

**Опыт комплексного использования  
геохимических особенностей донных отложений  
и палинологических записей  
для палеоклиматических реконструкций  
(на примере оз. Телецкое, Российский Алтай)**

В. В. БАБИЧ<sup>1</sup>, Н. А. РУДАЯ<sup>2,3</sup>, И. А. КАЛУГИН<sup>1</sup>, А. В. ДАРЬИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3  
E-mail: vbabich@igm.nsc.ru*

<sup>2</sup> *Институт археологии и этнографии СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 17  
E-mail: nrudaya@yandex.ru*

<sup>3</sup> *Новосибирский государственный университет  
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2*

Статья поступила 03.10.2014

Принята к печати 17.12.2014

**АННОТАЦИЯ**

На примере района оз. Телецкое установлено запаздывание по времени отклика таежного и степного биомов на климатические изменения. На основе комплексного использования геохимических особенностей донных озерных осадков и палинологических записей построена палеореконструкция средних 100-летних температур на глубину 4000 лет с выделением предполагаемых наиболее значимых рубежей климатических перестроек в XIV, IV вв. до н. э. и XIII, XX вв. н. э. Проведено сопоставление температурной реконструкции для района оз. Телецкое с температурными хронологиями для Северного полушария и Северо-Восточной Европы.

**Ключевые слова:** климат, палеореконструкция, донные осадки, палинологический анализ, биомы.

Систематические погодно-климатические наблюдения в различных странах проводятся относительно недавно и охватывают достаточно короткий исторический период, редко превышающий 100–150 лет. Поэтому палеоклиматические реконструкции основываются на различных природных явлениях, имеющих определенный отклик на изменение

климатических показателей – скорости прироста древесины, особенности роста кораллов и сталактитов, аккумуляция ледников, вариации состава донных осадков озер, палинологических записей и т. д.

Различные методические подходы к построению реконструкций, основанные на откликах различной природы на климатичес-

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

кие изменения, отличаются временным разрешением, способами построения возрастной модели, возможностями калибровки на историческом временном интервале и т. д. В силу указанных причин палеоклиматические построения, полученные различными способами, бывают в той или иной степени противоречивыми, в этой связи сравнительный анализ реконструкционных возможностей разных методических подходов представляется весьма актуальным.

В работе предпринята попытка сопоставления реконструкционных возможностей донных озерных осадков по особенностям их геохимического состава и палинологического анализа на примере оз. Телецкое, а также их совместного использования при реконструкции климатических параметров.

Озеро Телецкое – благоприятный объект для построения региональных реконструкций параметров природной среды, учитывая его хорошую геологическую и гидрологическую изученность [Селегей В. В., Селегей Т. В., 1978; Физико-географическая и геологическая характеристика..., 2001; Калугин и др., 2008; Kalugin et al., 2009; Дарьин, Калугин, 2012; и др].

Озеро расположено на территории Горного Алтая (рис. 1) на границе лесостепной (на северо-западе) и семиаридной (на юго-востоке) климатических зон Центральной Азии. Площадь водосбора достигает 20 400 км<sup>2</sup>, средняя высота окружающих горных хребтов составляет 1940 м. Половина территории по-

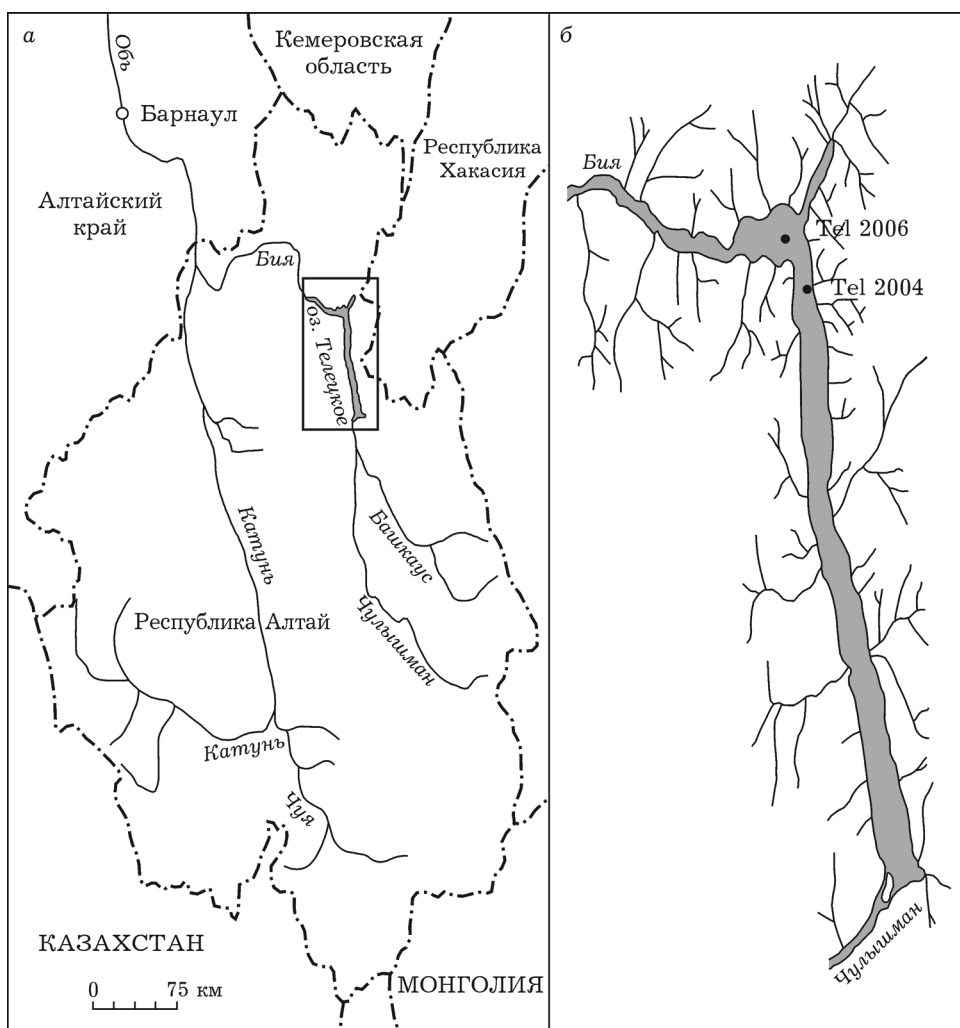


Рис. 1. Район исследования (а) и расположение точек отбора донных осадков (б)

крыта лесом, остальная площадь – высокогорной тундрой и степью. Наиболее крупная река Чулышман впадает в южную оконечность озера, дренирует 84 % площади водосбора и дает 70 % водопритока. Единственный источник – р. Бия, которая берет начало в северо-западной части озера. Характерной особенностью оз. Телецкое является отсутствие на площади его водосбора антропогенного загрязнения, которое могло бы исказить климатические отклики литолого-геохимических индикаторов.

Материалом исследования являлись колонки донных отложений из двух скважин, пробуренных в глубоководной (более 300 м) северной части оз. Телецкое. Разрез донных озерных отложений из скважины Tel 2004 мощностью 170 см, охватывающий временной интервал с 460 по 2004 г. н. э., послужил основой для сравнительного анализа динамики изменения геохимических характеристик осадка и палинологических записей, а колонка скважины Tel 2006 – для построения палеотемпературной реконструкции на глубину 4000 лет.

Для получения информации об особенностях геохимического состава ядерного материала использован высокопроизводительный анализ элементного состава осадков методом энергодисперсионного рентгено-флюоресцентного анализа на синхротронном излучении (РФА СИ) в режиме непрерывного сканирования исходного ядра на станции “Элементный анализ” ЦКП “Сибирский центр синхротронного излучения” ИЯФ СО РАН [Zolotarev et al., 2001; Дарьин и др., 2013]. Применение этого метода позволило охарактеризовать колонку осадков скважины Tel 2004 на всю ее длину с шагом 0,2–1 мм следующими геохимическими параметрами – содержания Ca, Ti, Fe, Br, Rb, Sr, Y. Одновременно в каждой точке производилось измерение отношения интенсивностей упруго- и неупругорассеянного на образце синхротронного излучения (Co/Inc) как показателя рентгеновской плотности (органическая/терригенная компонента) [Дарьин и др., 2003]. Полученная геохимическая матрица привязывалась к годичной временной шкале на основе изотопных датировок по  $^{137}\text{Cs}$  [Бобров и др., 1999] и  $^{14}\text{C}$  [Kalugin et al., 2012].

По этой же колонке проведен палинологический анализ с целью выявления основных типов растительности [Andreev et al., 2007; Рудая и др., 2009]. На спорово-пыльцевой анализ отобрано 67 образцов ядра с интервалом 0,3–0,5 см, которые обрабатывались по стандартной палинологической методике [Faegri, Iversen, 1989]. Количественная оценка изменений основных растительных формаций производилась методом биомных реконструкций [Prentice et al., 1996].

В качестве реконструируемого климатического параметра выбрана температура. На метеостанции Яйлю, расположенной на берегу Телецкого озера, систематические наблюдения за температурным режимом ведутся только с 1932 г., в то время как на метеостанции г. Барнаул (350 км к СЗ от озера) инструментальные измерения температуры осуществляются с 1840 г. Сопоставление временных рядов среднегодовых температур с этих метеостанций показало практически полную синхронность, с тем только различием, что среднегодовые температуры г. Барнаул на 1 °C выше. Поэтому для дальнейших построений, с учетом указанной поправки, использовался более длинный инструментальный ряд метеостанции г. Барнаул.

Поскольку в данной работе речь идет о палеоклиматических реконструкциях, а под климатом общепринято понимать многолетний (порядка нескольких десятилетий) статистический режим погоды, инструментально измеренные среднегодовые температуры, геохимическая информация и данные о степном и таежном биомах, полученные при анализе ядра донных озерных осадков, методом скользящего среднего, приведены к средним 100-летним значениям. Ширина окна диктуется степенью дискретности на временной шкале палинологических данных.

В результате применения описанных методик анализа получены временные ряды, характеризующие колонку донных отложений скважины Tel 2004 на всю ее длину количественными содержаниями геохимических параметров, а также значениями таежного и степного биомов (рис. 2), которые послужили основой для их сравнительного анализа (числовые таблицы исходных данных не приводятся в силу их громоздкости – около 2000 точек по колонке).

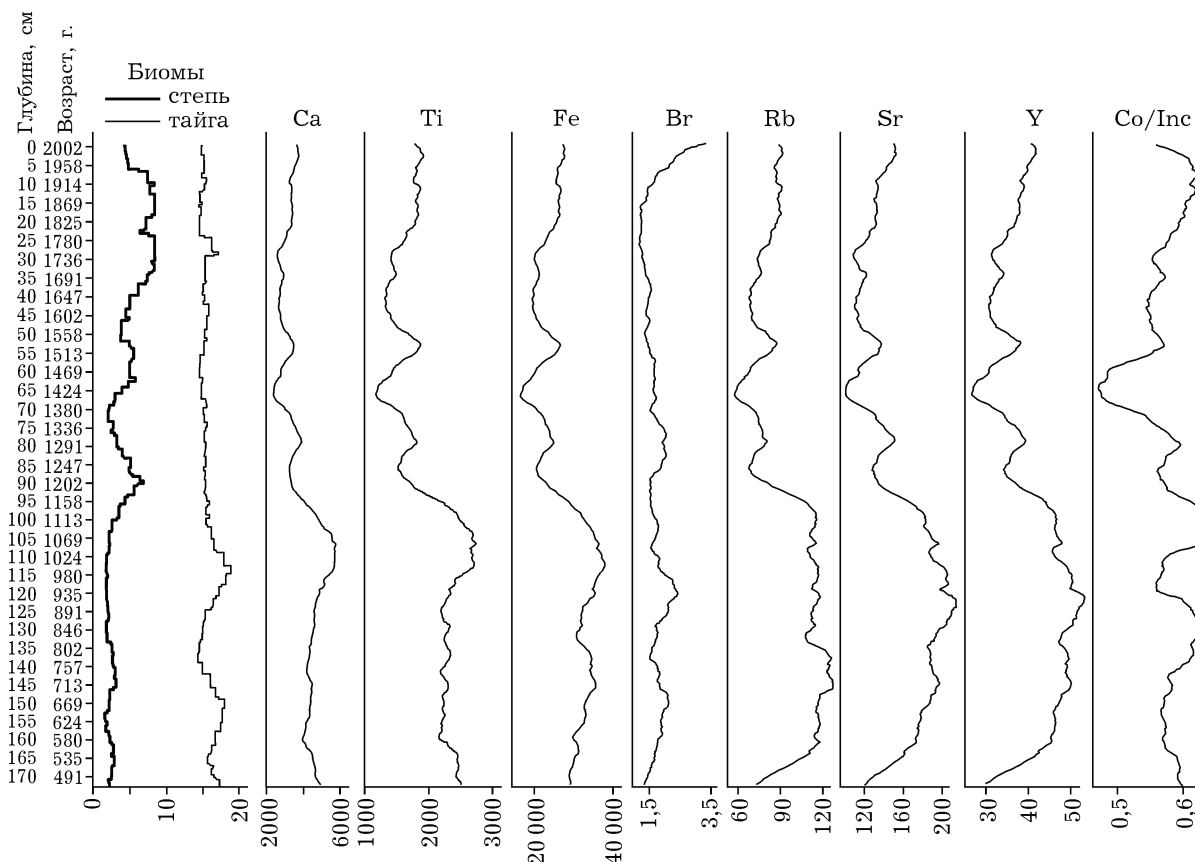


Рис. 2. Биомные и геохимические временные ряды керн донных отложений из скважины Tel 2004: биомы указаны в относительных величинах, характеризующих их вес в палинологическом спектре; геохимические показатели – в ppm; Co/Inc – в условных единицах

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дальнейшая математическая обработка исходного материала производилась с привлечением методов регрессионного, корреляционного и кросскорреляционного анализ.

Алгоритмом “Каскад”, позволяющим осуществлять поиск оптимального уравнения регрессии с одновременной минимизацией характеристических признаков [Бабич, 1980], построена трансферная функция, отражающая связь усредненных геохимических характеристик донных отложений с усредненной инструментально измеренной температурой:

$$T = 0,66311Br + 0,00766Rb + 0,035349Y - 2,6734.$$

Полученная с помощью данного решающего правила температурная реконструкция на историческом временном отрезке обладает высоким сходством с инструментальными измерениями ( $r = 0,98$  при 95%-ном довери-

тельном интервале  $\pm 0,11$  °C), а реконструкция средней 100-летней температуры на весь временной интервал (рис. 3) хорошо согласуется с известными историческими климатическими событиями – четко выражен Малый ледниковый период и предшествующий ему Средневековый климатический оптимум. Отмеченные факты позволяют считать данную палеорекоkonструкцию вполне достоверной.

В силу высокой степени дискретности палинологических временных рядов поиск функциональной зависимости вариаций степного и таежного биомов от изменения инструментально измеренных температур не представляется возможным. Поэтому для калибровки палинологических данных использовался весь температурный ряд, реконструированный по геохимии донных осадков.

Раздельное сопоставление биомных временных рядов с полученной температурной палеорекоkonструкцией по геохимическим особенностям донных отложений выявило их уме-

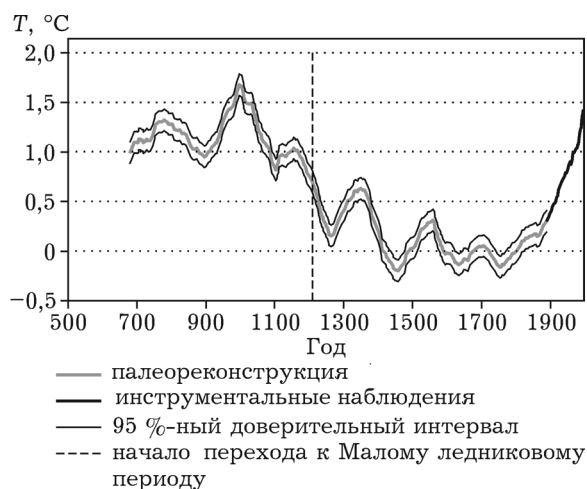


Рис. 3. Палеорекострукция средней 100-летней температуры по геохимическим особенностям донных отложений оз. Телецкое (скважина Tel 2004)

ренную ( $r = 0,43$ ) для таежного и сильную ( $r = -0,77$ ) для степного биомов корреляционную зависимость на интервале 1300 лет. Предполагая, что экосистемы могут иметь временное запаздывание отклика на изменение климатических показателей, проведен кросскорреляционный анализ, являющийся эффективным средством исследования связей между процессами, которые изменяются не синхронно, а с некоторым опозданием. В результате установлено запаздывание по времени отклика таежного и степного биомов на изменение температуры: на 75 и 26 лет соответственно. Сдвиг биомных рядов на указанные временные отрезки существенно повышает синхронность их поведения с температурным параметром, реконструируемым по геохимии донных осадков (рис. 4).

С учетом установленного временного сдвига регрессионным анализом получена трансферная функция, количественно отражающая функциональную связь между совместным поведением таежного и степного биомов и температурой:

$$T = 0,1633 \text{ Тайга} - 0,151 \text{ Степь} - 1,3817.$$

Температурный показатель, реконструированный с помощью указанного уравнения, с высокой степенью точности совпадает с реконструкцией температуры ( $r = 0,85$  при 95%-ном доверительном интервале  $\pm 0,38$  °C), построенной по геохимии донных отложений (рис. 5).

Полученное регрессионное уравнение позволило нарастить температурную реконст-

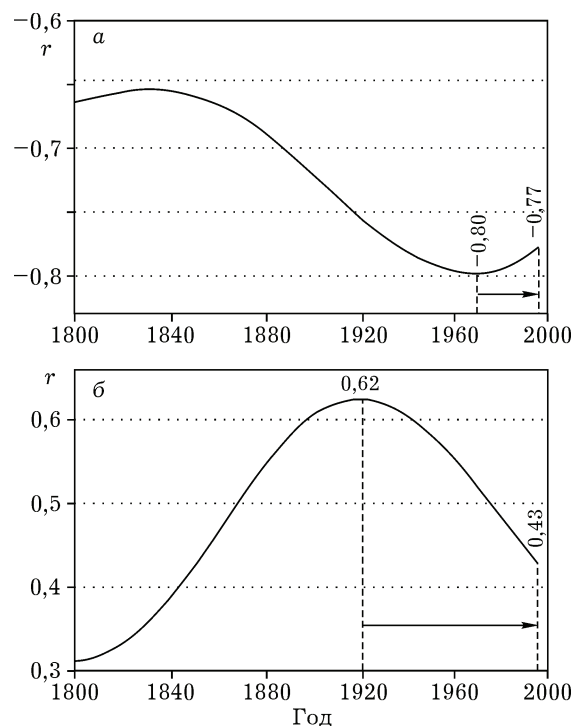


Рис. 4. Кросскорреляционные функции, отражающие динамику изменения коэффициентов корреляции ( $r$ ) значений степного (а) и таежного (б) биомов со средней 100-летней температурой при перемещении биомов вниз по временной шкале. Стрелочками показано запаздывание отклика биомов на изменение климатического параметра

рукцию на 2900 лет (до 2150 г. до н. э.) на материале скважины Tel 2006 (рис. 6), по керну которой проведен аналогичный палинологический анализ с выделением степного и таежного биомов [Rudaya et al., 2010].

Исследование особенностей донных озерных отложений широко используется при изучении палеоклимата. Полезной информацией, извлекаемой при анализе керна и несущей отклик на климатические вариации, являются особенности геохимического состава донных осадков и палинологические данные.

Современные аналитические возможности непрерывного сканирования керна позволяют достигать очень высокого пространственного разрешения при изучении геохимических особенностей донных отложений, что дает возможность производить их калибровку на относительно коротких инструментальных временных интервалах и на этой основе строить палеоклиматические реконструкции. Наши исследования керна оз. Телецкое в очередной раз подтвердили, что геохи-

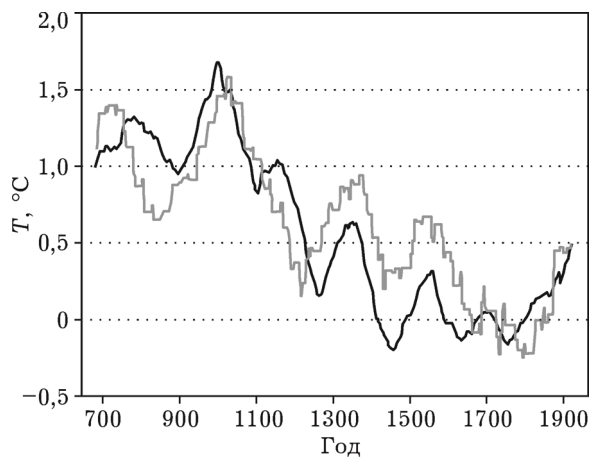


Рис. 5. Сопоставление реконструкций средних 100-летних температур по геохимии донных отложений (черная линия) и по совокупности значений степного и таежного биомов (серая линия) с учетом временного запаздывания их отклика на климатический параметр

мические особенности озерных осадков дают хороший отклик на климатические изменения. Построенная палеотемпературная реконструкция на предыдущие 1300 лет обладает очень высокой сходимостью с инструментальными метеонаблюдениями и отчетливо отображает основные климатические события, происходившие в этот период (см. рис. 3).

Палинологические методы, привлекаемые для реконструкции палеоклиматов, относятся к аналоговому типу, базирующемуся на

принципе актуализма. Это обусловлено тем, что палинологические временные ряды характеризуются высокой временной дискретизацией (временное разрешение редко составляет менее 50 лет [Tarasov et al., 2007; Клименко и др., 2013]), и поэтому не могут быть непосредственно увязаны с климатическими параметрами путем калибровки на метеоданных. В данной работе предпринята попытка удлинить калибровочный температурный временной ряд, используя в этом качестве палеотемпературную реконструкцию по геохимическим особенностям донных осадков, учитывая ее хорошую сходимость с инструментальными замерами. Предварительно палинологические данные приводились к средне-столетним значениям, что позволило перейти от исходно дискретных данных к непрерывным временным рядам, сопоставимым с непрерывными рядами геохимических характеристик донных осадков. В процессе калибровки получена трансферная функция, которая в явном виде выражает связь температурных колебаний с совместным поведением таежного и степного биомов и позволяет реконструировать палеотемпературу в любой точке временной шкалы. Сопоставление реконструкций, полученных по геохимическим и палинологическим данным, показывает их высокую коррелируемость (см. рис. 5). Аналогичный методический подход выявля-

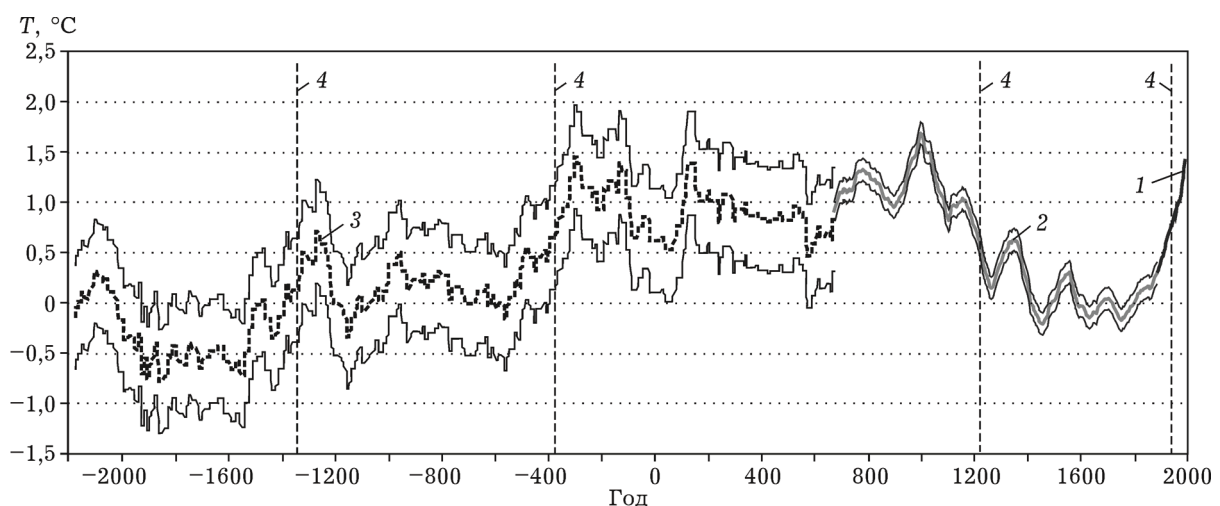


Рис. 6. Сводная реконструкция средних 100-летних температур с указанием 95%-ного доверительного интервала (доверительный интервал для реконструкции по палинологическим данным указан с учетом погрешности при реконструкции по геохимии донных отложений).

1 – инструментальные наблюдения, 2 – реконструкция по геохимии донных отложений, 3 – реконструкция по биомам, 4 – предполагаемые рубежи наиболее крупных климатических перестроек

ния связи одного косвенного параметра с климатическим через другой косвенный параметр описан в литературе под названием “*проху-to-проху calibration*” [Gunten et al., 2012].

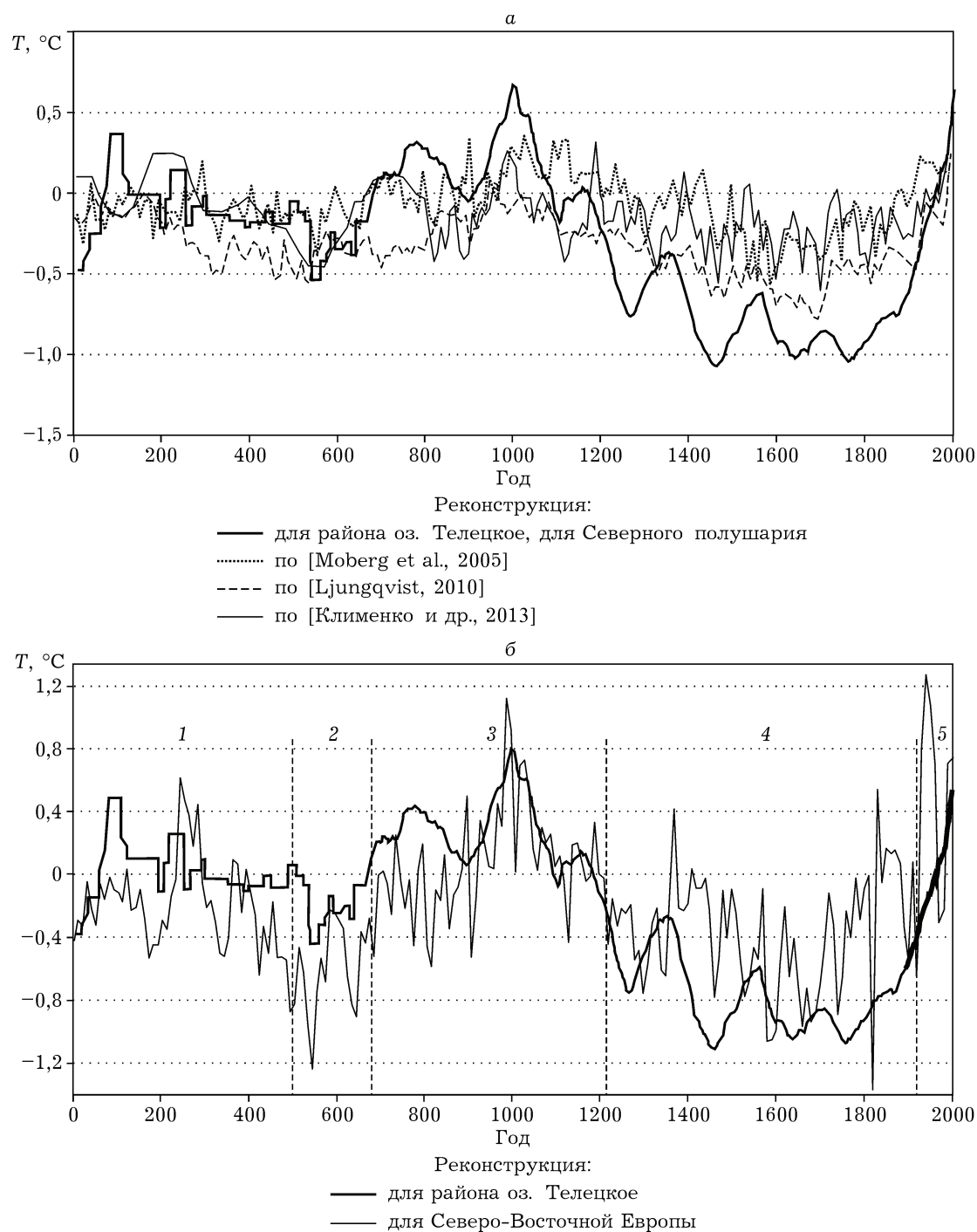
Таким образом, применение описанных выше методических приемов при совместном исследовании геохимии озерных осадков и палинологического отклика на изменения климата позволило объединить разномасштабные по времени природные сигналы, что дало возможность при их комплексном использовании нарастить температурную реконструкцию на глубину 4000 лет по палинологическим откликам в керне из более глубокой скважины Tel 2006. Следует также отметить, что применение принципа “*проху-to-проху calibration*” позволило, в отличие от традиционного палинологического подхода, в количественном выражении выявить запаздывание откликов растительных экосистем от температурных колебаний, что следует учитывать при реконструкции климата.

Представляется интересным сопоставление полученной температурной хронологии с другими региональными и полушарными реконструкциями. Сравнение с некоторыми реконструкциями северного полушария за последние два тысячелетия (рис. 7, а) показывает, что все значимые климатические события, наблюдаемые в северном полушарии, в полной мере проявились и в Южной Сибири, но температурные перепады выражены более контрастно. Это объясняется тем, что полушарные реконструкции являются усредненными, а также, по-видимому, проявляются условия резко континентального климата в центральной части Евразии.

Сопоставление нашей комбинированной реконструкции с температурной хронологией для Северо-Восточной Европы (см. рис. 7, б) демонстрирует их очевидное совпадение как по общему тренду, так и по абсолютным температурным величинам и рубежам климатических перестроек. Более изрезанный характер реконструированной температурной кривой для Северо-Восточной Европы объясняется меньшей степенью усреднения данных. На обеих реконструкциях отчетливо выражены все наиболее значимые исторические климатические события: Римский оптимум, максимально проявившийся в I–III вв., относительно короткий пессимум раннего Сред-

невековья (V–VII вв.), Средневековый оптимум (VII–XIII вв.), достигший максимума на рубеже первого и второго тысячелетий, похолодание, длившееся с XIII до начала XX в., с наиболее холодным периодом в XV–XVIII вв. (Малый ледниковый период) и современное потепление. Перечисленные климатические события сопровождалась не монотонным повышением или понижением температур, а представляли собой чередование более холодных и теплых периодов на фоне общего тренда потепления или похолодания. Отметим также, что на обеих региональных реконструкциях присутствуют периоды, в которых температурные максимумы сопоставимы, а в некоторых случаях даже превышают современные. Обращает на себя внимание явно выраженная квазипериодичность температурных вариаций на Южно-Сибирской реконструкции со средним периодом 195 лет. Аналогичные 192–200-летние климатические ритмы для Северо-Восточной Европы, связанные, по-видимому, с колебаниями солнечной активности, отмечены в литературе [Слепцов, Клименко, 2005; Клименко и др., 2013].

Анализ всей палеотемпературной реконструкции на глубину 4000 лет (см. рис. 6) показывает, что в Южной Сибири в период с XX по IV в. до н. э. наблюдалась общая тенденция повышения температур. Данное климатическое событие происходило не постепенно, а в несколько этапов. Наиболее холодным был период до XIII в. до н. э., когда вековые температуры составляли в среднем  $-0,3$  °C при минимальной  $-0,7$  °C. Затем наступил период относительного потепления, длившийся с XIII по IV в. до н. э. Средние вековые температуры в это время составляли  $+0,2$  °C. После климатической перестройки в IV в. до н. э. наступает самый теплый продолжительный климатический этап, длившийся до начала похолодания, включающего Малый ледниковый период. Средние вековые температуры в этом временном интервале составляли  $+1$  °C, а температурный максимум  $+1,5$  °C был достигнут при Средневековом климатическом оптимуме на рубеже I и II тысячелетий н. э. Следует заметить, что аналогичная резкая климатическая перестройка на рубеже IV–V вв. до н. э., выразившаяся в переходе от холодных к теп-



*Рис. 7.* Сопоставление реконструкции средних 100-летних температур для района оз. Телецкое: *a* – с реконструкциями декадных температур для Северного полушария; *б* – с реконструкцией декадных температур для Северо-Восточной Европы [Клименко и др., 2013]. Цифрами отмечены наиболее значимые климатические события: 1 – Римский оптимум; 2 – климатический пессимум раннего Средневековья (эпоха Великого переселения народов); 3 – Средневековый оптимум; 4 – похолодание с Малым ледниковым периодом; 5 – современное потепление. Температурные аномалии представлены в отклонениях от среднего за период 1961–1990 гг.



лым обстановкам, отмечается и в других регионах Сибири, в частности в Байкальском [Maskay et al., 2013].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая значимая корреляция временных рядов, отражающих геохимические свойства озерных отложений, с многолетними инструментальными температурными наблюдениями подтверждает тесную связь процесса осадкообразования в Телецком озере с климатическими изменениями в данном регионе.

Применение процедур усреднения дискретных палинологических откликов и их калибровки на температурной реконструкции по геохимии осадков (методика “проху-топроху calibration”) позволяет с достаточно высокой точностью осуществлять непосредственную увязку данных спорово-пыльцевого анализа с температурными вариациями.

Установлено запаздывание по времени отклика экосистем на климатические изменения. Причем таежный биом оказывается более инертным, чем степной: время релаксации первого составляет 75 лет, а второго – 26 лет.

Комплексное использование геохимического состава озерных осадков и палинологических данных позволило построить палеореконструкцию средних 100-летних температур для региона Южной Сибири на глубину 4000 лет. Анализ реконструкции показывает, что на протяжении второй половины голоцена на этой территории произошли четыре наиболее значимые климатические перестройки, в ходе которых наблюдался переход от холодного периода (XX–IV вв. до н. э.) к теплоте (IV в. до н. э. – XII в. н. э.), сменившемуся затем новым похолоданием (XIII–XX вв. н. э.) и современным потеплением.

Сопоставление данной реконструкции с палеотемпературными полушарными реконструкциями в интервале двух последних тысячелетий показало, что все глобальные климатические события, имевшие место в Северном полушарии, в полной мере проявились и в Южной Сибири. Сравнение же с аналогичной реконструкцией для Северо-Восточной Европы показало практически полное совпадение, что говорит о том, что смена климатических событий в этом регионе и в Южной Сибири происходила по единому сценарию.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 13-05-00621 и междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 34.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бабич В. В. Итерационный метод целевого классифицирования и упорядочения объектов // Распознавание образов в задачах качественного прогноза рудных месторождений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. С. 59–67.
- Бобров В. А., Калугин И. А., Клеркс Ж., Дучков А. Д., Щербов Б. Л., Степин А. С. Современная скорость осадконакопления в Телецком озере по данным гамма-спектрометрии ( $^{137}\text{Cs}$ ) // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 4. С. 530–536.
- Дарьин А. В., Гольдберг Е. Л., Калугин И. А., Федорин М. А., Золотарев К. В., Максимова Н. В. Отношение интенсивностей упруго- и неупругорассеянного на образце синхротронного излучения – климатически коррелированный палеосигнал в историческом слое (1860–1996 гг.) донных осадков оз. Телецкое // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2003. № 12. С. 53–55.
- Дарьин А. В., Калугин И. А. Реконструкция климата Горного Алтая по данным литолого-геохимических исследований донных осадков озера Телецкое // Изв. РАН. Сер. географическая. 2012. № 6. С. 63–70.
- Дарьин А. В., Калугин И. А., Ракшун Я. В. Сканирующий рентгеноспектральный микроанализ образцов донных осадков с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН // Изв. РАН. Сер. физическая. 2013. Т. 77, № 2. С. 204.
- Клименко В. В., Мацковский В. В., Дальман Д. Комплексная реконструкция температуры российской Арктики за последние два тысячелетия // Арктика: экология и экономика. 2013. № 4 (12). С. 84–95.
- Калугин И. А., Гольдберг Е. Л., Федорин М. А., Дарьин А. В., Золотарев К. В., Воробьева С. С., Смолянинова Л. Г. Высокоразрешающая хронология осадконакопления в Телецком озере за последние 800 лет – отклик на климатически обусловленные вариации твердого притока // Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя Сибири. Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2008. С. 373–405.
- Рудая Н. А., Андреев А. А., Калугин И. А., Дарьин А. В., Овчинников Д. В. Изменения природной среды северного российского Алтая (оз. Телецкое) в течение последних 1500 лет // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: мат-лы VI Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода 19–23 октября 2009 г. Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2009. С. 510–513.
- Селегей В. В., Селегей Т. В. Телецкое озеро. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 142 с.
- Слепцов А. М., Клименко В. В. Обобщение палеоклиматических данных и реконструкция климата Восточной Европы за последние 2000 лет // История и Современность. 2005. Вып. 1. С. 118–135.
- Физико-географическая и геологическая характеристика Телецкого озера / под ред. В. Селегей, Б. Деханджютера, Я. Клеркса, Е. Высоцкого. Тервурен: тр.

- Королевского Музея Центральной Африки (Бельгия), 2001. Т. 105. 310 с. (на рус., англ. яз.).
- Andreev A. A., Pierau R., Kalugin I. A., Daryin A. V., Smolyaninova L. G., Diekmann B. Environmental changes in the northern Altai during the last millennium documented in Lake Teletskoye pollen record // *Quaternary Research*. 2007. Vol. 67. P. 394–399.
- Fægri K., Iversen J. *Textbook of Pollen Analysis*. Chichester: John Wiley & Sons, 1989. 328 p.
- Gunten L., William J., D'Andrea W. J., Bradley R. S., Huang Y. Proxy-to-proxy calibration: Increasing the temporal resolution of quantitative climate reconstructions // *Scientific Reports*. 2012. Vol. 2, N 609. P. 1–6.
- Kalugin I. A., Daryin A. V., Babich V. V. Reconstruction of annual air temperatures for three thousand years in Altai region by lithological and geochemical indicators in Teletskoe lake sediments // *Doklady Earth Sci*. 2009. Vol. 426, N 1. P. 681–684.
- Kalugin I., Daryin A., Kholodova L., Maksimova N., Ovchinnikov D. High frequency environmental variability restored by geochemistry of lake sediments // 12-th Int. Multidisciplinary scientific Geoconf. SGEM 2012, 17–23 June 2012, Albena, Bulgaria // *Conf. proc.* Vol. 4. P. 325–330.
- Ljungqvist F. C. A new reconstruction of temperature variability in the extra-tropical northern hemisphere during the last two millennia // *Geogr. Ann.* 2010. Vol. 92, N 3. P. 339–351.
- Mackay A. W., Bezrukova E. V., Boyle J. F., Holmes J. A., Panizzo V. N., Piotrowska N., Shchetnikov A., Shilland E. M., Tarasov P., White D. Multiproxy evidence for abrupt climate change impacts on terrestrial and freshwater ecosystems in the Ol'hon region of Lake Baikal, central Asia // *Quaternary International*. 2013. Vol. 290–291. P. 46–56.
- Moberg A., Sonechkin D. M., Holmgren K., Datsenko N. M., Karlen W. Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data // *Nature*. 2005. Vol. 433, N 7026. P. 613–617.
- Prentice I. C., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka // *Climate Dynamics*. 1996. Vol. 12. P. 185–194.
- Rudaya N., Li H.-C., Andreev A., Kalugin I., Daryin A., Lee Ts.-H. Environmental changes in the northern Russian Altai during late Holocene derived from Lake Teletskoye sediment cores // *Abstracts of 8th European Palaeobotany: Palynol. Conf.* 2010. P. 204.
- Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E., Nakagawa T., Wagner M., Kulagina N., Letunova P., Abzaeva A., Granoszewski W., Riedel F. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from lake Baikal pollen records // *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 2007. Vol. 252. P. 440–457.
- Zolotarev K. V., Goldberg E. L., Kondratyev V. I., Kulipanov G. N., Miginsky E. G., Tsukanov V. M., Phedorin M. A., Kolmogorov Y. P. Scanning SR-XRF beamline for analysis of bottom sediments // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2001. Vol. 470, N 1, 2. P. 376–379.

## **Complex Use of Geochemical Features of Bottom Deposits and Pollen Records for Paleoclimate Reconstructions (on the Example of Lake Teletskoye, the Altai Republic)**

V. V. BABICH<sup>1</sup>, N. A. RUDAYA<sup>2,3</sup>, I. A. KALUGIN<sup>1</sup>, A. V. DARIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS  
630090, Novosibirsk, Koptyuga ave., 3*

<sup>2</sup> *Institute of Archeology and Ethnography SB RAS  
630090, Novosibirsk, Lavrentieva ave., 17*

<sup>3</sup> *Novosibirsk State University  
630090, Novosibirsk, Pirogova str., 2*

*E-mail: vbabich@igm.nsc.ru, nrudaya@yandex.ru*

The delayed response of taiga and steppe biomes to climatic changes was detected on the example of Lake Teletskoye. On the basis of the complex use of geochemical features of bottom sediments and pollen records a paleoreconstruction was made. It showed average 100-year temperatures at the depth of 4000 years with the isolation of the assumed boundaries of climatic reconstructions in XIV, IV centuries B.C. and XIII, XX centuries A.D. The comparison between temperature reconstruction for Lake Teletskoe with temperature time series for the Northern hemisphere and North-Eastern Europe was carried out.

**Key words:** climate, paleoreconstruction, bottom sediments, pollen analysis, biomes.