

СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

УДК 551.583.7:551.782/79(283.256.341)

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ОЗЕРА КОТОКЕЛЬ: (район озера Байкал)

Е.В. Безрукова, П.Е. Тарасов*, Н.В. Кулагина**, А.А. Абзаева,
П.П. Летунова, С.С. Кострова

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия

** Freie Universitat Berlin, Habelschwerdter Allee 45, Berlin, 14195 Germany*

*** Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия*

Палинологический и AMS¹⁴C анализы для верхних 9 м из седиментационного разреза донных отложений оз. Котокель позволили впервые для этой территории реконструировать динамику климата и ландшафтов в позднем ледниковье и голоцене с временным разрешением около 120 лет. Показано, что климатические условия Котокельской котловины в терминацию I (~15500—11000 лет назад) характеризовались кратковременными и резкими изменениями, приводившими к глубоким переменам в структуре ландшафтов и составе растительности. Выделяются пять таких коротких интервалов, длительность которых варьировала от 400 до 1200 лет (15 500—14 700, 14 700—14 300, 14 300—13 200, 13 200—12 500, 12 500—11 700 л.н.). Снижение степени континентальности климата имело место в начале голоцена (около 11 000 л.н.) и продолжалось почти до 7000 л.н. Позднее 7000 л.н. континентальность климата возрастала, что отразилось в существенном снижении среднегодовой суммы атмосферных осадков, повышении средних летних температур и снижении зимних.

Пыльцевая запись из оз. Котокель удовлетворительно коррелирует с общим ходом изменения климата Северного полушария. При этом амплитуда изменений растительности и климата позднеледниковья в записи из отложений оз. Котокель оказалась на сегодняшний день наиболее ясно выраженной, чем в предыдущих региональных пыльцевых записях, что могло быть обеспечено высокой чувствительностью экосистемы небольшого озерного водоема, расположенного в глубине континента на границе двух крупных экотон (лесного и степного), к дефициту влаги.

Новая детальная датированная пыльцевая запись из донных отложений оз. Котокель может рассматриваться как опорная для детальной реконструкции вариаций региональной растительности и динамики климатических изменений за последние 15 000—15 500 лет. Полученные результаты уточнили характер изменений региональной растительности, а надежная возрастная модель обеспечила проведение внутрорегиональных и межрегиональных корреляций изменений природной среды.

Пыльцевой анализ, озерные отложения, терминация I, голоцен, динамика ландшафтов, изменение климата, Забайкалье.

PALYNOLOGICAL STUDY OF LAKE KOTOKEL' BOTTOM SEDIMENTS

E.V. Bezrukova, P.E. Tarasov, N.V. Kulagina, A.A. Abzaeva, P.P. Letunova, and S.S. Kostrova

Pollen and AMS¹⁴C analyses of bottom sediments from the upper nine meters of the Lake Kotokel' section were carried out. The regional climate and landscape dynamics during the Late Glacial and Holocene have been reconstructed with an average time resolution of ~120 years. It is shown that the climatic conditions in the Kotokel' basin during Termination I (~15.5–11.0 ka) were characterized by short drastic changes resulting in reorganization of landscapes and vegetation. Five short (400–1200 years) intervals have been recognized: 15.5–14.7, 14.7–14.3, 14.3–13.2, 13.2–12.5, and 12.5–11.7 ka. In the early Holocene (~11 ka), the climate became less continental and stayed such till ~7 ka. Later on, it again became more continental, which led to a significant decrease in average annual precipitation and winter temperatures and an increase in average summer temperatures.

The pollen record from Lake Kotokel' agrees with the general climatic trend for the Northern Hemisphere. The amplitude of vegetation and climate variations during the Late Glacial is best expressed as compared with the previous regional pollen records. This is probably because the ecosystem of the small lake localized deep inside the continent, at the boundary of two large ecotones (forest and steppe), is highly sensitive to moisture deficit.

The new dated detailed pollen record from the Kotokel' bottom sediments might be regarded as a key for the reconstruction of variations in regional vegetation and climatic dynamics for the last 15–15.5 kyr. The results obtained refined the character of changes in regional vegetation, and the reliable age model permitted intra- and interregional correlations of environmental changes.

Pollen analysis, lacustrine sediments, Termination I, Holocene, landscape dynamics, climate changes, Transbaikalia

ВВЕДЕНИЕ

Палеоклиматические, особенно палинологические записи из внутриконтинентальных регионов важны для понимания прошлых изменений в климатической системе Земли, оценки чувствительности экосистем таких регионов к будущим климатическим вариациям. Пыльцевые записи из ключевого объекта северной части Центральной Азии — донных отложений оз. Байкал и торфяников его бассейна — показали общую направленность реакции региональной растительности на изменения глобального климата в позднем ледниковье и голоцене [Безрукова и др., 1991, 1996, 2008а; Bradbury et al., 1994; Takahara et al., 2000; Horiuchi et al., 2000; Demske et al., 2005; Tarasov et al., 2007]. Однако часть пыльцевых записей имеет низкое временное разрешение [Безрукова и др., 1991; Bradbury et al., 1994], другие слабо обеспечены хронологическим контролем [Безрукова и др., 1996], несмотря на явный прогресс в абсолютном датировании [Krivonogov et al., 2004]. В некоторых записях утеряна часть информации для позднего голоцена [Demske et al., 2005] или представлена лишь динамика обилия небольшого числа пыльцевых таксонов древесной и кустарниковой флоры, определенных до уровня рода, что сильно ограничивает достоверность палеореконов [Horiuchi et al., 2000]. К тому же реконструкция палеосреды позднего ледниковья по пыльцевым записям из оз. Байкал оказалась проблематичной из-за малого количества пыльцы и спор в отложениях этого временного интервала [Tarasov et al., 2007]. Низкое содержание в отложениях озера органического материала определяет трудности в получении надежного хронологического контроля реконструкций, что и заставляет искать новые объекты исследования. Для этой цели решено было использовать недавно полученную палиностратиграфическую последовательность из донных отложений оз. Котокель, возраст которой составляет более 15 000 лет [Безрукова и др., 2008б]. Озерные отложения подобных малых озер представляют собой уникальные архивы природной среды. Озеро неглубокое и в виде изолированной системы могло существовать, по крайней мере, с позднего плейстоцена [Кордэ, 1968; Krivonogov, Takahara, 2003; Urabe et al., 2004; Хлыстов и др., 2008].

В нем накопился мощный слой органических илов, надежно датированных AMS ^{14}C методом. Положение Котокельской котловины в зоне взаимодействия трех крупнейших систем атмосферной циркуляции (Азиатского антициклона, северо-атлантического переноса и тихоокеанского муссона) и развитие здесь лесостепных и степных ландшафтов делает экосистему котловины очень восприимчивой к изменению климатических параметров. В настоящей статье представлена реконструкция растительности и климата котловины и бассейна оз. Котокель на основе детальной пыльцевой стратиграфии его отложений, затем сравнивается с таковой из других районов Сибири и обсуждается динамика природной среды Восточной Сибири в связи с изменением климата умеренных широт Евразии.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Первая колонка донных отложений озера длиной около 550 см была получена в 1960 г. [Виппер, 1962] и изучена методами радиоуглеродного, палинологического, альгологического анализов с временным разрешением пыльцевой записи примерно в 300—350 лет. Значительная ошибка определения ^{14}C возраста (600—1700 лет) существенно снизила ценность полученной хронологической шкалы. Дополнительные данные пыльцевого анализа для этого же керна появились позднее [Тарасов и др., 2002] и значительно не отличались от первоначальных. Новые пыльцевые записи из керна донных отложений оз. Котокель получены в 2004—2005 гг. Результаты палинологического исследования керна 2005 г. представлены японскими коллегами [Shichi et al., 2009]. Они исследовали керны с интервалом в 20 см и, следовательно, с временным разрешением около 300 лет. Интервал отложений, возраст которых составляет 15 000 лет, был изучен российскими палинологами и опубликован в виде короткой статьи [Безрукова и др., 2008б]. Полный керн отложений с возрастом нижних горизонтов более 47 000 лет представлен в другой работе [Shichi et al., 2009]. Для этой записи получено временное разрешение, близкое к вековому. Пыльцевая запись подобной детальности из малых озер бассейна оз. Байкал получена впервые. Она позволит выявить коротковременные изменения природной среды, в том числе климатические флуктуации последнего переходного периода. Эта запись и используется в настоящей статье для получения первых полуколичественных параметров климата Южного Прибайкалья.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

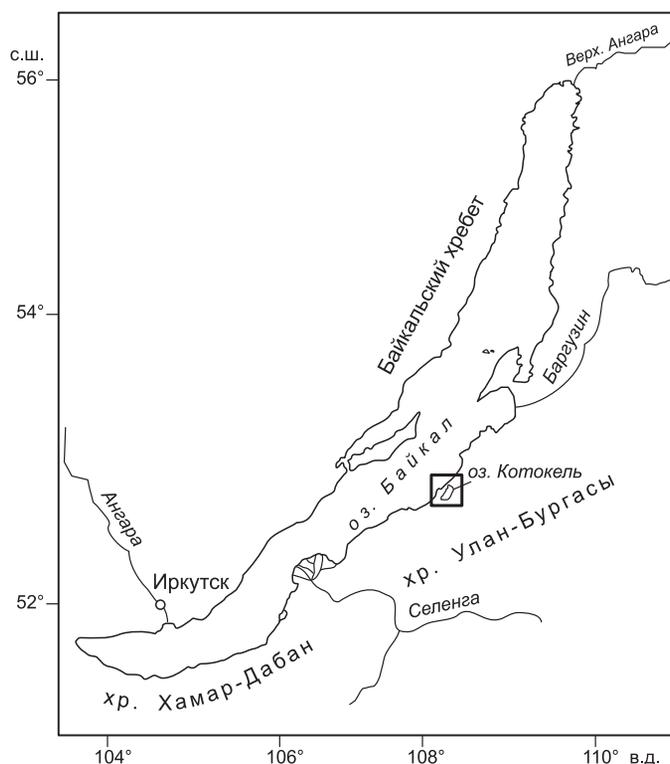


Рис. 1. Географическое положение оз. Котокель.

из сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*, лиственницы сибирской *Larix sibirica*, березы высокоствольной *Betula* с примесью ольховника *Duschekia fruticosa* [Байкал..., 1993]. Сосна сибирская *Pinus sibirica*, пихта *Abies sibirica*, ель *Picea obovata* в Котокельской котловине не встречаются, но растут восточнее на расстоянии нескольких километров на горных склонах хребтов. В составе локальных сообществ побережья оз. Котокель распространена прибрежно-водная растительность из *Sparganium*, *Phragmites*, *Niphar*. Заболоченные участки покрыты злаками *Calamagrostis*, осоками *Carex limosa*, *C. rhynchophysa*, *C. lasiocarpa*. Березка кустарниковая *Betula* sect. *Nanae*, багульник болотный *Ledum palustre*, клюква *Oxycoccus palustris* занимают нижний ярус между вторым береговым валом и заболоченными участками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Бурение. Летом 2004 г. на глубине около 4 м была вскрыта верхняя толща озерных осадков. Для бурения использовался ручной бур Livingston-type piston corer. Полученный керн имел ненарушенную структуру. Верхние 470 см осадков представлены темной гиттией. Ниже (470—700 см) залегает более плотная и светлая по сравнению с вышележащим слоем гиттия. Слой в интервале 700—900 см образован иловатыми глинами.

Опробование. Керн был опробован в лабораторных условиях Института геохимии СО РАН (г. Иркутск). Для пылевого анализа отобраны 130 образцов объемом 1.5 см³ влажного осадка.

Пылевой анализ. Экстракция пылевых зерен и спор проведена по стандартной методике [Berglund, Ralska-Jasiewiczowa, 1986]. Результаты анализа представлены на пылевой диаграмме (рис. 2). Процентное соотношение пылевых таксонов рассчитывалось от суммы всех пылевых зерен, исключая пыльцу гиетрофитов. Относительное обилие пыльцы гиетрофитов и спор подсчитано от общей суммы всей пыльцы и спор. С учетом изменений в пылевой стратиграфии на диаграмме выделены шесть локальных пылевых зон. Расчет возраста границ пылевых зон и палинологически изученных уровней в керне проведен методом интерполяции между датированными горизонтами.

Радиоуглеродное датирование. Из слоя гиттии получено три AMS ¹⁴C даты: 6070 ± 60 (Beta-207356), 10 680 ± 40 (Beta-209638) и 11 670 ± 60 (Beta-207357) л.н. [Безрукова и др., 2008; Shichi et al., 2009]. Значения радиоуглеродного возраста приведены в соответствии с калибровочным возрастом с использованием программы CalPal [Danzeglocke et al., 2008]. Построенная по трем датам возрастная модель [Безрукова и др., 2008; Shichi et al., 2009] предполагает непрерывную аккумуляцию осадков, что

Озеро Котокель (458 м над ур.м.) находится на западе Республики Бурятия, примерно в двух километрах к востоку от берега оз. Байкал (рис. 1), и отделено от него горами. Длина оз. Котокель составляет почти 15 км, ширина около 5 км, средняя глубина воды в озере равна 5—6 м (максимальная ~15 м). Сток озерных вод в Байкал осуществляется на севере оз. Котокель через реки Исток и Турка.

Климат района континентальный, с холодной зимой и умеренно-теплым летом. Средняя температура января составляет около -20 °С, июля +16 °С, среднегодовая сумма атмосферных осадков в котловине — около 400 мм [Байкал..., 1993]. Господствующим направлением переноса воздушных масс в течение года остается западное. Наиболее влажными являются июль и август, когда наступает сезон ослабления западного переноса, при этом активизируются меридиональная циркуляция воздушных масс и циклоническая деятельность на полярном фронте. Циклоны приносят с юго-востока теплый и влажный воздух и вызывают сильные дожди.

Современная растительность побережья оз. Байкал и котловины оз. Котокель представлена бореальными хвойными и лиственными лесами. Вокруг оз. Котокель преобладают леса

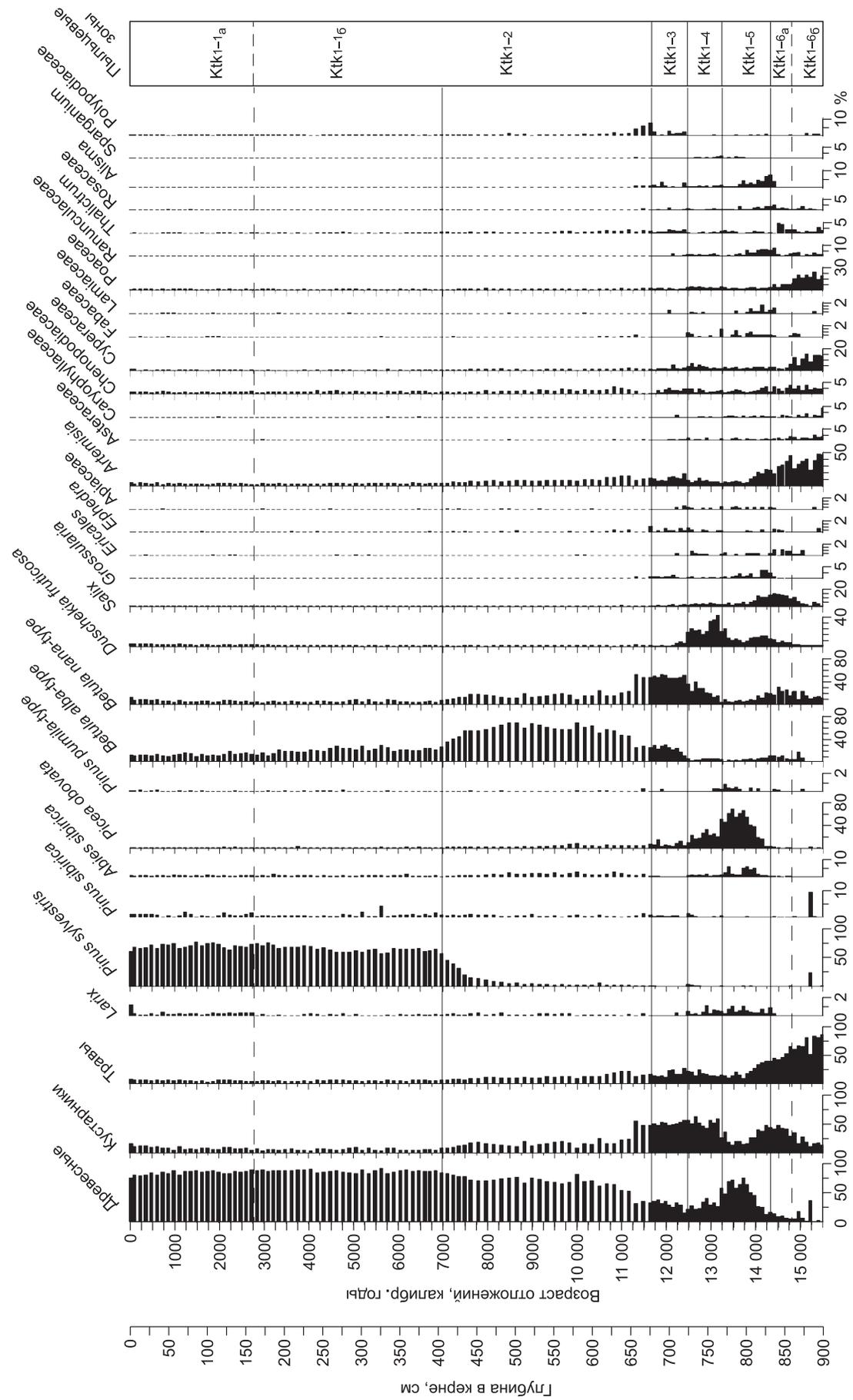


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений оз. Котоколь, керн Кtk1.

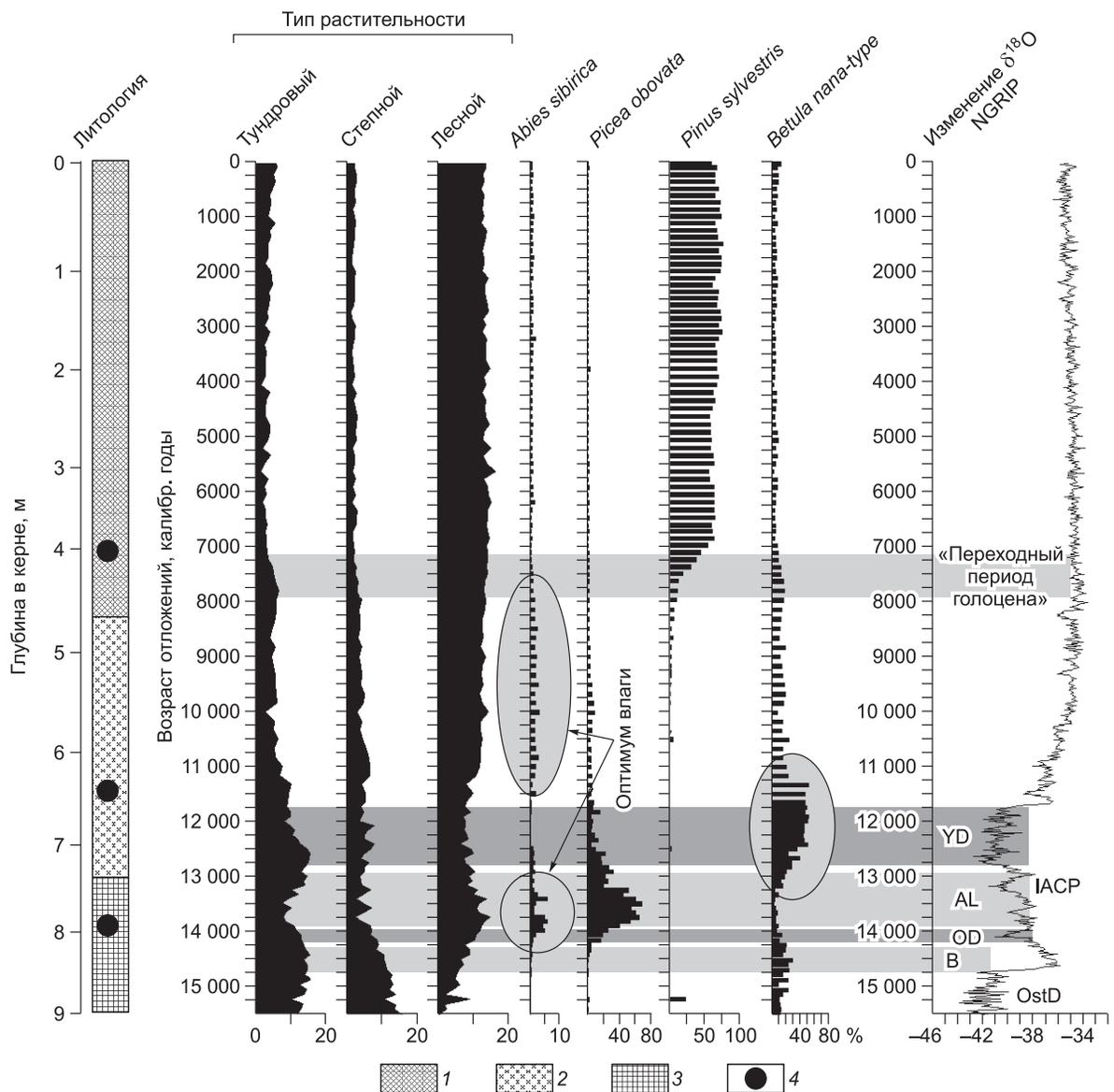


Рис. 3. Динамика типов растительности в бассейне оз. Котокель за последние 15 500 лет.

1 — темная, почти черная, гиттия; 2 — более светлая и плотная гиттия; 3 — иловатые глины; 4 — показано положение датированных уровней в керне. Стадиально-интерстадиальные события позднего ледникового: YD — поздний дриас, IACP — холодный период внутри аллереда, AL — аллеред, OD — древний дриас, B — белинг, OstD — древнейший дриас.

подтверждается и литологией отложений. На этой модели основана хронология изменений растительности и климата, приведенная в данной статье.

Группировка в типы растительности. Разнообразие полученных пыльцевых таксонов преобразовано в типы растительности согласно группировке, предложенной ранее [Tarasov et al., 2007]. Затем динамика лесного, тундрового, степного типов растительности использовалась для дополнительной характеристики изменений природной среды и климата, поддерживавшего преобладание такой растительности в бассейне оз. Котокель (рис. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пыльцевая стратиграфия. Изменения в составе пыльцевых спектров позволяют выделить на диаграмме 6 пыльцевых зон — Ktk1-1—Ktk1-6 (см. рис. 2). Описание зон приводится снизу вверх.

Ktk1-6₆ — Chenopodiaceae—Poaceae—*Artemisia* (900—860 см, ~15 500—14 700 л.н.). В спектрах господствует пыльца трав (60—85 %). Преобладает пыльца полыни *Artemisia*, злаков Poaceae, осок Су-

peraseae. Пыльца кустарников *Betula* sect. *Nanae*, ивы *Salix* составляет до 20 и 15 % соответственно. Пыльца *Pinus sibirica* и *Pinus sylvestris*, формирующая отдельный пик, является, скорее всего, заносной.

Ktk1-6_a — *Salix-Betula* sect. *Nanae*—*Artemisia* (860—830 см, ~14 700—14 300 л.н.). Граница между Ktk1-6_b и Ktk1-6_a характеризуется повышением обилия пыльцы кустарников — *Betula* sect. *Nanae*, *Salix* и господством этой пыльцы в спектрах подзоны Ktk1-6_a. На границе с зоной Ktk1-5 проявился пик пыльцы гигофитов — *Alisma*, *Sparganium*.

Ktk1-5 — *Larix-Abies sibirica-Picea obovata* (830—770 см, ~14 300—13 200 л.н.). В спектрах доминирует пыльца древесных растений, преимущественно ели (25—75 %), но значительно и обилие пыльцы пихты (1—6 %), лиственницы (до 1—5 %).

Ktk1-4 — *Picea obovata-Betula* sect. *Nanae*—*Duschekia fruticosa* (770—720 см, ~13 200—12 500 л.н.). Переход к этой зоне выражен значительным снижением обилия пыльцы древесных растений, особенно ели и пихты, и столь же сильным повышением обилия пыльцы ольховника и березки кустарниковой.

Ktk1-3 — *Betula* sect. *Albae-Betula* sect. *Nanae* (720—650 см, ~12 500—11 700 л.н.). Снизилось обилие пыльцы ольховника, ели. В спектрах господствует пыльца березки кустарниковой (до 60 %).

Ktk1-2 — *Abies sibirica-Betula* sect. *Albae* (650—410 см, ~11 700—7000 л.н.). Значительное снижение обилия пыльцы березки и повышение содержания пыльцы березы высокоствольной характеризует переход к зоне Ktk1-2. В спектрах господствует пыльца древесных растений, прежде всего *Betula* sect. *Albae* (55—67 %). Устойчиво сохраняется повышенное содержание пыльцы *Abies sibirica* (1—3 %).

Ktk1-1_b — *Pinus sylvestris* (410—160 см, ~7000—2700 л.н.). Для спектров подзоны типично преобладание пыльцы древесных (78—90 %) за счет пыльцы сосны (60—75 %).

Ktk1-1_a — *Larix-Betula* sect. *Nanae*—*Pinus sylvestris* (верхние 160 см, ~2700—0 л.н.). В спектрах подзоны заметно повысилось относительное обилие пыльцы лиственницы, сосны, берез обеих секций.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ

Динамика растительности и климата Котокельской котловины в позднем ледниковье и голоцене. В статье термины «древнейший дриас», «беллинг», «аллеред», «молодой дриас» использованы в климатостратиграфическом смысле, под ними подразумеваются климатические события [Wohlfarth, 1996; Yu, Eicher, 2001], а не хроностратиграфические [Mangerud et al., 1974]. Мы разделяем мнение [Wohlfarth, 1996] о том, что эти термины используются в литературе очень широко, а последовательность этих событий не оспаривается. Мы также оперируем термином «беллинг—аллеред», не разделяя эти два интерстадиала в силу того, что, во-первых, настоящая запись не обеспечена достаточным количеством датировок, во-вторых, на данном этапе исследований не представляется возможным надежно выделить разделяющее их стадиальное событие.

Формирование спектров подзоны Ktk1-6_b происходило в преимущественно минералогических, глинистых отложениях с низким содержанием органики около 15 500—14 700 л.н. Преобладание пыльцы травянистых растений и низкая насыщенность отложений пыльцой предполагает существование открытых ландшафтов с доминирующими разнотравно-марево-полынными степными группировками. Осоково-злаковые и ерниковые ассоциации могли формировать растительность заболоченных берегов озера, причем болото должно было располагаться гораздо ближе к точке бурения, чем сегодня, поскольку пыльца осок, злаков — локальный элемент спектров и далеко не разносится [Безрукова, 1999]. Судя по высокому обилию пыльцы осок и злаков (скорее всего, в группе пыльцы злаков преобладает пыльца *Phragmites* и *Calamagrostis*, которые в настоящее время наряду с несколькими видами осок формируют растительность зарастающих прибрежных участков озера), уровень воды в озере был существенно ниже современного. Сумма пыльцевых и литологических данных предполагает сухой и холодный климат, развитие многолетней мерзлоты, поддерживавшей тундровые и степные ландшафты (см. рис. 3). Согласно возрастной модели отложений, этот этап соответствует стадиальному похолоданию терминации 1 — древнейший дриас европейской климатостратиграфической шкалы [Stuiver et al., 1995]. Высокие концентрации выщелачиваемых элементов (Mg, K) в осадках оз. Байкал, сформированных ранее 14 500 лет [Chebukin et al., 2002], также свидетельствуют о существовании открытых, преимущественно безлесных, ландшафтов на бедных почвах высокой эрозии последних в холодном климате.

В начале интерстадиального потепления беллинг—аллеред (~14 700—14 300 л.н., Ktk1-6_a) в растительности котловины расширились ивовые и мезофитно-разнотравные группировки, свидетельствуя о некотором потеплении климата. На улучшение климатических условий указывают и результаты реконструкции типов растительности, демонстрируя повышение роли лесных ландшафтов (см. рис. 3). Продолжающееся потепление, похоже, было настолько значительным, что способствовало быстрому расселению в котловине оз. Котокель еловых и лиственничных лесов и появлению пихты в горном окружении котловины ~14 300—13 200 л.н. (Ktk1-5). Вполне определенный максимум пыльцы лиственницы, обыч-

но слабопредставленной в субрецентных и в фоссильных пыльцевых спектрах Сибири, означает значительное участие лиственницы в составе растительности [Безрукова, 1999]. Устойчивый максимум пыльцы пихты сибирской может свидетельствовать о расширении пихтовых лесов, но, скорее всего, в пределах среднегорного пояса хребтов Хамар-Дабан и Улан-Бургасы. Вряд ли пихта спускалась близко к озеру. Но приближение границ ее ареала к котловине Котокеля могло способствовать заносу значительного количества ее пыльцы в осадки озера. Распространение темнохвойной растительности говорит о глубоком улучшении климата, причем, если учесть распространение пихты, то должно было произойти повышение зимних температур и увеличение сумм атмосферных осадков, снижение общей континентальности климата. Аналогичное расширение лесной растительности началось в это же время практически на всей территории бассейна оз. Байкал [Demske et al., 2005], Горном Алтае [Blyakharchuk et al., 2007], севере Монголии [Prokopenko et al., 2007]. Похолодание внутри беллинг—аллереда ~13 300—13 400 л.н. могло стать спусковым механизмом к процессу замещения еловых и пихтовых лесов кустарниковыми группировками из душекии, а затем из ерниковой березки (Ktk1-4). Последовавшее за этим коротким, но сильным похолоданием потепление ~13 000 л.н., очевидно, не было столь интенсивным, чтобы способствовать возврату темнохвойной лесной растительности. Более того, наступление стадийных условий позднего дриаса ~12 800—12 500 л.н. стало причиной широчайшего распространения в котловине озера сообществ кустарниковой березки, господство которых продолжалось почти до 11 700—11 300 л.н. Такие глубокие изменения в составе растительности могли быть обусловлены широким развитием многолетней мерзлоты, таяние которой в летние сезоны и поддерживало господство ерниковых ассоциаций в Котокельской котловине. Отчетливо проявившийся в это время небольшой максимум пыльцы полыни и постоянное присутствие пыльцы маревых поддерживают вывод о развитии степных ассоциаций на возвышенных и хорошо прогреваемых местах обитания в условиях низкого атмосферного увлажнения. Следует отметить, что похолодание обусловило расширение тундровой растительности и сокращение, но не исчезновение лесной растительности. Хвойные древесные могли оставаться в виде отдельных островов, о чем свидетельствует относительно низкое, но постоянное содержание пыльцы лиственницы, ели. Имеющиеся для южной котловины оз. Байкал реконструкции количественных параметров климата позднего дриаса показали, что средние температуры июля могли быть на 2—3 °С, а средние температуры января — на 8—10 °С ниже современных значений, в то время как средняя годовая сумма атмосферных осадков понижалась примерно на 50—80 мм [Tarasov et al., 2007].

Наступление голоцена в Котокельской котловине ~11 700—11 300 л.н. характеризовалось быстрым сокращением тундровой и степной растительности, расселением лесной, представленной преимущественно березовыми лесами. Период господства березовых лесов продолжался почти до 7200 л.н. (зона Ktk1-2). Наиболее важным событием этого времени стало сильное сокращение ерниковых зарослей и усиление роли пихтовых лесов в горном окружении котловины. Такие изменения растительности могли быть обусловлены общим потеплением климата, связанной с ним деградацией мерзлоты, повышением уровня озера, затопившего ранее заболоченные прибрежные пространства. Пихта требует мягких зимних, прохладных летних сезонов, мощного снежного покрова, защищающего почвы от глубокого промерзания, обилия атмосферного увлажнения наряду с наличием плодородных почв и проточного режима, что дает основание считать указанный интервал времени оптимальным с точки зрения сочетания перечисленных показателей природной среды. Период максимального распространения пихты между ~11 000 — 6000(7000) л.н. в Сибири рассматривается как оптимум голоцена [Безрукова и др., 2005, 2008а,б; Demske et al., 2005; Tarasov et al., 2007; Blyakharchuk et al., 2007]. Количественные реконструкции палеоклимата этого периода в бассейне Байкала предполагают, что летние температуры ~9500—6000 л.н. приближались к современным значениям, зимние температуры могли быть на 3—4 °С выше, а значения средней годовой суммы атмосферных осадков, вероятно, превышали современные на 100—120 мм при значительно более высоком, чем современный, индексе влажности [Tarasov et al., 2007].

Оптимум голоцена ~11 000—7000 л.н. имел место и на всей территории Северной Евразии и обычно рассматривается как следствие высокой солнечной инсоляции, завершения распада Скандинавского ледникового щита и потепления в Северной Атлантике [Kutzbach, Gallimore, 1986; Velichko et al., 1997; MacDonald et al., 2000]. На севере Тибетского плато климатический оптимум голоцена датируется от 8000 до 5000 л.н., характеризуется высоким эффективным почвенным увлажнением из-за таяния снега и ледников. Столь позднее проявление оптимума голоцена могло быть следствием запаздывания ответа океанических областей низких широт на пик инсоляции в высоких широтах 9000—8000 л.н. [Feng et al., 2006]. Оптимум голоцена на севере Центрального Китая также имел место ~10 000—7000 л.н. и определялся как пик активности восточно-азиатского муссона с максимальными за голоцен значениями суммы атмосферных осадков летом [Xiaoqiang et al., 2004].

Резкое повышение обилия пыльцы сосны в спектрах зоны Ktk1-1 около 7200 л.н. означает начало экспансии сосновых лесов в котловине озера. На протяжении последних 7200 лет в Котокельской котловине доминировала лесная растительность, в составе которой сосна, лиственница и береза оставались

основными таксонами. Начало экспансии сосны рассматривается как один из самых важных переходных периодов в голоцене во всем регионе. Переход к преобладанию в составе растительности Котокельской впадины сосны и лиственницы совпадает с повышением континентальности климата бассейна оз. Байкал в целом [Tarasov et al., 2007].

Несмотря на почти абсолютное господство пыльцы сосны в отложениях, сформированных за последние ~7200 лет, на пыльцевой диаграмме заметно, что в осадках озера, возраст которых моложе 2500 лет, увеличилось обилие пыльцы лиственницы и сосны сибирской. Такие изменения состава спектров означают, что в самой Котокельской котловине и ее окружении вновь имело место изменение состава растительности. С этого времени возросла роль лиственницы и сосны сибирской, при этом экспансия лиственницы началась вблизи озера, а вот расширение площадей кедровых лесов, скорее всего, имело место в горно-таежном поясе горного окружения котловины оз. Котокель. В это же время заметно повысилась и значимость кустарниковой березки, вероятно, вокруг самого озера. Особенно это оказалось заметным в поверхностном спектре изученных отложений. Сравнение записи из оз. Котокель с пыльцевыми записями из оз. Байкал показывает, что аналогичное пыльцевое событие выделяется в записи из отложений подводного хребта Континент и с Посольской возвышенности [Demske et al., 2005]. В пыльцевых спектрах из отложений этих кернов, сформированных после 2500 л.н., заметно увеличилось обилие пыльцы лиственницы, полыни и разнотравья, характерного для заболоченных ландшафтов, — злаков Poaceae и осок Surogaseae. В терминах изменения климата это могло означать еще большее снижение атмосферного увлажнения и похолодание, особенно летом, что приводило к снижению испарения и заболачиванию дополнительных территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в исследованной части отложений оз. Котокель по результатам палинологического изучения выделяются интервалы, отражающие основные периоды и рубежи развития ландшафтов, растительности и климата голоцена и позднеледниковья.

Климатические условия Котокельской котловины в терминацию I (~15 500—11 000 л.н.) характеризовались кратковременными и резкими изменениями, приводившими к глубоким изменениям в структуре ландшафтов и составе растительности. Выделяются пять таких коротких интервалов, длительность которых варьировала от 400 до 1200 лет (15 500—14 700, 14 700—14 300, 14 300—13 200, 13 200—12 500, 12 500—11 700 л.н.). В целом климат переходного периода оставался резко-континентальным, изменяясь от сухого и очень холодного к холодному, более влажному, затем к умеренно прохладному, влажному, позже к умеренно холодному, влажному и к холодному с высоким почвенным увлажнением.

В интервале около 11 000—7000 л.н. продолжалось снижение степени континентальности климата. Для климата этого возрастного интервала были характерны мягкие зимние сезоны, прохладные летние, значительный снежный покров и относительно высокие значения среднегодовой суммы атмосферных осадков в целом. Позднее (примерно 7000—2500 л.н.) возросла континентальность климата, что нашло выражение в существенном снижении среднегодовой суммы атмосферных осадков, повышении средних летних температур и снижении зимних. Слабый, но заметный тренд еще большего усиления континентальности климата в котловине оз. Котокель и его бассейне начался около 2500 л.н. и продолжается до настоящего времени.

Реконструированные изменения динамики ландшафтов, растительности и климата вокруг оз. Котокель удовлетворительно коррелирует с общим ходом изменения природной среды Северного полушария. При этом амплитуда изменений растительности и климата позднеледниковья в записи из отложений оз. Котокель оказалась на сегодняшний день наиболее выраженной, чем во всех предыдущих региональных пыльцевых записях, что обеспечено, вероятно, высокой чувствительностью экосистемы небольшого озерного водоема, расположенного в глубине континента на границе двух крупных экотонных (лесного и степного), к дефициту влаги. К тому же наряду с климатом и другие локальные факторы (геолого-геоморфологические, сама растительность, уровень грунтовых вод и др.) должны были контролировать динамику природной среды котловины оз. Котокель и его бассейна.

Новая детальная датированная пыльцевая запись из донных отложений оз. Котокель должна рассматриваться как опорная для детальной реконструкции вариаций региональной растительности и динамики климатических изменений за последние 15 000—15 500 лет. Полученные результаты уточнили характер изменений региональной растительности, а надежная возрастная модель обеспечила внутрирегиональные и межрегиональные корреляции реконструированных изменений природной среды. Для подтверждения распространения пихты в один из интерстадиалов позднеледниковья требуются новые, надежно датированные записи из различных природных архивов Сибири.

Авторы искренне благодарны С.К. Кривоногову за проведение буровой кампании, Коджи Шичи за датирование отложений, О.Н. Шестаковой за техническую подготовку образцов для пыльцевого анализа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 09-05-00123-а), Германского научного фонда (проект ТА 540/1) и Байкальского археологического проекта.

ЛИТЕРАТУРА

- Байкал:** атлас / Ред. Г.И. Галазий. М., Федеральная служба геодезии и картографии, 1993, 160 с.
- Безрукова Е.В.** Палеогеография Прибайкалья в позднеледниковье и голоцене / Ред. В.С. Волкова. Новосибирск, Наука, 1999, 128 с.
- Безрукова Е.В., Богданов Ю.А., Вильямс Д.Ф., Гранина Л.З., Грачев М.А., Игнатова Н.В., Карabanов Е.Б., Купцов В.М., Курылев А.В., Летунова П.П., Лихошвай Е.В., Черняева Г.П., Шимараева М.К., Якушин А.О.** Глубокие изменения экосистемы Северного Байкала в голоцене // Докл. АН СССР, 1991, т. 321, № 5, с. 1032—1037.
- Безрукова Е.В., Мац В.Д., Летунова П.П., Накамура Т., Фудзии Ш.** Голоценовые торфяники Прибайкалья как объект палеоклиматических реконструкций // Геология и геофизика, 1996, т. 37 (12), с. 78—92.
- Безрукова Е.В., Кривоногов С.К., Абзаева А.А., Вершинин К.Е., Летунова П.П., Орлова Л.А., Такахара Х., Миши Н., Накамура Т., Крапивина С.М., Кавамура К.** Ландшафты и климат Прибайкалья в позднеледниковье и голоцене по результатам комплексного исследования торфяников // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (1), с. 21—33.
- Безрукова Е.В., Белов А.В., Летунова П.П., Абзаева А.А., Кулагина Н.В., Фишер Е.Э., Орлова Л.А., Шейфер Е.В., Воронин В.И.** Биостратиграфия торфяных отложений и климат северо-западной части горного обрамления озера Байкал в голоцене // Геология и геофизика, 2008а, т. 49 (6), с. 547—558.
- Безрукова Е.В., Кривоногов С.К., Такахара Х., Летунова П.П., Шичи К., Абзаева А.А., Кулагина Н.В., Забелина Ю.С.** Озеро Котокель — опорный разрез позднеледниковья и голоцена юга Восточной Сибири // Докл. РАН, 2008б, т. 420, № 2, с. 248—253.
- Вишпер П.Б.** Послеледниковая история ландшафтов Забайкалья // Докл. АН СССР, 1962, т. 145, № 4, с. 871—874.
- Кордэ Н.В.** Биостратиграфия отложений озера Котокель // Мезозойские и кайнозойские озера Сибири. М., Наука, 1968, с. 150—170.
- Тарасов П.Е., Дорофеев Н.И., Вишпер П.Б.** Динамика растительности Бурятии в голоцене // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2002, т. 10, № 1, с. 88—96.
- Хлыстов О.М., Ханаев И.В., Грачев М.А.** Свидетельства низкого стояния уровня озера Байкал во время последнего оледенения // Докл. РАН, 2008, т. 422, № 2, с. 254—257.
- Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M.** Pollen analysis and pollen diagrams // Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology / Ed. B.E. Berglund. New York, John Wiley & Sons, 1986, p. 455—484.
- Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B.** Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia) // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 2007, v. 245, p. 518—534.
- Bradbury J.P., Bezrukova Ye.V., Chernyaeva G.P., Colman S.M., Khursevich G.K., King J.W., Likoshway Ye.V.** A synthesis of post-glacial diatom records from Lake Baikal // J. Paleolimnology, 1994, № 10, p. 213—252.
- Chebykin E.P., Edgington D.N., Grachev M.A., Zheleznyakova T.O., Vorobyova S.S., Kulikova N.S., Azarova I.N., Khlystov O.M., Goldberg E.L.** Abrupt increase in precipitation and weathering of soils in East Siberia coincident with the end of the last glaciation [15 cal. kyr BP] // Earth Planet. Sci. Lett., 2002, v. 200, p. 167—175.
- Danzeglocke U., Jöris O., Weninger B.** CalPal-2007. 2008. <http://www.calpal-online.de>
- Demske D., Heumann G., Granoszewski W., Nita M., Mamakowa K., Tarasov P.E., Oberhansly H.** Late Glacial and Holocene vegetation and regional climate variability evidenced in high-resolution pollen records from Lake Baikal // Global Planetary Change, 2005, v. 46, p. 255—279.
- Feng Z.-D., An C.B., Wang H.B.** Holocene climatic and environmental changes in the arid and semi-arid areas of China: a review // The Holocene, 2006, v. 16, № 1, p. 119—130.
- Horiuchi K., Minoura K., Hoshino K., Oda T., Nakamura T., Kawai T.** Palaeoenvironmental history of Lake Baikal during the last 23000 years // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 2000, v. 157, p. 95—108.
- Krivanogov S.K., Takahara H.** Late Pleistocene and Holocene environmental changes recorded in the terrestrial sediments and landforms of Eastern Siberia and Northern Mongolia // Proceedings International Symposium 21st Century COE Program, 17—18 March, 2003. Kanazawa, 2003, p. 30—36.

Krивonogov S.K., Takahara H., Kuzmin Ya.V., Orlova L.A., Timothy Jull A.J., Nakamura T., Miyoshi N., Kawamuro K., Bezrukova E.V. Radiocarbon chronology of the Late Pleistocene-Holocene paleogeographic events in lake Baikal region (Siberia) // Radiocarbon, 2004, № 2, p. 745—754.

Kutzbach J.E., Gallimore R.G. The influence of changing orbital parameters and surface boundary conditions on climate simulation for the past 18,000 years // J. Atmos. Sci., 1986, v. 43, p. 1726—1759.

MacDonald G.M., Velichko A.A., Kremenetski K.V., Borisova O.K., Goleva A.A., Andreev A.A., Cwynar L.C., Riding R.T., Forman S.T., Edwards T.W.D., Aravena R., Hammarlund D., Szeicz J.M., Gataullin V.N. Holocene treeline history and climate change across Northern Eurasia // Quatern. Res., 2000, v. 53, p. 302—311.

Mangerud J., Andersen S.T., Berglund B.E., Donner J.J. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification // BOREAS, 1974, v. 3, p. 109—126.

Prokopenko A.A., Khursevich G.K., Bezrukova E.V., Kuzmin M.I., Boes X., Williams D.F., Fedenya S.A., Kulagina N.V., Letunova P.P., Abzaeva A.A. Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the Lake Baikal watershed // Quatern. Res., 2007, v. 68, p. 2—17.

Shichi K., Takahara H., Krивonogov S.K., Bezrukova E.V., Kashiwaya K., Takehara A., Nakamura T. Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal region // Quat. Int., 2009, v. 205, p. 98—110.

Stuiver M., Grootes P.M., Braziunas T.F. The GISP2 $\delta^{18}\text{O}$ climate record of the past 16,500 years and the role of the Sun, ocean, and volcanoes // Quatern. Res., 1995, v. 44, p. 341—354.

Takahara H., Krивonogov S.K., Bezrukova E.V., Miyoshi N., Morita Y., Nakamura T., Hase Y., Shinomiya Y., Kawamuro K. Vegetation history of the southeastern and eastern coasts of Lake Baikal from bog sediments since the last interstade // Lake Baikal: A Mirror in Time and Space for Understanding Global Change Processes / Ed. K. Minoura. Amsterdam, Elsevier, 2000, p. 108—118.

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 // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 2007, v. 252, p. 440—457.

Urabe A., Tateishi M., Inouchi Y., Matsuoka H., Inoue T., Dmytriev A., Khlystov O.M. Lake-level changes during the past 100,000 years at Lake Baikal, southern Siberia // Quatern. Res., 2004, v. 62, p. 214—222.

Velichko A.A., Andreev A.A., Klimanov V.A. Climate and vegetation dynamics in the tundra and forest zone during the Late Glacial and Holocene // Quatern. Int., 1997, v. 41/42, p. 71—96.

Wohlfarth B. The chronology of the Last Termination: a review of radiocarbon-dated, high resolution terrestrial stratigraphies // Quatern. Sci. Rev., 1996, v. 15, № 4, p. 267—284.

Xiaoqiang L., Jiea Z., Ji S., Chengyu W., Hongli Z., Qianli S. Vegetation history and climatic variations during the last 14 ka BP inferred from a pollen record at Daihai Lake, north-central China // Rev. Palaeobotany Palynology, 2004, v. 132, p. 195—205.

Yu Z., Eicher U. Three Amphi-Atlantic century-scale cold events during the Bölling—Alleröd warm period // Géographie physique et Quaternaire, 2001, v. 55, № 2, p. 171—179.

*Рекомендована к печати 31 августа 2010 г.
А.В. Каньгиньм*

*Поступила в редакцию 25 сентября 2009 г.,
после доработки — 4 мая 2010 г.*