

А. Б. ПТИЦЫН*, С. А. РЕШЕТОВА*, В. В. БАБИЧ**, А. В. ДАРЬИН**, И. А. КАЛУГИН**,
Д. В. ОВЧИННИКОВ***, В. ПАНИЗЗО****, В. С. МЫГЛАН*****

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита

**Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

***Институт леса СО РАН, г. Красноярск

****Центр исследований окружающей среды, Отделение географии, Университетский колледж,
Лондон, Великобритания

*****Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

ХРОНОЛОГИЯ ПАЛЕОКЛИМАТА И ТЕНДЕНЦИИ АРИДИЗАЦИИ В ЗАБАЙКАЛЬЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 1900 ЛЕТ

В рамках программы многолетних исследований по реконструкции палеоклиматических характеристик Центральной Азии выполнена палеорекострукция аридности–увлажненности климата в Забайкалье на основе исследования послонных палинологических спектров и химического состава донных осадков оз. Арахлей. Установлено, что влажные фазы климата на расчетном интервале 90–2005 гг. имеют периодичность 20–45 лет, что приблизительно соответствует циклам увлажнения Евразии.

Ключевые слова: палеоклимат, реконструкция, донные осадки, палинология, геохимия.

Within the long-term research program on reconstruction of palaeoclimatic characteristics of Central Asia, we carried out a palaeoreconstruction of climate aridity/humidity in the Transbaikalia, based on investigating layered palynological spectra and chemical composition of bottom sediments from Lake Arakhlei. It was found that the humid phases of climate on the time interval 90–2005 used in calculations exhibit a periodicity of 20–45 years, which roughly corresponds to the humidity cycles of Eurasia.

Keywords: palaeoclimate, reconstruction, bottom sediments, palynology, geochemistry.

ВВЕДЕНИЕ

Региональные климатические тренды, построенные для сравнительно недалекого прошлого, имеют большое значение как в фундаментальном, так и в прикладном плане. Прогнозирование таких негативных явлений, как опустынивание, невозможно без длительных рядов наблюдений. Определенную информацию о климате прошлого несут донные осадки озер, исследования которых в последнее время ведутся в разных регионах планеты.

В предшествующие годы работы по изучению высококоррелирующих осадочных записей проводились на озерах Телецкое (Алтай), Хубсугул (Монголия) и Байкал, т. е. в пределах широтной полосы около 52° с. ш. [1–3]. Развитие этого направления позволяет построить годовые хронологии и климатические тренды для юга Сибири, Забайкалья, Монголии и прилегающих к ним районов Китая на основе динамики осадкообразования в озерах разного типа и эволюции озерных экосистем. Климат в восточной части упомянутого трансекта контролируется Сибирским антициклоном во взаимодействии с юго-восточным муссоном, тогда как на западе система атмосферной циркуляции определяется Сибирским антициклоном и западным переносом [4].

Изучение донных осадков оз. Арахлей (Забайкалье) выполнено в целях количественной реконструкции палеоклиматических характеристик для Центральной Азии за последние два тысячелетия.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Озеро Арахлей расположено в 70 км от г. Читы на высоте 965 м над ур. моря, в пределах водосборного бассейна оз. Байкал в тектонической мульде мезо-кайнозойского возраста. Это самый глубоководный (максимальная глубина — 17 м, средняя — 10,4 м) и крупный (площадь зеркала — 58 км²) водоем в системе Ивано-Арахлейских озер. Трофический тип — мезотрофный. Общая минерализация колеблется в пределах 115–150 мг/л, вода слабощелочная гидрокарбонатная магниевая-кальциевая. Отмечена вертикальная стратификация температуры воды и основных ионов [4]. Речной приток составляет 47,5 %, остальное — атмосферные осадки. При этом в расходной части водного баланса преобладает испарение (80 %), и только 20 % приходится на жидкий сток. Последнее обстоятельство позволяет предполагать высокую чувствительность водного баланса и связанного с ним осадконакопления к изменениям климата, особенно летней температуры и количества осадков.

Климат в районе оз. Арахлей резко континентальный с разбросом сезонных температур от $-19,3$ °C (октябрь—март) до $12,7$ °C (апрель—сентябрь), что в определенной мере обусловлено горным характером рельефа. Величина суммарной солнечной радиации $100-110$ ккал/см² в год. По данным Читинской метеостанции, за 1889—1991 гг. средняя годовая сумма осадков составила 343 мм, причем их основная доля (80—90 %) приходилась на теплый период (июль—август) [5]. Колебания среднегодовых температур (от $-4,5$ до $-0,9$ °C) определяются зимними температурами, количество зимних осадков обратно пропорционально среднегодовым температурам.

Для отбора образцов донных осадков использовались специализированные малые плавсредства. В центральной части оз. Арахлей ($52^{\circ}12'$ с. ш., $112^{\circ}53'$ в. д.) с глубины 15 м коробчатым пробоотборником взята проба озерных отложений с ненарушенной последовательностью слоев. Из колонки для последующего анализа был вырезан блок длиной 20,5 см.

Концентрации химических элементов в керне определялись методом рентгенофлуоресцентного анализа на пучках синхротронного излучения (РФА СИ) [2]. Сканирование образцов донных осадков осуществлялось на станции элементного анализа в Сибирском центре синхротронного излучения (Институт ядерной физики СО РАН). В результате получена непрерывная, с шагом 0,5 мм, запись сигналов, характеризующих концентрации различных химических элементов (K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Ce, Pb, Th, U) вдоль всего исследованного интервала колонки.

Скорость накопления осадков определялась методом радиоуглеродного датирования с использованием ускорительного масс-спектрометра в Университете Адама Мицкевича (Познань, Польша). Полученная величина скорости использовалась для построения временных рядов.

Перевод геохимических данных в климатические производился с помощью трансферной функции [6], для «обучения» которой использованы длинные (около 200 лет) записи древесно-кольцевых хронологий [7]. Формализованная обработка древесно-кольцевой и осадочно-геохимической информации производилась итерационным методом целевого классифицирования и упорядочения объектов (алгоритм «Каскад» [6, 8]), реализующим идеологию теории распознавания образов. Упомянутый метод предназначен для решения задачи обучения на многомерном экспериментальном материале с известными значениями целевого признака через поиск решающего правила в области линейных функций (уравнение множественной линейной регрессии) с одновременной минимизацией малоинформативных параметров, а также для распознавания (классифицирования) объектов с неизвестным значением целевого параметра.

В качестве экспериментального материала нами взяты измеренные по разрезу донных осадков содержания некоторых элементов, а в качестве целевого признака — индекс прироста древесины на том же временном интервале. Для получения трансферной функции были выбраны элементы с наиболее высокими коэффициентами корреляции геохимических параметров с дендрохронологическими.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

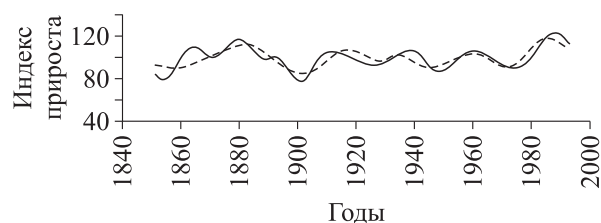
Осадок представляет собой сильно обводненный, внешне однородный глинисто-органогенный карбонатсодержащий ил черно-зеленого цвета с тонкой (до 1 см) охристой зоной окисления у поверхности. Обломочная примесь представлена алевритовыми частицами кварца, слюды, полевого шпата. Содержание воды колеблется от 84 до 91 % массы. Из 21 проанализированного химического элемента наиболее сильные парные корреляции отмечены для Fe-Mn (0,69) и Ba-Sr (0,51). По содержанию микроэлементов, так же, как и в глинистых осадках с малым количеством органики (оз. Телецкое [3]), характеристиками органической составляющей являются концентрации Br, Mo, а минеральной — Rb, Ti, Ba.

Средняя скорость накопления влажного осадка, определенная радиоуглеродным методом, равна 0,115 мм в год (для слоя 50—51 см возраст составил 4380 ± 40 лет). Влажность осадка на данном интервале — от 89,5 до 92,1 %, что подтверждает его высокую однородность и предполагает равномерность осадконакопления. При длине рядов 210 мм интервал реконструкции равен, соответственно, около 1900 лет.

Измеренный радиальный прирост сосны вблизи оз. Арахлей опосредованно характеризует климатические условия произрастания леса в регионе с 1828 г. Изменчивость прироста имеет прямую корреляцию с количеством годовых (коэффициент корреляции 0,46) и летних (0,44) осадков и обратную — со среднегодовой ($-0,19$) и летней ($-0,38$) температурой по метеостанции Чита за период с 1889 по 2005 г.

Выявлена также значимая корреляция между дендрохронологическими рядами, полученными для побережья оз. Арахлей и для Северной Монголии. Из этого следует, что засухи и повышенные тем-

Рис. 1. Сравнение реконструированного дендроиндикатора (сплошная линия) с измененным (штриховая) на интервале обучения.



пературы ухудшают условия выживания сосны в данной климатической зоне, что выражается в уменьшении радиального прироста. Таким образом, повышение индекса прироста сосны служит индикатором холодных и влажных условий, а понижение — признаком теплых и засушливых.

Из всех проанализированных элементов наиболее высокие коэффициенты корреляции геохимических параметров с дендрохронологическими имеют Ga, La, Ti, Zr, I, Y, Sr, Ba, Sr/Rb.

При обработке первичной геохимической информации (9 графиков распределения химических элементов по разрезу) с помощью алгоритма «Каскад» на этапе обучения (рис. 1) получена трансферная функция в виде уравнения множественной линейной регрессии

$$D = 48,39Ti + 34,35Zr + 97,1Sr - 26,57Ga - 13,16La - 12,37I - 42,16Y - 24,2Ba - \\ - 132,96Sr/Rb + 154,39$$

и реконструирован дендрохронологический параметр на весь временной интервал 90–2005 гг. Данная функция протестирована (обучена) на интервале 1828–2005 гг.

По результатам спектрального анализа Фурье (программа Statistica) для всей реконструкции 90–2000 гг. выявлены десять наиболее выраженных циклов (27–38, 58, 145, 157, 171, 190, 209, 240, 629, 944 гг.), соответствующих периодам природных явлений, выделенным по литературным данным [9–14] (32–38, 55–60, 140, 150–160, 170, 180–195, 207, 240–250, 590–650, 930–950 гг.). Они оказались близки к различным природным осцилляциям, отражающим главным образом солнечную активность. В том числе частоты от 27 до 38 лет находятся в пределах изменчивости так называемых циклов Брикнера в Евразии, которыми описываются вековые колебания холодных–влажных и теплых–сухих фаз климата на протяжении XIX–XX вв. [15, 16]. Тренд увлажнения на реконструированном профиле указывает на общую аридизацию климата за последние 1100 лет.

На спорово-пыльцевой диаграмме донных осадков озера (рис. 2) на основе изменения общего состава спектров выделены две палинологические зоны: первая (19–10 см) — лиственница–сосна–пихта–ель и вторая (10–0 см) — лиственница–береза–травы.

Палинозоны соответствуют определенным фазам развития растительности. Первая фаза (зона 1) характеризует широкое распространение лиственничных лесов с сосной, березой, ольхой, елью и пихтой. Вторая фаза (зона 2) указывает на повышение в составе растительности доли травянистых ассоциаций. Одновременно происходит уменьшение роли сосны, лиственницы и увеличение роли берез, исчезает ель и пихта. Реконструируются ландшафты, представленные березово-лиственничными лесами, ерниковыми и рододендроновыми лиственничниками, остепненными сосняками, близкие к современным. По берегам озера в условиях избыточного увлажнения произрастали осоково-разнотравные и разнотравно-злаковые сообщества.

Учитывая степень антропогенной нагрузки на исследуемую территорию, необходимо отметить, что в процессе освоения природных ресурсов этого района доминировали и получали развитие различные виды хозяйственной деятельности. Начало освоения человеком района Ивано-Арахлейских озер относится к эпохам неолита и бронзы (от 6 до 2 тыс. л. н.). Древние люди входили в обширную по территории этнокультурную провинцию охотников и рыболовов, обитавших на берегах рек и озер. Наиболее интенсивное освоение природных ресурсов Ивано-Арахлейских озер произошло в 1960-е гг. Активное развитие ресурсных функций на территории региона, которое привело к преобразованию коренных природных комплексов, наблюдалось в последние 100 лет [7].

В результате этого все большие площади занимали вторично-производные лиственнично-березовые и березово-лиственничные леса. Увеличение количества пыльцы березы (см. рис. 2, зона 2), выпадение из состава спектров пыльцы влаголюбивых темнохвойных (ели и пихты) и усиление роли мелколиственных лесов на рубеже 1000 л. н. можно рассматривать как отклик растительности на более сухие по сравнению с первой палинозоной климатические условия.

По историческим сведениям временной отрезок 1719–1735 гг. выделяется как период длительной засухи и вспышки массового размножения серой лиственничной листовертки и других вредителей [7]. Ему отвечает древесно-кустарниковый минимум на палинологической диаграмме на глубине 3–4 см (1655–1745 гг.) (см. рис. 2). Смена растительности, вызванная аридизацией климата и приуроченная к глубине 9,5–10,5 см, соответствует рубежу XI и XII вв. (1090–1180 гг.).

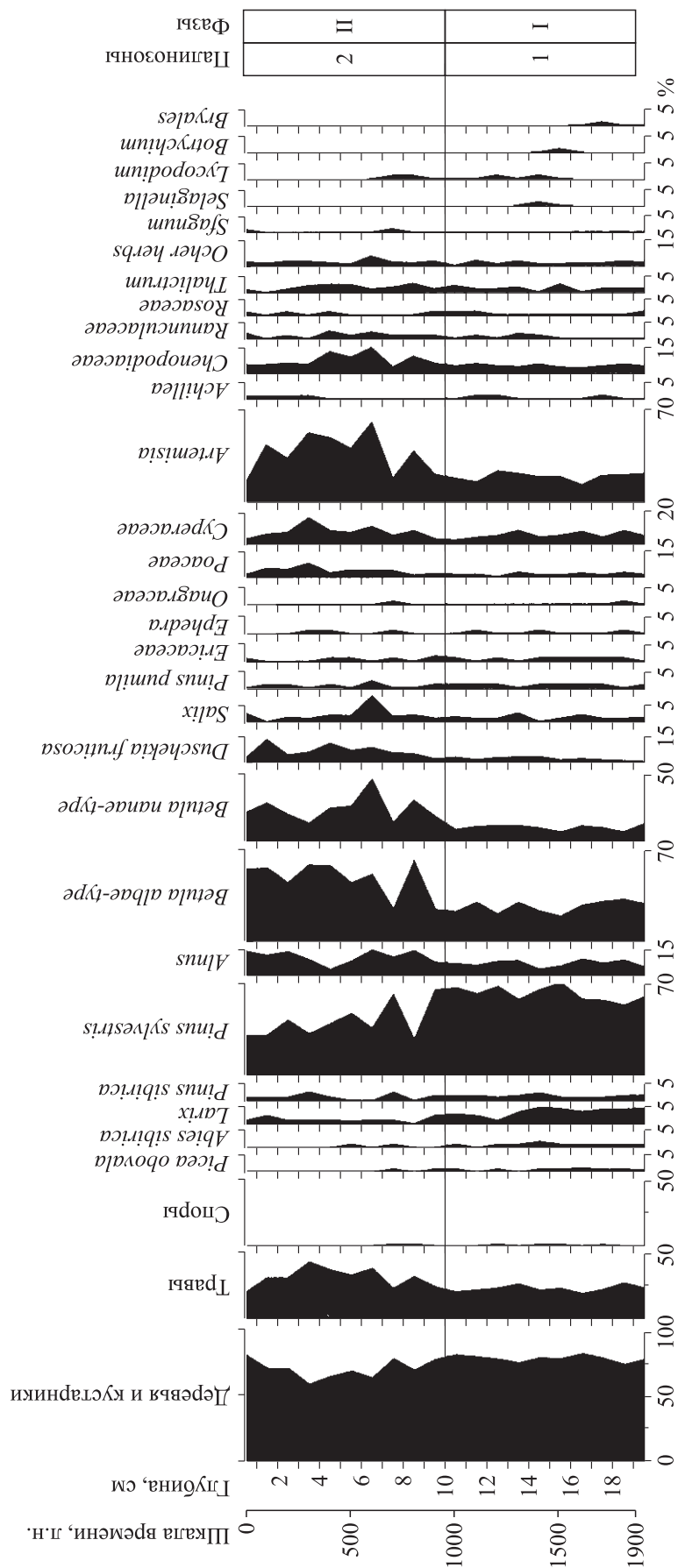


Рис. 2. Диаграмма пыльцевых спектров в разрезе донных осадков за последние 1900 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокий коэффициент корреляции (0,9) рассчитанного и измеренного дендрохронологических параметров на интервале обучения трансферной функции (1) обеспечивает достаточную достоверность палеорекострукции климатических параметров на весь исследованный временной интервал (90–2000 гг.).

Обработка реконструированной кривой дендрохронологического параметра методом Фурье выявила колебания климатических параметров разной периодичности, соответствующие известным качественным тенденциям аридизации – увлажненности в Евразии за последние 210 лет – так называемым циклам Брикнера, а также различным природным осцилляциям.

По реконструированному временному ряду радиального прироста древесины, отражающему чередование прохладных – влажных и теплых – сухих климатических условий, выявлен общий тренд аридизации в Забайкалье за последние 1900 лет. Наметившиеся периоды аридизации в общих чертах не противоречат эволюции растительных сообществ в регионе по палинологическим данным. Вместе с тем очевидно, что на такой обширной территории, как Центральная Азия, возможны локальные тренды изменения климата, для выявления которых необходимы комплексные исследования палео-записей на озерах, расположенных в разных ландшафтно-климатических зонах России, Китая и Монголии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (06–05–64365, 07–05–92103).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарьин А. В., Золотарев К. В., Калугин И. А., Максимова Н. В. Применение метода РФА СИ для определения микроэлементного состава донных осадков оз. Хубсугул (Монголия). Поиск геохимических индикаторов осадконакопления и вариаций палеоклимата в Байкальской рифтовой зоне // Поверхность. — 2003. — № 12. — С. 45–48.
2. Daryin A. V., Kalugin I. A., Maksimova N. V. et al. Use of a scanning XRF analysis on SR beams from VEPP-3 storage ring for research of core bottom sediments from Teletskoe Lake with the purpose of high resolution quantitative reconstruction of last millennium paleoclimate // Nuclear Instruments and Methods in Physics Res. — 2005. — № A 543. — P. 255–258.
3. Kalugin I. A., Daryin A. V., Smolyaninova L. G. et al. The 800 year long annual records of air temperature and precipitation over Southern Siberia inferred from high-resolution time-series of Teletskoye Lake sediments // Quaternary Res. — 2007. — № 67. — P. 400–410.
4. Справочник по климату СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — Вып. 23, ч. 3. — 185 с.; ч. 4. — 327 с.
5. Ивано-Арахлейский заказник: природно-ресурсный потенциал территории. — Чита: Поиск, 2002. — 232 с.
6. Бабич В. В. Алгоритмическое описание итерационного метода классифицирования и упорядочения объектов (Каскад-II) // Программные комплексы для целевой обработки информации. — Новосибирск, 1977. — С. 27–38.
7. Современная геодинамика и гелиодинамика. Кн. 2: 500-летняя история аномальных явлений в природе и социуме Сибири и Монголии / Леви К. Г., Задонина Н. В., Бердникова Н. Е. и др. — Иркутск: Изд-во Иркут. техн. ун-та, 2003. — 383 с.
8. Федосеев Г. С., Бабич В. В., Зайков В. В. и др. Распознавание образов в задачах качественного прогноза рудных месторождений. — Новосибирск: Наука, 1980. — 206 с.
9. Arz Helge W., Gerhardt S., Patzold J., Rohlf U. Millennial-scale changes of surface- and deep-water flow in the western tropical Atlantic linked to Northern Hemisphere high-latitude climate during the Holocene // Geology. — 2001. — Vol. 29, № 3. — P. 239–242.
10. Hong Y. T., Jiang H. B., Liu T. S. et al. Response of climate to solar forcing recorded in a 6000-year $\delta^{18}\text{O}$ time-series of Chinese peat cellulose // The Holocene. — 2000. — Vol. 10, № 1. — P. 1–7.
11. Rouse S., Kissel C., Laj C. et al. Holocene centennial to millennial-scale climatic variability: Evidence from high-resolution magnetic analyses of the last 10 cal kyr off North Iceland (core MD99–2275) // Earth and Planet. Sci. Lett. — 2006. — Vol. 242. — P. 390–405.
12. Keeling C. D., Whorf T. P. The 1800-year oceanic tidal cycle: A possible cause of rapid climate change // PNAS. — 2000. — Vol. 97, № 8. — P. 3814–3819.
13. Гудкович З. М., Каркин В. П., Фролов И. Е. Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины // Метеорол. и гидрол. — 2005. — Т. 6. — С. 5–14.
14. O'Sullivan P. E., Moyeed R., Cooper M. C., Nicholson M. J. Comparison between instrumental, observational and high resolution proxy sedimentary records of Late Holocene climatic change — a discussion of possibilities // Quaternary International. — 2002. — Vol. 88, № 1. — P. 27–44.
15. Кривенко В. Г. Концепция внутривековой и многовековой изменчивости климата как предпосылка прогноза // Климаты прошлого и климатический прогноз. — М., 1992. — С. 39–40.
16. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. — Л.: Наука, 1969. — 244 с.

Поступила в редакцию 14 июля 2009 г.