

ЛАНДШАФТЫ И КЛИМАТ ПРИБАЙКАЛЬЯ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И ГОЛОЦЕНЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОРФЯНИКОВ

Е.В. Безрукова, С.К. Кривоногов¹, А.А. Абзаева, К.Е. Вершинин, П.П. Летунова, Л.А. Орлова¹,
Х. Такахара², Н. Миеси³, Т. Накамура⁴, С.М. Крапивина, К. Кавамура⁵

Лимнологический институт СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия

¹*Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптцова, 3, Россия*

²*Kyoto Prefectural University, 1-5. Hangei-cho, Shimogamo, Sakyo-ku, Kyoto 606-8522, Japan*

³*Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, Okayama, 700-0005, Japan*

⁴*Center for Chronological Research, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-01, Japan*

⁵*Forestry and Forest Products Research Institute, Monoyama, Fushimi, Kyoto 612-0855, Japan*

Представлены результаты комплексного исследования озерно-болотных отложений из трех скважин, расположенных на восточном и южном побережье оз. Байкал. Получены данные палинологического, палеокарпологического анализов, ботанического состава торфа, AMS ¹⁴C датирования. Радиоуглеродный возраст приведен в соответствие с календарным по калибровочной шкале. Выявлены как общие черты, так и особенности изменения структуры растительного покрова и климата разных побережий озера за период, превышающий 13 тыс. лет с временным разрешением 50—250 лет. Показано, что с 13 до 9,3(8,5) тыс. л.н. климат и растительность претерпевали ряд коротковременных изменений продолжительностью от 200 до 1000 лет. Климат на протяжении первых трех таких периодов (13—10,3(9,5) тыс. л.н.) оставался умеренно-холодным, континентальным, недостаточно влажным, а в составе растительности господствовали лесотундровые и тундровые ландшафты, основу которых составляли еловые, лиственничные и березовые островные леса. В течение последующих трех периодов (10,3—9,3(8,5) тыс. л.н.) происходило смягчение континентальности климата, в составе растительности начали распространяться леса из кедра и пихты. Позже, от 9,3(8,5) и почти до 6,9(5,5) тыс. л.н., климат был уже умеренно-континентальным, влажным, в составе растительности господствовали ландшафты темнохвойных лесов с кедром и пихтой. Снижение активности циклонической деятельности около 5,5 тыс. л.н. могло стать основной причиной сокращения ареала темнохвойной пихтовой тайги. На протяжении последнего этапа развития растительности (~6,9(5,5)—0 тыс. л.н.) основой лесных ландшафтов стали кедр, лиственница и сосна. Анализ климатических и эколого-эдафических факторов распределения элементов лесной растительности позволил сделать вывод о наличии двух крупных оптимальных периодов в голоцене для разных побережий озера: влажностном (9,3(8,9)—6,9(5,5) тыс. л.н.) и температурном (последние 5,5 тыс. лет).

Прибрежные торфяники, голоцен, палинология, ботанический состав торфа, коротковременные изменения климата, оптимум голоцена, Прибайкалье.

LANDSCAPES AND CLIMATE OF THE BAIKAL REGION IN THE LATE GLACIAL AND HOLOCENE (from results of complex studies of peat bogs)

E.V. Bezrukova, S.K. Krivonogov, A.A. Abzaeva, K.E. Vershinin, P.P. Letunova, L.A. Orlova, H. Takahara,
N. Miyoshi, T. Nakamura, S.M. Krapivina, and K. Kawamuro

The paper presents results of complex studies of lacustrine-bog deposits from three wells drilled on the eastern and southern shores of Lake Baikal: data of palynological and paleocarpological analyses, botanic composition of peat, and AMS ¹⁴C age. The radiocarbon age is brought to conformity with the actual age by a calibration scale. Both the general features and the specifics of the vegetative-cover structure and climate on different lake shores are considered for a period of >13 kyr, with a study interval of 50—250 years. It is shown that from 13 to 9.3(8.5) kyr ago, the climate and vegetation underwent a series of short-term (200—1000 years) changes. In the first three periods of changes (13—10.3(9.5) kyr ago), the climate remained cold continental and insufficiently humid, and the vegetation was dominated by forest-tundra and tundra landscapes (mainly spruce, larch, and birch insular forests). In the next three periods (10.3—9.3(8.5) kyr ago), the continental climate became milder, and cedar and fir forests appeared. Later on, from 9.3(8.5) to ~6.9(5.5) kyr ago, the climate was temperately continental humid, and the vegetation was dominated by dark-coniferous cedar and fir forests. The decrease in cyclone activity ~5.5 kyr ago might have been responsible for the reduction in the natural habitat of dark-coniferous fir taiga. At the last stage of the vegetation evolution (~6.9(5.5)—0 kyr ago), the forests were dominated by cedar, larch, and pine. Analysis of the climatic and ecologo-edaphic factors determining forest plant spreading on different Baikal shores suggests the existence of two long-term optimal periods in the Holocene: humid (9.3(8.9)—6.9(5.5) kyr ago) and thermal (recent 5.5 kyr).

Inshore peat bogs, Holocene, palynology, botanic composition of peat, short-term climatic changes, Holocene optimum, Baikal region

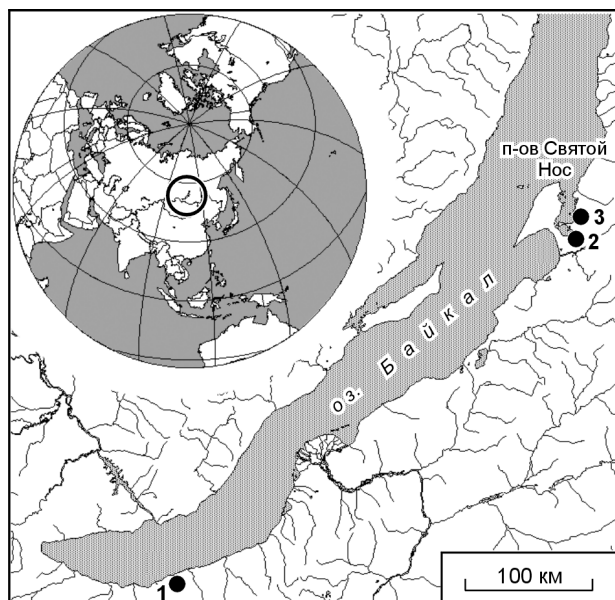


Рис. 1. Карта расположения исследованных разрезов.

1 — Дулиха, 2 — Арангатуй, 3 — Чивыркуй.

ВВЕДЕНИЕ

Информация об изменениях климата и растительности бассейна оз. Байкал составляет важную часть знаний о развитии природы Евразийского континента. Как дополнение к исследованиям донных отложений Байкала авторами данной статьи проводится изучение торфяных займищ, расположенных на предгорных равнинах его побережья [1—7] (рис. 1). Болотные отложения таких займищ имеют голоценовый возраст, а подстилающие их озерные осадки — голоценовый и позднеледниковый. Отложения болот имеют ряд очевидных преимуществ по сравнению с донными осадками оз. Байкал. Они представляют собой непрерывную последовательность осадков и достигают мощности 3—5 м. Являясь биогенными на-

коплениями, торфяные отложения надежно датируются радиоуглеродным методом. Спорово-пыльцевые комплексы из этих отложений менее усреднены, в их составе выделяются компоненты как региональной, так и локальной растительности. Указанные преимущества позволяют получать надежную палеоклиматическую информацию с более высоким временным разрешением. Для понимания истории экосистемы оз. Байкал важно синтезировать результаты изучения его донных осадков и болотных отложений его побережий.

История климата и растительности южного и восточного берегов оз. Байкал в голоцене и особенно в позднеледниковье пока слабо изучена. Предыдущими исследованиями установлено, что на протяжении пребореального и бореального периодов голоцена на этой территории были широко распространены темнохвойные леса, а в атлантическом периоде уже господствовали светлохвойные [8—10]. Однако полученная ранее информация касалась только голоцена, а переходный период от заключительных стадий последнего оледенения к голоцену оставался практически неизученным. Было известно крайне мало представительных, стратиграфически последовательных разрезов, содержащих осадки этого периода. Детальность исследований не позволяла выделять изменения растительности, соответствующие кратковременным, порядка нескольких сотен лет, климатическим флуктуациям предголоценового времени. В последнее время авторами получено несколько колонок озерно-болотных отложений, предоставляющих возможность таких исследований. В данной статье представлены результаты совместного анализа озерно-болотных отложений из скв. Арангатуй [7], Дулиха [6] и из обнажения Чивыркуй [1] (см. рис. 1). Полученные высокоразрешающие записи изменения ландшафтов и климата южного и восточного побережий Байкала в позднеледниковье и голоцене сопоставлены между собой и с данными по другим регионам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мощность торфяных отложений в займищах Арангатуй и Дулиха составляет около 5 м. Бурение велось с помощью тонкостенного пробоотборника, позволяющего вырезать ненарушенную колонку керна диаметром 7 см. Отбор образцов выполнялся в лаборатории с шагом 3 см. Обнажение Чивыркуй (с

Таблица 1. Радиоуглеродные даты и калиброванный возраст голоценовой и позднеледниковой частей исследованных разрезов

Разрез	Глубина, см	Измеренный условный радиоуглеродный возраст, лет назад	Лабораторный номер	Калиброванный возраст, лет назад
Арангатуй [7]	474	9400 ± 60	Beta-113968	10480—11090
Дулиха [6]	300	7616 ± 114	NUTA-5615	8230—8650
»	399	9185 ± 55	AA-37974	10270—10550
»	485	11109 ± 119	NUTA-5616	12720—13790
Чивыркуй [1]	30	550 ± 60	NUTA-324	560—700
»	195	7480 ± 100	NUTA-3325	8090—8470
»	300	10820 ± 120	NUTA-3326	12480—13190

мощностью торфа около 3 м) было опробовано с интервалом в 5 см. Все колонки исследованы палинологическим методом. Для двух (Арангатуй и Дулиха) выполнен анализ ботанического состава торфа. Осадки скв. Арангатуй изучены также палеокарпологическим методом.

Привязка к геохронологической шкале осуществлялась на основании радиоуглеродных дат (табл. 1), полученных методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS).

В настоящее время при реконструкции изменений природной среды общепринято использовать калиброванный (реальный) возраст отложений и связанных с ними событий [11]. Результаты калибровки имеющихся радиоуглеродных дат, выполненной с помощью программы калибровки радиоуглеродных данных CALIB rev.4.3 [12], приведены в табл. 1. Даты получены с использованием метода А (2 sigma calibration). В качестве точки отсчета взят 2000 г. В дальнейшем обсуждении результатов и при реконструкциях использовался калиброванный возраст.

При палинологическом анализе образец сухого торфа объемом 1 см³ подвергался стандартной лабораторной обработке [13]. Для образцов из торфяных отложений с большим содержанием пыльцы насчитывалось не менее 300 пыльцевых зерен древесных растений. Для глинистых осадков, содержащих не столь значительное количество пыльцы и спор, счет велся до 100—150 пыльцевых зерен всех групп растений. При построении диаграммы процентное содержание пыльцы каждого таксона вычислялось от суммы пыльцы древесных растений. При восстановлении облика растительного покрова учитывались данные о составе СПС поверхностных проб региона, ареалах современных лесобразующих пород и их пыльцевой продуктивности, вертикальной поясности в распределении растительности. Среди параметров климата, восстанавливаемых по характеру изменения растительности, были выбраны те, которые имеют определяющее значение для развития растительности: сумма биологически активных температур воздуха, представляющая собой сумму среднесуточных температур за период с температурами выше 10 °С; этот показатель косвенно характеризует тепловой баланс, дает представление о продолжительности активного вегетационного периода, т.е. достаточно полно отражает тепловые условия развития растительности; радиационный индекс сухости, отражающий степень использования осадков при данных значениях радиационного баланса и характеризующий условия увлажнения на определенной территории [14]. Количественные значения обоих параметров взяты из разных источников [14—18]. Актуалистическое применение этих параметров основывается на предположении, что палеорастительные сообщества, во-первых, имеют аналоги в современной растительности, во-вторых, существовали в климатических условиях, близких к условиям обитания их современных аналогов [19].

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Озеро Арангатуй расположено на перешейке п-ова Святой Нос (см. рис. 1), в зоне редкоостровного распространения многолетней мерзлоты [18]. Согласно схеме климатического районирования оно находится в пределах Западно-Баргузинского прибрежно-горного района [18]. Средние температуры января в районе составляют около –22,5 °С, июля не превышают +14,8 °С, среднегодовая приближается к –3,5 °С. Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет 350 мм, сумма активных температур — 1200—1400 °С, радиационный индекс сухости — 1,0—1,5. Структура современного растительного покрова района подчинена высотно-поясному распределению. К западу от озера распространены низкогорные светлохвойные лиственнично-сосновые леса п-ова Святой Нос, с востока — преимущественно лиственничные леса низкогорного и кедровые (сосна сибирская *Pinus sibirica* Du Tour) с пихтой леса среднегорного поясов южных отрогов Баргузинского хребта. Разрез Чивыркуй также расположен в пределах Западно-Баргузинского прибрежно-горного района. Вскрыт он в береговом обрыве высотой 3,6 м на побережье Чивыркуйского залива, обнажающем заболоченную предгорную равнину. Растительность здесь образована кедрово-березовым лесом с подлеском из черемухи, ивы.

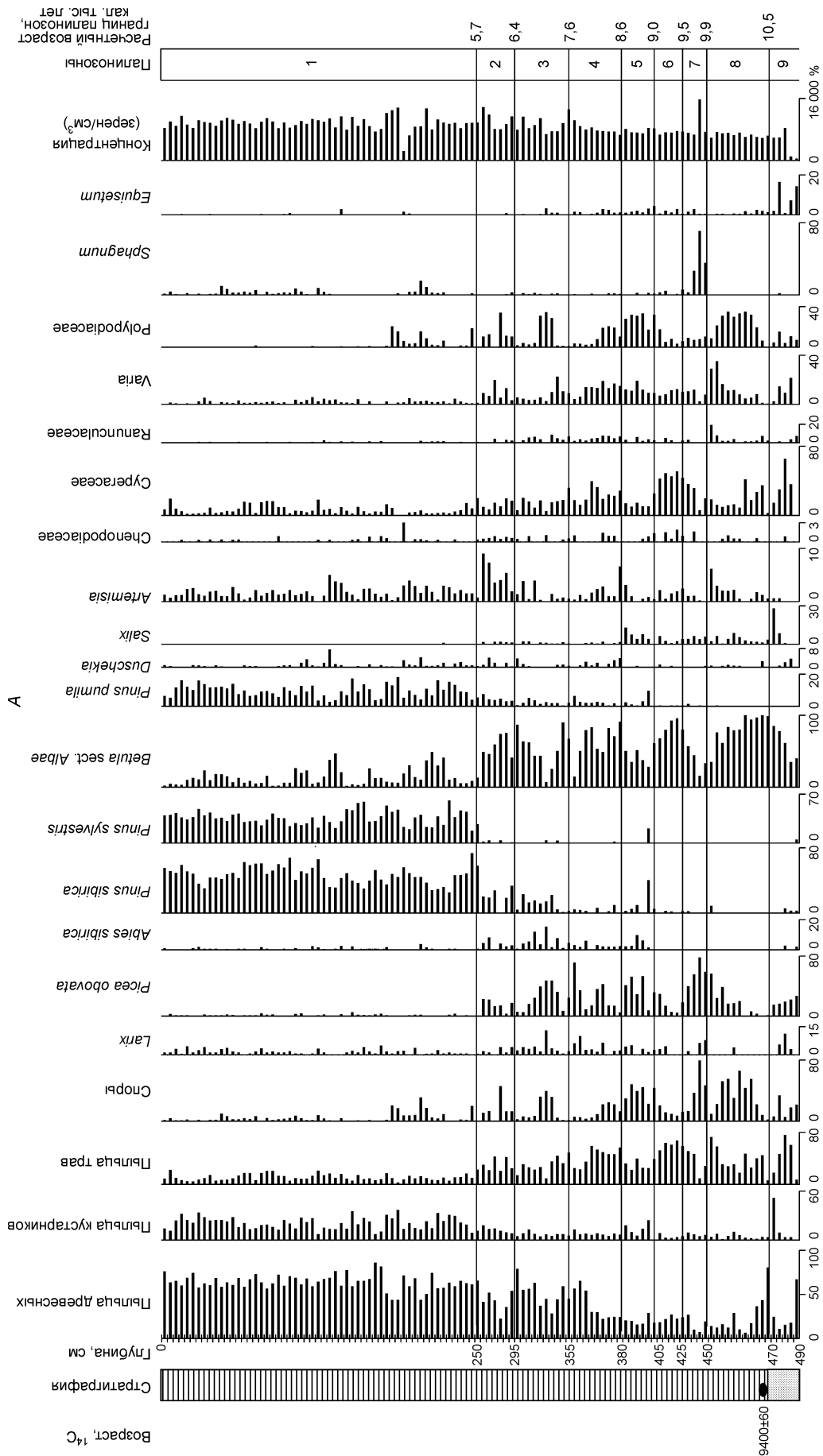
Разрез Дулиха находится на болотном массиве в пределах Саяно-Хамардабанского кедрового гольцово-горно-таежного геоботанического округа [20], в области развития влажных предгорно-подгорных таежных ландшафтов. Преобладает южно-сибирская тайга из пихты и кедра. В виде редкой примеси растет лиственница сибирская, особенно на заболоченных участках. Нарушенные вырубками и пожарами участки коренной темнохвойной тайги низкогорной части Хамар-Дабана заняты вторичными березовыми лесами. Согласно схеме климатического районирования исследованный болотный массив располагается в пределах Танхойского района Южно-Байкальского округа [18], климат которого характеризуется как умеренно-континентальный. Средняя температура июля составляет +14,4 °С, января — около –17,7 °С, среднегодовая — в основном –0,7 °С. Среднегодовое количество осадков приближается к 620 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Арангатуй. Результаты палинологического анализа скв. Арангатуй представлены на спорово-пыльцевой диаграмме (рис. 2, А). На основе изменения общего состава спорово-пыльцевых спектров (СПС) и их доминант выделены 9 палинозон:

9) 470—490 см — *Larix—Picea obovata—Betula—Salix—Equisetum*;

Начало рис. 2



- 8) 450—470 см — *Betula*—*Artemisia*—*Cyperaceae*—*Polypodiaceae*;
- 7) 425—450 см — *Picea obovata*—*Varia*—*Sphagnum*;
- 6) 405—425 см — *Betula*—*Chenopodiaceae*—*Cyperaceae*—*Polypodiaceae*;
- 5) 380—405 см — *Larix*—*Picea obovata*—*Polypodiaceae*;
- 4) 355—380 см — *Larix*—*Picea obovata*—*Betula*;
- 3) 295—355 см — *Abies sibirica*—*Picea obovata*—*Pinus sibirica*—*Betula*;
- 2) 250—295 см — *Pinus sibirica*—*Betula*—*Artemisia*;
- 1) 0—250 см — *Pinus sibirica*—*Pinus sylvestris*—*Pinus pumila*.

Концентрация пыльцевого материала постепенно увеличивается вверх по разрезу, оставаясь постоянно высокой практически по всей его мощности, за исключением образцов из озерных глин.

Результаты анализа ботанического состава торфа скв. Арангатуй показали, что в сложении торфяной залежи основная роль принадлежит растениям эвтрофам и мезотрофам. В составе растений-торфообразователей определены 18 родов и 25 видов, относящихся к пяти отделам: мхи, папоротникообразные, плаунообразные, голосеменные и покрытосеменные; последние преобладают (12 родов и 14 видов). По всей мощности разреза доминантами являются представители рода *Carex*, среднее содержание которых составляет около 40 %. В качестве содоминант выступают *Schzeuchzeria palustris* L., *Sphagnum* sp. и вересковые кустарнички. Вскрытый торфяник относится к торфам низинного типа, поскольку состав доминант-торфообразователей остается стабильным по всей мощности залежи. Распределение семян и плодов в толще торфа очень неравномерное. Часты пустые пробы и пробы с единичными находками семян и плодов. Видовой состав семенных комплексов беден и довольно стабилен почти по всему керну. Преобладают остатки *Carex riparia* Curt., *Carex* spp. indet., *Menyanthes trifoliata* L., единичны семена *Schzeuchzeria palustris* L. и орехи *Betula* sect. *Nana* L. Состав семенных комплексов позволяет сделать вывод об однородности условий травяного и травяно-мохового болота в течение всего времени его развития. Только в нижней части (465—475 см) наблюдается существенное изменение состава растительности. Наличие здесь семян и плодов водных растений: *Potamogeton* sp. indet., *Caulinia flexilis* Willd., *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum verticillatum* L. свидетельствует о том, что исследованный торфяной массив образовался в результате заболачивания прибрежной части Чивыркуйского залива.

Чивыркуй. Результаты палинологического анализа скв. Чивыркуй представлены на спорово-пыльцевой диаграмме (см. рис. 2,Б). На основе изменения общего состава спорово-пыльцевых спектров (СПС) и их доминант выделены 9 палинозон:

- 9) 290—300 см — *Larix*—*Picea obovata*—*Betula*—*Varia*—*Caryophyllaceae*;
- 8) 265—290 см — *Picea obovata*—*Larix*—*Duschekia*;
- 7) 240—265 см — *Larix*—*Picea obovata*;
- 6) 210—240 см — *Betula*—*Larix*—*Betula nana* type—*Salix*;
- 5) 180—210 см — *Picea obovata*—*Abies sibirica*—*Pinus sibirica*—*Cyperaceae*;
- 4) 132—180 см — *Betula*—*Pinus sibirica*—*Abies sibirica*—*Betula nana* type—*Salix*—*Cyperaceae*;
- 3) 90—132 см — *Pinus sibirica*—*Pinus sylvestris*—*Polypodiaceae*;
- 2) 60—90 см — *Pinus sylvestris*—*Pinus sibirica*—*Pinus pumila*—*Sphagnum*;
- 1) 0—60 см — *Larix*—*Pinus sylvestris*—*Pinus sibirica*—*Ericaceae*.

Дулиха. Результаты палинологического анализа скв. Дулиха представлены на спорово-пыльцевой диаграмме (см. рис. 2,В). На основе изменения общего состава спорово-пыльцевых спектров (СПС) и их доминант выделены 9 палинозон:

- 9) 470—494 см — *Picea obovata*—*Larix*—*Betula*—*Betula nana* type—*Duschekia*—*Artemisia*;
- 8) 445—470 см — *Larix*—*Picea obovata*—*Betula*—*Cyperaceae*—*Varia*;
- 7) 425—445 см — *Picea obovata*—*Larix*—*Betula*—*Salix*—*Varia*;
- 6) 418—425 см — *Larix*—*Picea obovata*—*Betula*—*Salix*—*Varia*—*Equisetum*;
- 5) 400—418 см — *Picea obovata*—*Larix*—*Betula*—*Varia*—*Polypodiaceae*;
- 4) 370—400 см — *Picea obovata*—*Abies sibirica*—*Betula*—*Polypodiaceae*—*Equisetum*;
- 3) 260—370 см — *Abies sibirica*—*Pinus sibirica*—*Betula*—*Sphagnum*—*Ericaceae*;
- 2) 210—260 см — *Pinus sylvestris*—*Pinus sibirica*—*Betula*—*Sphagnum*;
- 1) 0—210 см — *Pinus sylvestris*—*Pinus sibirica*—*Sphagnum*.

Анализ ботанического состава торфа разреза Дулиха показал, что вскрытая торфяная залежь на всем протяжении представлена остатками эвтрофных и мезотрофных растений. Определены 27 родов и 23 вида растений. Преобладают покрытосеменные (22 рода и 19 видов). В сложении залежи доминируют остатки рода *Carex* (среднее содержание по всем горизонтам составляет 40—50 %). Во всех торфяных слоях значительна и доля *Schzeuchzeria palustris* L. (в среднем до 20 %). Горизонты 50—70 и 270 см содержат от 10 до 20 % остатков сфагновых мхов.

ВРЕМЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

Начало накопления торфа в разрезе Дулиха как по возрасту, так и по палинологическим данным относится к финалу нерасчлененного интерстадиала беллинг/аллеред в европейской климатостратигра-

Таблица 2. Скорости прироста торфа и временное разрешение интервалов опробования

Разрез	Интервал, см	Мощность горизонта, мм	Длительность накопления минимальная (максимальная), лет	Рассчитанная скорость прироста торфа, мм/год	Интервал опробования, см	Временное разрешение интервалов опробования, лет
Арангатуй	0—474	4740	10480 (11090)	0,43—0,45	3	67—70
Дулиха	0—300	3000	8230 (8650)	0,35—0,36	3	83—86
»	300—399	990	1620 (2320)	0,43—0,61	3	49—70
»	399—485	860	2170 (3520)	0,24—0,4	3	75—125
Чивыркуй	0—30	300	560 (700)	0,43—0,54	5	93—116
»	30—195	1650	7390 (7910)	0,21—0,22	5	227—238
»	195—300	1050	4010 (5100)	0,21—0,26	5	192—238

фической шкале, в разрезе Чивыркуй — стадиалу молодой дриас, а время формирования подошвы слоя органогенных отложений разреза Арангатуй приходится на первую половину пребореального периода [21—23]. Таким образом, временной промежуток, покрываемый исследованными кернами, составляет около 13 тыс. лет.

Оценка временного разрешения выполненных палеогеографических реконструкций основывается на расчете средней скорости торфонакопления в каждом разрезе и временного разрешения интервалов опробования (табл. 2).

Ботанический анализ торфяной залежи показал слабое изменение структуры болотных ценозов за все время накопления торфа. Тот факт, что локальная растительность мало менялась, позволяет более достоверно интерпретировать изменения состава спорово-пыльцевых спектров и выделять рубежи ландшафтно-климатических изменений, примерный возраст которых определен по скорости прироста торфа.

ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА

Южное побережье оз. Байкал. Во второй половине сартанского времени территория, примыкающая к долине р. Дулиха, была ареной накопления лессовидных суглинков [6]. Формирование органогенных отложений началось во время теплого интерстадиала аллеред.

13—12,2 тыс. л.н. В структуре растительного покрова преобладали лесотундровые ландшафты — березово-лиственнично-еловые островные и долинные леса в условиях холодного, влажного климата и близкого залегания многолетней мерзлоты. Широко распространялись ерниковые, ольховниково-ивовые группировки, типичные в настоящее время для высокогорий, и разнотравно-злаковые ассоциации. Очевидно, пояс высокогорных кустарниковых тундр, сместившийся за период последнего оледенения на низкие гипсометрические уровни, все еще продолжал здесь оставаться. С учетом его современного положения на высоте около 1200—1400 м средняя величина смещения границ высотных поясов на южном побережье могла составлять 700—900 м (высота точки бурения „Дулиха“ около 500 м над ур.м.).

Около 12,2 тыс. л.н. возросла роль лиственницы. Среди кустарников господствовали ивняки. В составе степной растительности — марево-полынные и злаково-разнотравные ассоциации. Климат изменился в сторону аридизации. Возможно, что так на этой территории проявились кратковременное похолодание и аридизация стадиала молодой дриас, существование которого находит все большее подтверждение, в частности, в умеренных широтах Северного полушария [24—30].

11,4—10,7 тыс. л.н. вновь расширились площади ели. В климатической ситуации произошел сдвиг в сторону увлажнения. В целом в структуре растительного покрова продолжали господствовать тундровые, лесотундровые ландшафты, степи.

10,7—10,5 тыс. л.н. вновь увеличилась доля лиственницы и ивы. Возросла роль степной растительности — злаков, полыни, лютиковых, гречишных, сложноцветных. Климат вновь стал ариднее.

10,5—9,9 тыс. л.н. господствовали березово-лиственничные редколесья с елью и степные группировки. Климат оставался недостаточно влажным, умеренно-холодным.

9,9—9,3 тыс. л.н. отмечена тенденция расширения площадей лесных ландшафтов, что зафиксировано значительным увеличением доли древесных растений и концентрации пыльцы и спор почти на порядок. Началось распространение кедра, пихты. Резко сократились площади степной растительности.

9,3—6,9 тыс. л.н. господствовали лесные ландшафты, но уже из пихты, кедра, березы. Климат стал умеренно-континентальным, умеренно-теплым, влажным, что могло быть связано с общим усилением циклонической деятельности в Северном полушарии [31]. Многолетнемерзлые породы могли деградировать до их современного состояния.

6,9—5,6 тыс. л.н. продолжалось расширение площадей лесных ландшафтов, основу которых стали составлять кедр, сосна. Сократились площади пихтовых лесов. Такие изменения могли стать следствием уменьшения атмосферных осадков, нарастания континентальности климата.

За последние 5,6 тыс. лет в структуре растительного покрова южного побережья оз. Байкал не происходило значительных изменений. Продолжала господствовать лесная растительность из кедра, сосны, с участием пихты и ели. Широко распространились вторичные березовые леса. Облик растительности стал близок к современному.

Восточное побережье оз. Байкал. Изменение ландшафтно-климатической обстановки на восточном побережье оз. Байкал прослежено с середины стадиала молодой дриас.

До 12,5 тыс. л.н. растительность была представлена разреженными лесотундровыми формациями из лиственницы, березы и ели на влажных, щебнистых, сезонномерзлых почвах, бедных элементами зольного питания. Широко развивались ерниковые, ивовые и ольховниковые заболоченные тундры и остепенные пространства из полыни, маревых, бобовых, гречишных. Сухие каменистые склоны покрывали плаунки, гвоздичные, камнеломковые. Климат характеризовался как континентальный, сухой, холодный. **12,5—11,4 тыс. л.н.** доля степных группировок значительно уменьшилась, при этом ели, и душекии — возросла. Климат стал влажным, оставаясь умеренно-холодным.

11,4—10,5(10,3) тыс. л.н. в составе лесной растительности еще больше увеличились площади елово-лиственничных группировок.

10,3 до 8,9 тыс. л.н. продолжали господствовать лесотундровые ландшафты преимущественно из березово-еловых группировок, ерниковые и ивовые тундры.

8,9—5,7(5,5) тыс. л.н. произошли значительные изменения в растительности и климате восточного побережья. Расширились площади среднегорно-таежного пояса из кедра, пихты. Началось активное расселение сосны. Ель, лиственница, береза перестали быть основой лесной растительности. Господство перешло от лесотундровых ландшафтов к лесным, темнохвойным, в условиях влажного умеренно-континентального климата. Слой многолетнемерзлых пород, очевидно, деградировал до современного уровня.

В последние 5,5(5,7) тыс. лет в составе растительности господствовали лесные ландшафты, но уже из кедра, лиственницы, сосны, кедрового стланика.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, на протяжении более 13тыс. лет в составе растительности восточного и южного побережий оз. Байкал неоднократно происходили значительные изменения которые были обусловлены, в первую очередь, климатом (табл. 3). Связь изменений регионального климата с таковым Северного

Таблица 3. Характер изменения растительности и климата восточного и южного побережий оз. Байкал, соотнесенный с климатическими периодами голоцена модифицированной европейской шкалы Блитта—Сернандера

Эпоха, тыс. л.н.	Климатические периоды [11, 21]	Преобладающий тип растительности	Сумма активных температур, °С	Радиационный индекс сухости
0—5,7(5,5)	Суббореальный—субатлантический	Кедровые, сосновые, лиственничные леса	1200—1600	1,0—1,5
6,5—5,7(5,5)	Вторая половина атлантического	Кедровые с пихтой, елью, сосново-лиственничные, березовые, с участием пихты, кедра леса	1000—1200	1,0—1,5
6,5—8,9	Первая половина атлантического—бореальный	Кедрово-пихтовые, лиственнично-березовые с елью леса	800—1000	<1
8,9—9,5	Бореальный	Березовые с участием ели, лиственницы леса и кедрово-пихтовые редколесья, разнотравно-папоротниковые	800—1000	>1
9,5—9,9	»	Лиственнично-еловые леса с березой, разнотравно-папоротниковые ассоциации	600—800	0,5—1,0
9,9—10,5	»	Елово-лиственнично-березовые леса, поlynно-злаковые степи, разнотравно-папоротниковые ассоциации	600—800	>1
11,4—10,5	Пребореальный	Елово-лиственничные островные леса с березой, душекиево-ивовые тундры, разнотравно-поlynно-злаковые степи	600—800	1,0
12,2 (12,5)—11,4	Молодой дриас	Елово-березово-лиственничные островные долинские леса, кустарниковые тундры, разнотравно-марево-поlynные степи	600—800	1,5
13—12,2 (12,5)	Финал аллереда—начало молодого дриаса	Березово-лиственнично-еловые островные леса, ерниковые, ольховниково-ивовые тундры, поlynно-злаковые степи	600—800	1,0—1,5

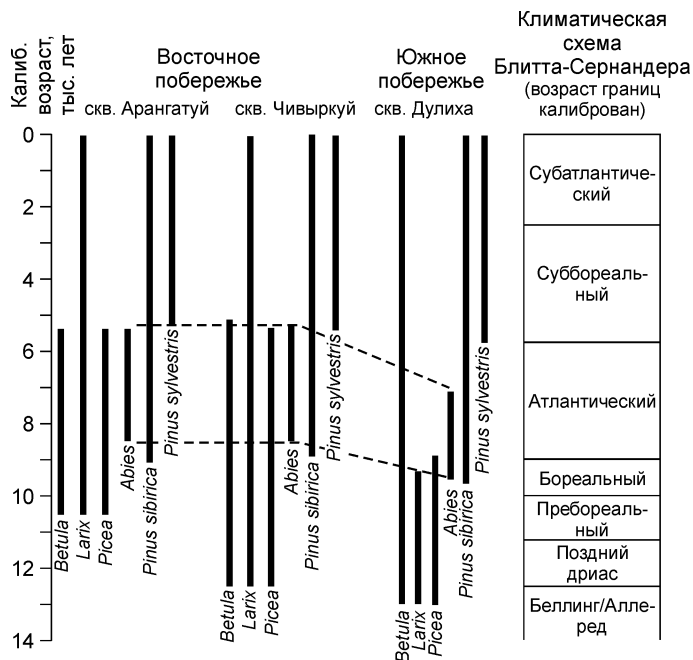


Рис. 3. Время начала экспансии основных лесообразующих пород и продолжительность их господства в составе лесов восточного и южного побережий оз. Байкал после последнего оледенения.

полушария в целом доказана [30, 44]. Но и эдафические факторы могли играть важную роль в приведенной системе изменения растительности. По мере исчезновения мерзлоты и улучшения дренажа ель (одна из основных лесообразующих пород раннего голоцена) перемещалась с плакорных местообитаний в более влажные — долинные. Ее место заняла сосна, которая со второй половины атлантического периода стала одной из господствующих пород предгорных и низкогорных лесов. На пыльцевой диаграмме разреза Чивыркуй в спектрах с глубины 15—18 см отмечено заметное увеличение содержания пыльцы пихты, лиственницы, кустарниковых берез и ив. Согласно дате 560 л.н. с глубины 30 см можно

предполагать, что такие изменения в составе растительности могли быть вызваны увеличением увлажнения и похолоданием во время Малого ледникового периода. В разрезе Арангатуй следов этого кратковременного события не отмечено.

Анализируя динамику послеледниковой экспансии древесных пород на побережье оз. Байкал, показанную на рис. 3, видим, что в позднеледниковье и на ранних этапах голоцена в составе древесной растительности господствовали береза, ель и лиственница. Расширение пихтовых лесов началось на восточном побережье около 8,9 тыс. л.н. (начало атлантического периода), а на южном побережье раньше — около 9,3 тыс. л.н. (конец бореального периода). Расширение ареалов кедра и сосны определяется на уровне 9,0 и 5,5 и 9,3 и 5,5 тыс. л.н. (восточное и южное побережье соответственно). Разница в несколько сотен лет может быть объяснена более ранним откликом южных районов побережья оз. Байкал на проявление глобального потепления начала голоцена. Сравнение характера изменения состава лесной растительности побережья оз. Байкал в голоцене с данными по другим регионам Северного полушария [32—40] показало, что с учетом географического положения территорий время смены видов эдификаторов является близким, различаясь в несколько сотен лет.

ПРОБЛЕМА ОПТИМУМА ГОЛОЦЕНА ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАЙКАЛА

Как подойти к решению вопроса об оптимальных периодах голоцена? Если рассматривать комплекс орографических, климатических, почвенно-гидрологических условий произрастания растительности в бассейне озера, то какие из них оценивать как оптимальные?

На побережье Байкале с конца интерстадиала беллинг/аллеред и почти до середины бореального периода в составе растительности доминировали тундровые, лесотундровые ландшафты из лиственницы, ели, березы. С середины бореального периода господство перешло к лесным ландшафтам, в них преобладали кедр и пихта. В суббореальном и субатлантическом периодах господство переходит к кедру, лиственнице и сосне, что свидетельствует о снижении количества осадков и резко-континентальном климате. Орографические условия в голоцене, согласно общепринятому мнению, оставались практически неизменными. Почвенный покров с уже достаточно богатыми в отношении минерального питания почвами существовал с бореального периода. Многолетняя мерзлота деградировала почти до современного уровня. Максимальное годовое количество атмосферных осадков в условиях повышенной циклонической активности и умеренно-континентального климата было характерно для первой половины бореального и всего атлантического периодов голоцена, за которыми последовали аридизация и повышение континентальности климата. Одновременно средние температуры воздуха летнего сезона могли быть относительно постоянными, а зимнего — могли изменяться на 2—4 °С. С нашей точки зрения необходимо говорить о двух крупных климатических периодах на протяжении голоцена — влажном 8,5(9,0)—5,0 тыс. л.н. и температурном — последние 5 тыс. лет (табл. 4). Первый из них был оптимальным для развития коренной темнохвойной тайги, второй — светлохвойной.

Таблица 4. Климатические параметры влажностного и температурного оптимальных периодов голоцена на побережье Байкала

Период	Среднегодовое кол-во осадков, мм	Сумма активных температур выше 10 °С
Влажностный	700	1000—1200
Температурный	400—500	1200—1400

Имеющиеся для юга Восточной Сибири, в том числе и для бассейна Байкала, палинологические данные подтверждают существование максимума атмосферного увлажнения в период времени от 9 до 5(4,5) тыс. л.н. [8, 9, 42—45]. После 4,5 тыс. л.н. повсеместно в составе лесной растительности резко сокращается роль темнохвойных элементов и увеличивается роль светлохвойных. Оптимальный период голоцена от 9 и до 5(4,5) тыс. л.н. с самым высоким атмосферным увлажнением и мягкими зимами фиксируется для ряда регионов Евразии: Западной Сибири, Средиземноморского, Восточной Гренландии, северо-востока Тибетского плато, Шведских Сканд [28, 38, 46—49]. На севере европейской части России и в Сибири после периода максимального расширения ареалов древесных пород в бореальном и начале атлантического периодов произошло общее сокращение ареалов древесных пород и смещение их северных границ к югу в конце атлантического—начале суббореального периодов [50].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопление органогенных отложений на южном побережье оз. Байкал началось раньше 13 тыс. л.н. (финал беллинга/аллереда), а на восточном — около 12,5 тыс. л.н. (середина молодого дриаса). Начиная с этого времени и почти до 9,3(8,5) тыс. л.н., климат и растительность претерпевали ряд кратковременных изменений продолжительностью от 200 до 1000 лет. Число зафиксированных кратковременных периодов меняется от четырех (Чивыркуй) до шести (Дулиха). Растительность на протяжении этого времени была представлена главным образом разреженными лесотундровыми формациями из лиственницы, березы и ели на бедных сезонномерзлых почвах, в условиях континентального, умеренно-холодного, недостаточно влажного климата. Позже, от 8,5(9,3) и почти до 5,7(5,5) тыс. л.н., климат был уже умеренно-континентальным, умеренно-теплым, влажным, и в составе растительности господствовали леса из кедра, пихты, ели, лиственницы, березы. Снижение активности циклонической деятельности около 5,7(5,5) тыс. л.н. стало основной причиной сокращения ареала темнохвойной пихтовой тайги. На последнем этапе развития растительности (~5,5 тыс. лет) основой лесных ландшафтов стали кедр, лиственница и сосна.

Характер изменения природной среды восточного и южного побережий имеет свои субрегиональные черты. На восточном побережье позднее началось накопление органогенных отложений, позднее появились в составе древесной растительности элементы средне- и южно-сибирской тайги: пихта, кедр и сосна. Если общими доминантами древесной растительности везде от начала голоцена и до настоящего времени остаются кедр и сосна, то разница проявляется в постоянном господстве лиственничной составляющей на востоке и березовой — на юге. Кроме того, если на восточном побережье еловые леса играли значительную роль почти до начала суббореального периода, то на южном побережье они деградировали уже во второй половине бореального (см. рис. 3).

На основе анализа климатических и эколого-эдафических факторов распределения элементов лесной растительности сделан вывод о наличии двух крупных оптимальных периодов в голоцене: влажностном 8,9(9,3)—5,5(6,9) тыс. л.н. и температурном (последние 5,5(5,7) тыс. лет). Начиная со второй половины атлантического периода циклональный режим значительно ослабевает, почти в 1,5 раза сокращается количество атмосферных осадков, возрастает континентальность климата, что приводит к сокращению темнохвойных лесов и началу господства светлохвойного лесного комплекса.

Информация об изменениях климата и растительности бассейна оз. Байкал, извлеченная из торфяников, расположенных на подгорно-равнинных территориях вокруг оз. Байкал, должна служить основой для расшифровки данных, полученных из донных отложений Байкала. Преимущества торфяных отложений над последними очевидны. Для понимания истории экосистемы оз. Байкал важно синтезировать результаты изучения донных осадков озера и болотных отложений его побережий.

Авторы выражают благодарность дирекции Лимнологического института СО РАН за помощь в организации экспедиционных работ.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (гранты № 97-05-64278, 01-05-97206, 03-05-64072), администрации Иркутской области, Сибирского отделения РАН, Министерства науки и технологии Японии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безрукова Е.В., Мац В.Д., Летунова П.П. и др. Голоценовые торфяники Прибайкалья как объект палеоклиматических реконструкций // Геология и геофизика, 1996, т. 37, № 12, с. 78—92.

2. **Bezrukova E.V., Takahara H., Krivonogov S.K. et al.** Vegetation history and paleoclimate at Pre-Baikal of last 30 ky (by Lake Baikal sediments and peat deposits) // BICER, BDP and DIWPA Joint International Symposium on Lake Baikal (November 5—8, 1998). Yokohama, 1998, p. 5.
3. **Ogura A., Takahara H., Krivonogov S.K. et al.** Pollen-tree abundance relationship from Hamar-Daban Mountains, in the southeastern area of Lake Baikal // *Ibid*, p. 83.
4. **Takahara H., Krivonogov S.K., Bezrukova E.V. et al.** History of taiga for last 30000 years from bog sediments in the southeastern and the eastern of Lake Baikal // *Ibid*, p. 102.
5. **Takahara H., Krivonogov S.K., Bezrukova E.V. et al.** 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*. Tokyo, Elsevier, 2000, p. 108—118.
6. **Безрукова Е.В., Кривоногов С.К., Такахага Х. и др.** Летопись позднечетвертичной и голоценовой истории юго-восточного побережья оз. Байкал по материалам скважины Дулиха // Проблемы реконструкций климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Вып. 2. Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2000, с. 36—47.
7. **Безрукова Е.В., Кривоногов С.К., Такахага Х. и др.** Реконструкция ландшафтно-климатических условий восточного побережья оз. Байкал в голоцене по результатам комплексного исследования скважины Арангатуй // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Вып. 1. Новосибирск, Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2002, с. 36—47.
8. **Белова В.А.** Растительность и климат позднего кайнозоя юга Восточной Сибири. Новосибирск, Наука, 1985, 158 с.
9. **Савина Л.Н.** Тенденции развития прибрежных ландшафтов оз. Байкал по данным палеогеографических исследований // Позднекайнозойская история озер СССР. Новосибирск, Наука, 1982, с. 42—52.
10. **Зубарев А.П.** История лесной растительности среднегорного Хамар-Дабана в голоцене // Палеоботанические исследования в лесах Северной Азии / Под ред. Л.Н. Савиной. Новосибирск, Наука, 1981, с. 5—30.
11. **Roberts N.** The Holocene. An environmental history (Second edition). Oxford, Blackwell Scientific Publishers, 1998, 304 p.
12. **Stuiver M., Reimer P.J.** Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program // Radiocarbon, 1993, v. 35, p. 215—230.
13. **Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E.** Pollen analysis. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1991, 216 p.
14. **Букс И.И., Мартыянова Г.Н.** Выбор компонентов и обработка первичного материала // Эколого-фитоценотические комплексы Азиатской России. Иркутск, Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР, 1977, с. 8—14.
15. **Букс И.И.** Методика составления и краткий анализ корреляционной эколого-фитоценотической карты Азиатской России // Там же, с. 15—54.
16. **Растительный покров Хакасии** / Ред. А.В. Куминова. Новосибирск, Наука, 1976, 421 с.
17. **Мерзлотные ландшафты Якутии** / А.Н. Федоров, Т.А. Ботулу, С.П. Варламов и др. Новосибирск, ГУГК, 1989, 169 с.
18. **Байкал: атлас** / Ред. Г.И. Галазий. М., Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993, 160 с.
19. **Гричук В.П.** Реконструкция скалярных климатических показателей по флористическим материалам и оценка ее точности // Методы реконструкции палеоклиматов. М., Наука, 1985, с. 20—28.
20. **Михеев В.С.** Ландшафтно-географическое обеспечение ТерКСОП бассейна оз. Байкал (Материалы к территориальной комплексной схеме охраны природы (ТерКСОП)). Иркутск, Изд-во Ин-та географии СО РАН СССР, 1988, 63 с.
21. **Hahne J., Melles M.** Late and postglacial vegetation and climate history of the south-western Taymyr Peninsula (Central Siberia), as revealed by pollen analysis of sediments from Lake Lana // *Vegetation History and Archaeobotany*, V. 6. Springer-Verlag, 1997, p. 1—8.
22. **Gulliksen S., Birks H.H., Possnert G., Mangerud J.** A calendar age estimate of the Younger Dryas-Holocene boundary at Krakenes, western Norway // *The Holocene*, 1998, v. 8, p. 249—259.
23. **Alley R.B.** The Younger Dryas cold interval as reviewed from central Greenland // *Quatern. Sci. Rev.*, 2000, v. 19, p. 213—226.
24. **Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет** (Атлас-монография). М., Наука, 1982, 156 с.
25. **Dansgaard W., White J.W., Johnsen S.J.** The abrupt termination of the Younger Dryas climatic event // *Nature*, 1989, v. 339, p. 532—534.
26. **Beveridge N.A.S.** Evidence for a change in atmospheric circulation during the Younger Dryas // Long-term climatic variations. NATO ASI Series, 1994, v. 122, p. 251—258.

27. **Goslar T., Balaga K., Arnold M. et al.** Climate-related variations in the composition of the Lateglacial and Early Holocene sediments of Lake Perespilno (eastern Poland) // *Quatern. Sci. Rev.*, 1999, v. 18, p. 899—911.
28. **Yaeko I.** A Lateglacial climatic reversion in Hokkaido, Northeast Asia, inferred from the Lark pollen record // *Quatern. Sci. Rev.*, 1996, v. 15, p. 989—995.
29. **Левина Т.П., Орлова Л.А.** Климатические ритмы голоцена юга Западной Сибири // *Геология и геофизика*, 1993, т. 34, № 3, с. 38—55.
30. **Prokopenko A.A., Williams D.F., Karabanov E.B., Khursevich G.K.** Response of Lake Baikal ecosystem to climate forcing and $p\text{CO}_2$ change over the last glacial/interglacial transition // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1999, v. 172, p. 239—253.
31. **Бараш М.С.** Палеоэкологические аспекты палеоокеанической эволюции Северной Атлантики и прилегающей области Арктического бассейна // *Четвертичная палеоэкология и палеогеография северных морей*. М., Наука, 1988, с. 53—67.
32. **Архипов С.А., Волкова В.С.** Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. Новосибирск, НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1994, 105 с.
33. **Peteet D.M., Mann D.N.** Late-glacial vegetational, tephra and climatic history of southwestern Kodiak Island, Alaska // *Ecoscience*, 1994, v. 1, № 3, p. 255—267.
34. **Whitlock C., Bartlein P.** Vegetation and climate change in northwest America during the past 125 kyr // *Nature*, 1997, v. 388, p. 57—61.
35. **Andreev A.A., Klimanov V.A., Sulerzhitsky L.D.** Younger Dryas pollen records from central and southern Yakutia // *Quatern. Int.*, 1997, v. 41, № 42, p. 111—117.
36. **Волкова В.С., Бахарева В.А., Левина Т.П.** Растительность и климат голоцена Западной Сибири // *Палеоклиматы позднеледникового и голоцена*. М., Наука, 1989, с. 90—96.
37. **Кожевников Ю.П., Украинцева В.В.** Некоторые особенности растительного покрова Евразии в древнем голоцене // *Ботанич. журн.*, 1992, т. 77, № 8, с. 1—8.
38. **Кошкарлова В.Л., Орлова Л.А.** Видовая структура и динамика лесных экосистем на севере Путорана в голоцене // *Сибирский экологический журнал*, 1998, т. 3—4, с. 251—256.
39. **Monserud R.A., Tchebakova N.M., Denissenko O.V.** Reconstruction of the mid-Holocene palaeoclimate of Siberia using a bioclimatic vegetation model // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 1998, v. 139, p. 15—36.
40. **An Z., Porter S., Kutzbach J.E. et al.** Asynchronous Holocene optimum of the East Asian monsoon // *Quatern. Sci. Rev.*, 2000, v. 19, p. 743—762.
41. **Halsey L.A., Vitt D.H.** Sphagnum-dominated peatlands in North America since the Last Glacial Maximum: their occurrence and extent // *The Bryologist*, 2000, v. 103, № 2, p. 334—352.
42. **Безрукова Е.В.** Палинология донных отложений оз. Байкал // *География и природные ресурсы*, 1998, № 3, с. 54—62.
43. **Miyoshi N., Takeuchi T., Kataoka H. et al.** Pollen analysis of upper sediment (VER 94/5-St.21) in Lake Baikal // *Jap. J. Palynol.*, 1999, v. 45, № 1, p. 27—34.
44. **Horiuchi K., Minoura K., Hoshino K. et al.** Palaeoenvironmental history of Lake Baikal during the last 23 000 years // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 2000, v. 157, p. 95—108.
45. **Oda T., Minoura K., Fujimura Ch. et al.** Vegetation history of the Baikal drainage basin during the last 250 000 years // *Jap. J. Palynol.*, 2000, v. 46, № 2, p. 81—93.
46. **Rosignol-Strick M.** The Holocene climatic optimum and pollen records of sapropel 1 in the eastern Mediterranean, 9000—6000 BP // *Quatern. Sci. Rev.*, 1999, v. 18, p. 515—530.
47. **Wagner B., Melles M., Hahne J. et al.** Holocene climate history of Geographical Society O, East Greenland — evidence from lake sediments // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 2000, v. 160, p. 45—68.
48. **Yan G., Wang F.B., Shi G.R., Li S.F.** Palynological and stable isotopic study of palaeoenvironmental changes on the northeastern Tibetan plateau in the last 30 000 years // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 1999, v. 153, p. 147—159.
49. **Kullman L.** Non-analogous tree flora in the Scandes Mountains, Sweden, during the early Holocene — macrofossil evidence of rapid geographic spread and response to palaeoclimate // *Воряс*, 1998, v. 27, p. 153—161.
50. **Кременецкий К.В., МакДональд Г.М., Галабала Р.О. и др.** Об изменении северной границы ареалов некоторых видов деревьев и кустарников в голоцене // *Ботанич. журн.*, 1996, т. 81, № 4, с. 10—25.