода климатического оптимума в IX—XIII вв., увеличению ледовитости северных морей и переходу к холодной и влажной эпохе [3, 9, 13].

Особый интерес представляет анализ современных тенденций в ходе температур полярных широт, на которых в первую очередь отражаются климатические изменения. Анализ Л. Е. Борисовой и Л. П. Спириной [5] показал, что в большинстве месяцев нет определенных температурных сдвигов. В последние двадцать лет только июль и октябрь имеют ярко выраженные тенденции к потеплению и похолоданию соответственно, не имеющие аналогий в вековом ходе среднеширотных отклонений температур. Наша работа по восстановлению средних температур июля на несколько столетий назад пока-

зывает, что такие изменения температур характерны практически для каждого столетия. Двадцатый век не является в этом смысле исключением.

Рассмотрим детальнее прогноз среднегодовых температур воздуха Северного полушария в связи с гипотезой о возможности катастрофического потепления в начале XXI в. из-за антропогенного воздействия на климат [6]. Трехсотлетний ряд индексов прироста лиственниц аппроксимируется суммой периодических функций (5) с очень малым линейным трендом, который практически можно не принимать во внимание, так как он в 200 раз меньше гипотетического $0,2^{\circ}\text{C}$ на десятилетие [6]. Сложнопериодическая функция включает в себя известные ритмы, в том числе солнечные, которые хорошо совпадают с обнаруженной Б. Л. Берри [1] последовательностью природных периодов

$$T_n = 27,3 \text{ суток} \cdot 2^{n/4}, \quad (7)$$

где n — целое положительное или отрицательное число (табл. 2).

Таблица 2

Сопоставление гармонических составляющих, описывающих изменение средних годовых температур воздуха Северного полушария T_j с общей последовательностью периодов T_n природных ритмов

T_n , лет	6,8	9,6	11,4	16,1	19,1	22,8	27,1	45,5	54,2	76,6	108	217
n	26	28	29	31	32	33	34	37	38	40	42	46
T_j , лет	7	9	11	15	18	22	27	44	55	73	105	230
$\Delta T/T_n$, %	3,4	6,3	3,4	6,8	6,0	3,4	0,4	3,4	1,6	4,7	3,0	6,0

Указанная функция (5) отражает естественные тенденции изменения климата и не учитывает предполагаемого стабильного роста температур при повышении концентрации, например, углекислого газа. Она хорошо коррелируется с инструментальными данными об изменении средних температур воздуха Северного полушария за последние 80 лет, рассчитанными Е. П. Борисенковым и В. П. Приемовым [4]. Это доказывает, что потепления и похолодания XX в. соответствуют обычным климатическим сдвигам и пока нет оснований для прогноза устойчивого и быстрого потепления климата.

Учитывая важность и принципиальную возможность катастрофических антропогенных воздействий на климат, мы считаем необходимым в первую очередь выявить естественные климатические вариации, определить тенденции их развития, позволяющие быстрее опознать влияние на климат искусственных факторов, созданных человеческой деятельностью. Предлагаемый прогноз среднегодовых температур воздуха Северного полушария позволит проверить реальность гипотезы антропогенного потепления и поможет выявить это потепление по расхождению реальных и прогнозируемых температур.

В соответствии с данным прогнозом естественных климатических изменений ожидается резкое падение среднегодовых температур Северного полушария в последнее десятилетие XX в. и в середине XXI в. при среднем тренде $+0,1^{\circ}\text{C}$ на 1000 лет.

Похожие, но менее детальные предсказания даются для изменения температур Гренландии (рис. 3) на основании экстраполяции данных кислородно-изотопного анализа колонок льда, в которых выявлены два основных периода — 78 лет и 181 год [4, 11]. Вариации

температур в Гренландии [15] вдвое превышают аналогичную величину для всего Северного полушария, что легко объясняется осреднением температур по большей площади, в которую включены более низкие широты.

Аналогичный прогноз получен и для Западной Сибири с использованием гармонических составляющих солнечной активности, отличающихся друг от друга на октаву — 11, 22 и т. д. лет [8]. В указанной работе отмечается повышенное значение 44-летних циклов в последние сто лет и прогнозируются холодные и более увлажненные периоды в 1984—1998 и 2026—2040 гг.

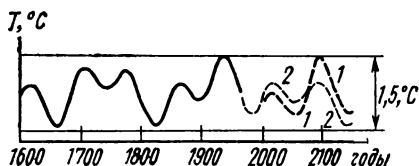


Рис. 3. Изменение температур в центре Гренландии [3] в последние века, полученное по данным кислородно-изотопного анализа льда, представленное в виде комбинации 78-летних и 181-летних ритмов [14], и прогноз изменений температуры: 1 — по С. Джонсену [14], 2 — по Х. Уиллету [11], масштаб температур — по источнику [15]. Данные рис. 3 обобщены и экстраполированы на отрезке 2050—2150 гг.

С. М. Мягковым

Данные экстраполированного ряда среднегодовых температур Северного полушария хорошо совпадают с полученными ранее сведениями и прогнозами. Аппроксимация ряда проведена с помощью 12 гармоник, поэтому изменения температур фиксируются достаточно детально и примерно соответствуют пятилетним скользящим средним. Восстановленный ход среднеиюльских температур воздуха по станции Салехард соответствует современным аномалиям средней широтной температуры воздуха Северного полушария [5] и содержит известные ранее понижения температур в XIV, XVII и XIX вв., отмеченные в разных регионах Северного полушария. Полученные сведения могут быть использованы для более тщательного анализа климатов прошлого и будущего.

Полученные результаты не подтверждают предположений (6) об уже начавшемся техногенном потеплении. В последнее десятилетие века температура воздуха Северного полушария понизится ориентировочно на $0,5^{\circ}\text{C}$ в течение 6—8 лет для осредненных по пятилетиям данных и достигнет минимума в 1995 г., после этого температура снова станет повышаться и восстановится на прежнем уровне через 8—9 лет. При оценке развития техногенного потепления или похолодания указанный прогноз можно считать естественным эталоном, с которым следует сравнивать фактические температуры. Односторонний рост отклонений реальных температур от прогнозируемых естественных тенденций будет свидетельствовать о глобальном влиянии на климат человеческой деятельности.

Авторы приносят благодарность С. М. Мягкову и В. И. Турманиной за конструктивные предложения, позволившие улучшить изложение материала, а также другим сотрудникам проблемной лаборатории снежных лавин и селей, принявшим участие в обсуждении нашей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берри Б. Л., Либерман А. А., Лукьянова Л. М., Турманина В. И. Выявление с помощью ЭВМ периодов вековых колебаний климата по дендрохронологическим рядам. — В кн.: Ритмы гляциальных процессов. М., 1979.
2. Берри Б. Л., Либерман А. А., Шиятов С. Г. Периодические колебания ин-

дексов прироста лиственницы сибирской в тазовской лесотундре и их прогноз. — Экология, 1979, № 6. 3. Блютген И. География климатов. Т. 2. М., 1973. 4. Борисенков Е. П. Основные тенденции естественных и антропогенных изменений климата. — В кн.: Физические основы изменения современного климата. Ч. 1. М., 1981. 5. Борисова Л. Е., Спирина Л. П. Некоторые глобальные особенности современных изменений климата. — В кн.: Физические основы изменения современного климата. Ч. 1. М., 1981. 6. Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. Л., 1980. 7. Дружинин И. П., Сазонов Б. И., Ягодинский В. Н. Космос—Земля. Прогнозы. М., 1974. 8. Жуков В. М. О динамике структуры теплового и водного балансов на Западно-Сибирской равнине в голоцене. — В кн.: Физические основы изменения современного климата. Ч. 1. М., 1981. 9. Ле Руа Ладюри Э. История климата с 1000 года. Л., 1971. 10. Полозова Л. Г., Шиятов С. Г. Влияние термического режима на радиальный прирост деревьев в различных условиях их местобитания. — Экология, 1975, № 6. 11. Уиллет Х. Изменения климата. Л., 1980. 12. Шиятов С. Г. Дендрохронологическая шкала кедра сибирского на северной границе его произрастания в долине р. Таз. — Лесоведение, 1973, № 4. 13. Шнитников А. В. Колебания климата в текущем тысячелетии и их палеогеографическое значение. — В кн.: Доклады на ежегодных чтениях памяти Л. С. Берга. Л., 1968. 14. Johnsen S. J., Dansgaard W., Clausen H. B., Langsway O. C. Climatic oscillation 1200—2000 A. D. — Nature, 1970, N 227 (5257). 15. The Physical basis of climate modelling. Cambridge, 1975.

Поступила в редакцию
25.10.82