

ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ОХОТСКО-КОЛЫМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ОСАДКОВ ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР

П.М. Андерсон¹, А.В. Ложкин², П.С. Минюк², А.Ю. Пахомов²

¹Факультет наук о Земле и Космосе, Центр четвертичных исследований Вашингтонского университета, Сиэтл, США, e-mail: pata@u.washington.edu

²ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, ул. Портовая 16, г. Магадан, 685000; e-mail: lozhkin@neisri.ru

Поступила в редакцию 25 февраля 2014 г.

Исследование осадков ледниковых озер, находящихся на высотах 750–810 м у верхней границы лиственничных лесов в горном районе Охотско-Колымского междуречья, позволило получить непрерывные летописи изменений климата и растительности за последние 12 тыс. лет. Впервые для детальной реконструкции реакции растительности на климатические изменения применен анализ скорости накопления пыльцы (PAR – Pollen Accumulation Rate), отражающей пыльцевую продуктивность. Показано, что климатические флюктуации в течение голоцена вызывали смещение верхней границы леса в интервале 100–200 м. Формирование кустарникового соснового пояса выше границы леса датируется около 7650 ± 50 л. н. и определяет границу резкого изменения растительного покрова на Севере Дальнего Востока на рубеже, сопоставляемом с границей бореального и атлантического периодов голоцена. Установленная в нижних частях колонок осадков пыльцевая зона березы характеризует переходный от плейстоцена к голоцену период.

Ключевые слова: плейстоцен, голоцен, пыльцевая зона, граница леса, Северо-Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Палинологические исследования и серии радиоуглеродных датировок осадков ледниковых озер, расположенных в пределах Охотско-Колымского междуречья у верхней границы лиственничных лесов (*Larix cajanderi* Mayr.), дают информацию о реакции растительного покрова на климатические изменения в переходный от плейстоцена к голоцену период и в голоцене. К таким озерам относятся озера Голубое и Щучье, находящиеся в районе развития в четвертичный период горно-долинного оледенения в бассейне р. Талой, левого притока р. Буюнда, впадающей в р. Колыма (рис. 1, точки 1 и 2).

Бассейн р. Талой принадлежит восточным отрогам Майманджинских гор (Северное Приохотье и Верхняя Колыма), протянувшихся с севера на юг на 140 км. Отдельные вершины гор достигают 1400–1600 м. Здесь широко развиты кары. Трогообразные долины перегорожены конечно-моренными грядами. Встречаются глубокие седловины со следами ледни-

ковой обработки. На участках распространение основной морены микрорельеф холмисто-грядовый, перед внешним краем конечных морен – холмистый пологоволнистый. Оз. Голубое (61°07' с.ш., 152°16' в.д., абс. отм. 810 м; рис. 1, т. 2) образовалось внутри конечной морены, перегородившей долину ручья, истоки которого находятся на водораздельной седловине на высоте 945 м, сохранившей следы «обработки» ледником (широкое, плоское, перекрытое мореной днище, крутые обрывистые склоны). Длина озера 650 м, максимальная ширина 310 м. Небольшим мысом, образованным пролювиальным конусом выноса, озеро разделяется на две части. В северной части с ровным дном глубина достигает 9.6 м. В южной, несколько меньшей по размерам (длина 270 м, ширина 240 м) части озера дно также ровное и глубины составляют 4–6 м.

Оз. Щучье (61° 17' с. ш., 152° 20' в. д., абс. отм. 750 м; рис. 1, т. 1) образовано мореной на левом берегу среднего течения р. Талой. Озеро овальной формы вытянуто в северо-западном направлении, достигая

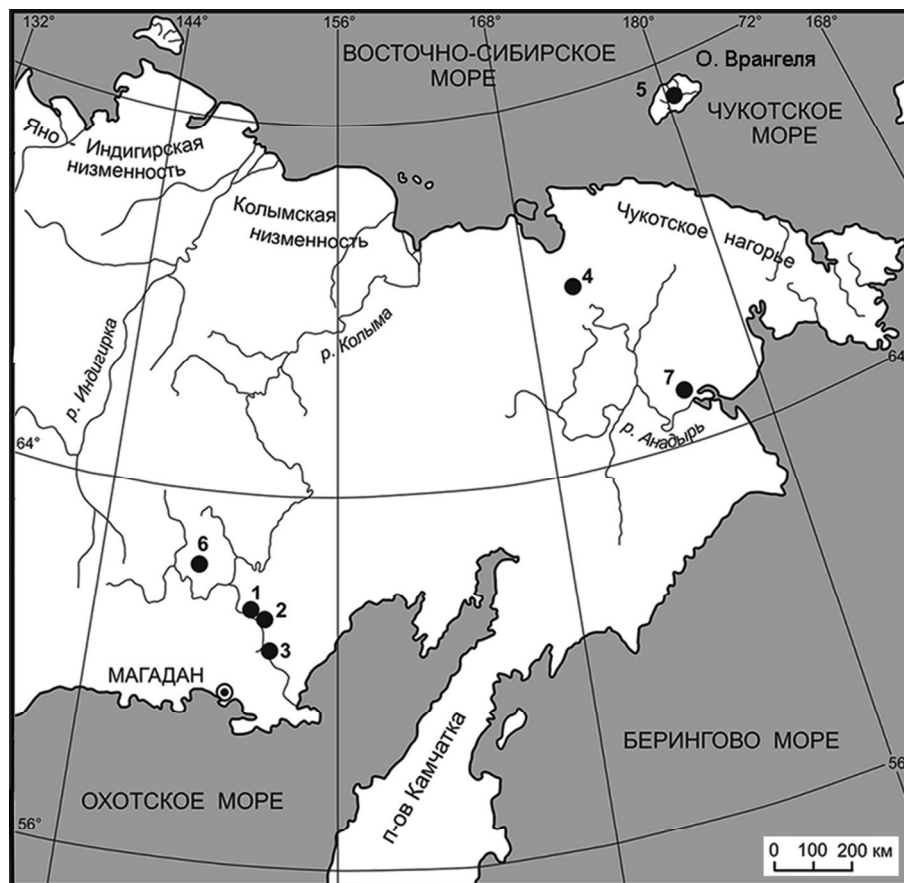


Рис. 1. Географическое положение объектов исследования на территории Северо-Востока России.

1 – оз. Щучье; 2 – оз. Голубое; 3 – оз. Эликчан-4; 4 – оз. Эльгыгытгын; 5 – торфяники о. Врангеля: р. Мамонтова, Тундра Академии; 6 – оз. Джека Лондона, Соседнее; 7 – Озера Нижнеанадырской впадины.

длины 450 м и ширины 200 м. С восточной стороны к озеру спускается склон боковой морены высотой около 30 м. Максимальная глубина озера – 18 м – установлена в северной части. В центре озера и в его южной части дно ровное; глубина составляет 4–6 м.

Характеристика осадков оз. Голубое получена по керну длиной 217 см, поднятому в центре северного бассейна на глубине 954 см. Осадки в оз. Голубое, представленные серыми пластичными тонкослоистыми алевритами, включают в интервале 161–173 см прослой серовато-белого вулканического пепла.

В центре оз. Щучье в пределах ровной площадки на глубине 598 см поднят керн длиной 286 см. Осадки также представлены серым пластичным алевритом с тонкой горизонтальной слоистостью, но прослой вулканического пепла не превышает здесь 3 см (интервал 212–215 см). Существенно различаются содержания органики в осадках оз. Голубое и оз. Щучье. В оз. Голубое, окруженном крутыми, покрытыми каменистыми осыпями склонами, с нешироким (до 2.5 м) галечно-щебнистым пляжем и каменистым дном вблизи

берега, количество органики в алевритах в интервале 0–145 см не превышает 22 % и резко уменьшается до 3–7 % в алевритах, слагающих основание разреза. В меньшем по размерам оз. Щучье с более пологими, покрытыми осокой берегами содержание органики заметно выше и достигает 27 % в нижней половине разреза и 34–64.5 % в интервале 45–132 см. Серии радиоуглеродных датировок по растительным остаткам (в таблице приведены радиоуглеродные и калиброванные датировки [33]) и их линейная экстраполяция показывают, что накопление осадков в оз. Щучье началось около 9100 л. н. (10240 – калиброванный возраст), а в оз. Голубое около 12000 л. н. (13840 калиброванный возраст). Учитывая мощность осадков в озерах, можно рассчитать, что в оз. Щучье скорость осадконакопления примерно в 1.6 раз превышала скорость формирования осадков в оз. Голубое. Прослой вулканического пепла в осадках озер являются прекрасными маркирующими горизонтами. Подобные прослой вулканического пепла обнаружены в осадках ледниковых и подпрудных озер Верхнеколымского

Таблица. Радиоуглеродные датировки растительных остатков.

Глубина, см	Номер датировки	¹⁴ C датировка	Калиброванный возраст	Органический материал
оз. Голубое				
8–10	CAMS 43432	1610±50	1525	Растительные остатки
30–32	CAMS 32941	2940±80	3135	Мох
57–60	CAMS 43426	4210±70	4825	Растительные остатки
64–65	CAMS 57057	5580±50	6330	Растительные остатки
104–105	CAMS 46223	6320±50	7260	Мох
125–127	CAMS 55827	7280±60	8050	Ветви и шишки лиственницы
178–180	CAMS 44518	8030±240	9025	Древесина
204–206	CAMS 53250	8290±130	9295	Растительные остатки
212–213	CAMS 52325	11310±70	13200	Растительные остатки
оз. Щучье				
107–112	CAMS 46694	4130±40	4795	Древесина, насекомые
145–147	CAMS 52339	4820±230	5585	Иголки лиственницы
179–181	CAMS 54892	6480±110	7425	Мелкие растительные остатки
252	CAMS 49696	8720±120	9960	Мелкие растительные остатки
283–285	CAMS 50339	9060±70	10230	Семена березы и ольховника, листья березы

и Верхнеиндигирского районов, а также в Северном Приохотье [19]. Возраст горизонтов вулканического пепла в осадках озер определяется по радиоуглеродному датированию подстилающих и перекрывающих их отложений, содержащих растительные остатки, между 7600–7700 л. н. Такая датировка и химический состав пепла, отвечающий риолитам с содержанием SiO₂ 74–76 %, дают основание считать, что его происхождение следует связывать с крупнейшим за последние 10 тыс. лет эксплозивным извержением на юге Камчатки [21]. Мы принимаем возраст прослоев вулканического пепла как маркирующих горизонтов для палеогеографических реконструкций на Севере Дальнего Востока 7650±50 л. н. (калиброванный возраст 8420 л. н.).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Подъем кернов осадков озер выполнялся поршневым пробоотборником с платформы, установленной на катамаране. Исследование осадков озер Голубое и Щучье предусматривало палинологический, литологический, тефрохронологический анализы, радиоуглеродное датирование. Химическая обработка палинологических проб осуществлялась по стандартной методике, применяемой при исследовании арктических озер [1], с использованием 1 или 2 см³ осадка с добавлением таблеток, содержащих определенное количество «экзотических» спор (*Lycopodium clavatum* L.), что позволяло устанавливать пыльцевую продуктивность. В каждом образце

подсчитывалось как минимум 300 пыльцевых зерен наземных растений. Обработка данных пыльцевого анализа и построение диаграмм выполнялись с использованием специализированных компьютерных программ Tilia и Tilia-graph (<http://museum.state.il.us/pib/grimm/tilia>). На спорово-пыльцевых диаграммах (рис. 2 и 4) показаны соотношения групп растительности (в левых частях диаграмм – пыльцы группы древесных и кустарниковых растений, пыльцы группы кустарничковых и травянистых растений и группы спор), основных пыльцевых и споровых таксонов. Содержание каждого пыльцевого таксона приводится в процентах от суммы всех пыльцевых зерен. Участие спор рассматривается как относительная величина, которая определяется отдельно для каждого спорового таксона от общего количества пыльцы. Оценка скорости накопления пыльцы (PAR – Pollen Accumulation Rate), подчеркивающей пыльцевую продуктивность, выполняется с помощью компьютерной программы, учитывающей пыльцевую концентрацию и скорость формирования осадков [26, 28]. Она отражена на диаграммах, показывающих количество пыльцы основных пыльцевых таксонов, выпадавшей на единицу поверхности (1 см²) в течение года (рис. 3 и 5). Датирование по радиоуглероду осуществлялось в Центре акселеративной масс-спектрометрии Лауренс Ливермор Национальной лаборатории, Калифорния, США (Center for Accelerator Mass Spectrometry, Lawrence Livermore National Laboratory, CA, USA).

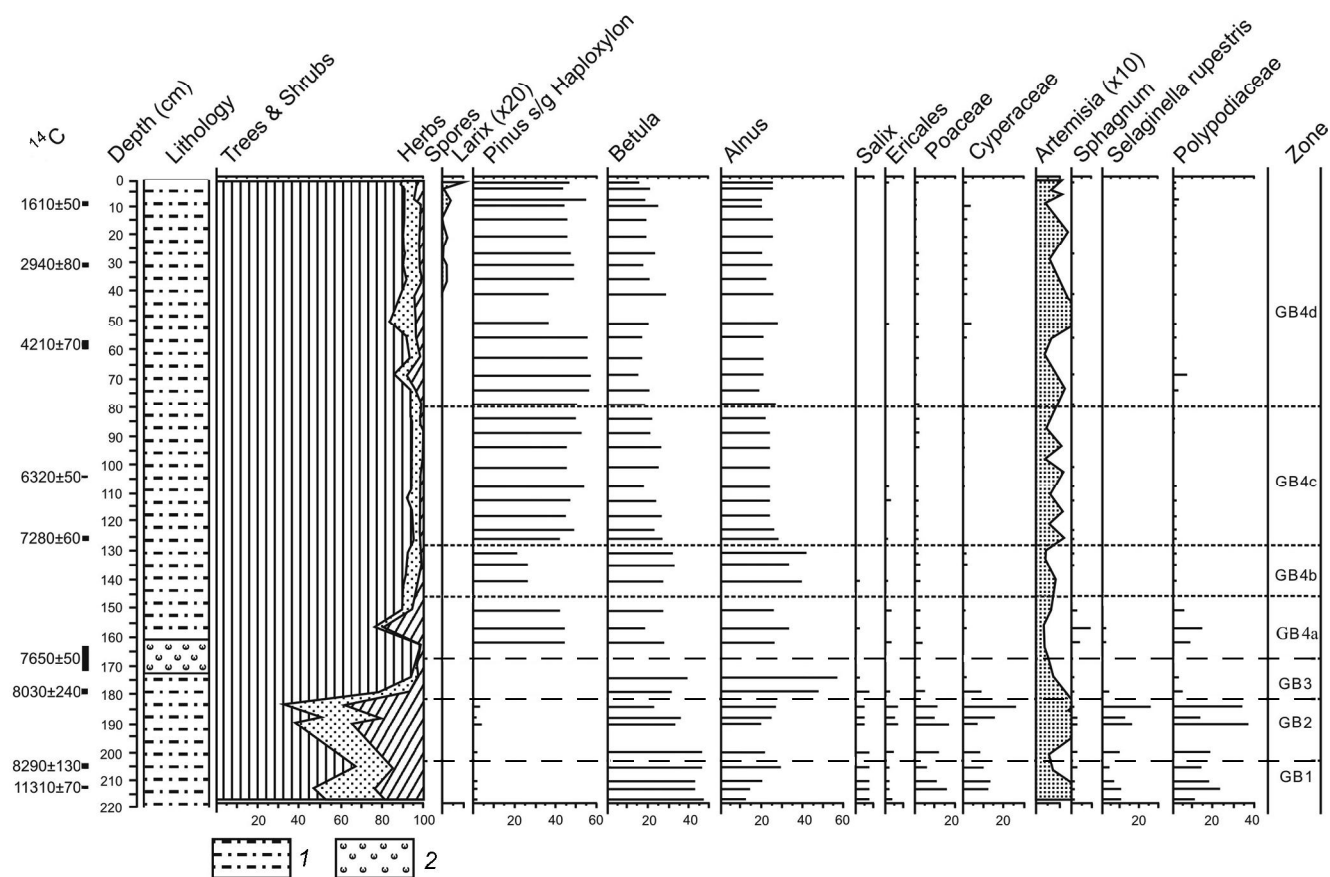


Рис. 2. Процентные соотношения групп растительности, основных пыльцевых и спорных таксонов в спектрах осадков оз. Голубое.

1 – алевриты, 2 – вулканический пепел.

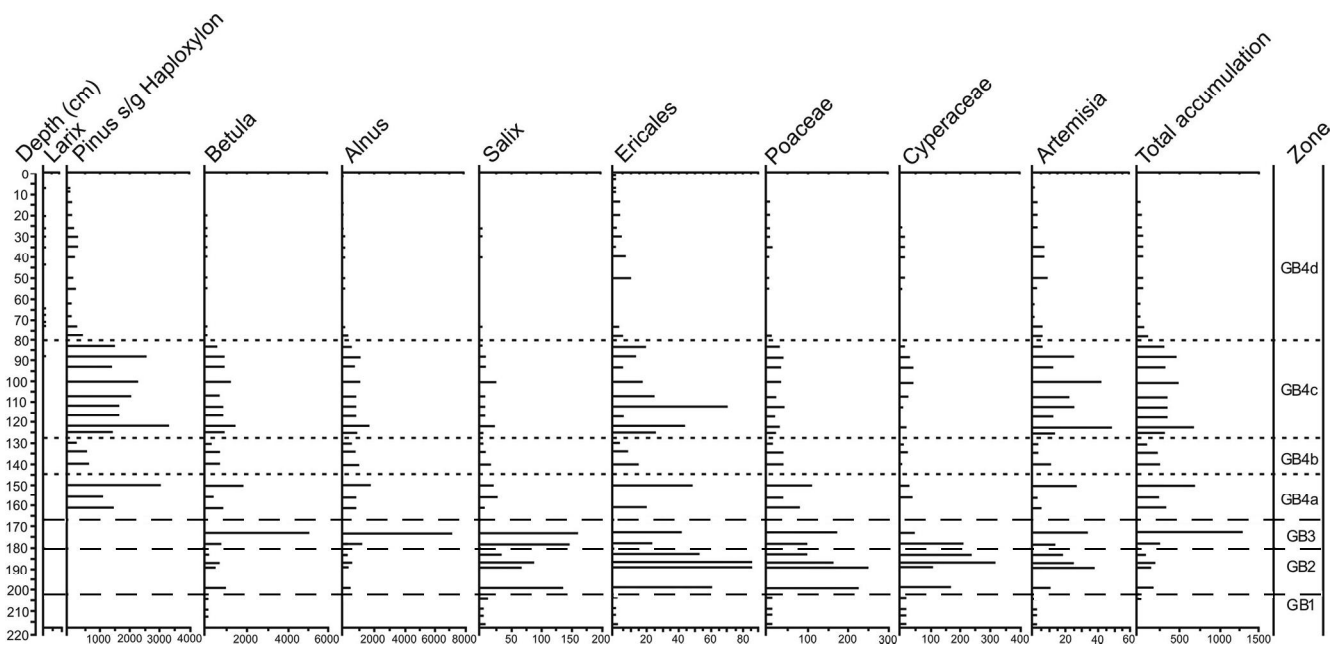


Рис. 3. Скорость накопления пыльцы по данным палинологического анализа осадков оз. Голубое (PAR): числа на горизонтальных масштабных линиях соответствуют количеству пыльцевых зерен; последняя колонка показывает общую PAR, в которой числа 500, 1000 ... соответствуют 5000, 10000 и т. д.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

Спорово-пыльцевая диаграмма осадков оз. Голубое включает четыре пыльцевые зоны (рис. 2, 3). Доминирующая в спектрах зоны GB1 (217–203 см) пыльца *Betula* (до 48 %) подчеркивает распространение кустарниковых берез *Betula middendorffii* Trautv. et Mey, *B. exilis* Sucacz., *B. fruticosa* Pall., образовавших густые заросли (ерники) по берегам озер и рек. Можно допустить (несмотря на отсутствие в спектрах зоны GB1 пыльцы *Larix* [3, 4, 8, 9]), что вблизи оз. Голубое существовал открытый лиственничный лес до высоты около 800 м, определявшей положение его верхней границы в горах. Основанием для таких построений являются непрерывные пыльцевые летописи в осадках озер Верхнеколымского района и Северного Приохотья, показывающие, что 11.6 тыс. л. н. лиственничные леса уже занимали значительные площади [16]. В виде примеси в лиственничном лесу могла встречаться *Betula platyphylla* Sucacz., произрастающая в Колымском районе в настоящее время [24]. Чрезвычайно низкое содержание в спектрах пыльцы *Pinus pumila* (Pall.) Rgl. (или ее отсутствие) свидетельствует, скорее всего, о том, что сосна стланиковая в начале голоцена еще не была представлена в растительном покрове Охотско-Колымского междуречья [16].

Мы рассматриваем пыльцевую зону GB1 как зону березы. Вместе с тем следует отметить, что в спектрах зоны постоянно присутствует пыльца *Salix*, количество которой достигает 7 %, и пыльца основных травянистых таксонов – Сурегасеае (13 %) и Роасеае (15 %). Такой состав спектров, по всей вероятности, подчеркивает развитие в речных долинах и вокруг озер обширных участков, занятых сообществами злаков и осок, зарослями ивы. Заметно участие в спектрах спор *Selaginella rupestris* (L.) Spring, вида, характерного для каменистых горных склонов. Принесенная ветром пыльца, установленная в осадках озера, продуцирована в основном растительными сообществами, окружавшими озеро и развитыми вблизи гольцового пояса. Принимая во внимание датировку 11310 ± 70 л. н. (СAMS52335, калиброванный возраст 13200 л. н.), следует полагать, что зона GB1 включает интервал, соответствующий позднему дриасу [23]. Однако убедительные доказательства похолодания позднего дриаса отсутствуют на большей части северной и восточной территорий Западной Берингии, а также и на значительной части Восточной Берингии (Аляска). Хотя берингийские палеоботанические данные показывают большие различия региональных климатических условий на рубеже плейстоцена и голоцена, климат в Восточной Берингии был теплее, чем современный, между 11 и 9 тыс. л. н. (радио-

углеродный возраст) [25, 27, 34]. Данные по Западной Берингии свидетельствуют о продолжавшемся послеледниковом росте летних и среднегодовых температур и, возможно, об увеличении влажности в течение этого периода с достижением температурного максимума 9.5–8 тыс. л. н. [10, 12, 16, 29]. Непрерывные пыльцевые летописи осадков ледниковых озер Северного Приохотья, Верхнеколымского района показывают значительное изменение растительного покрова 12.3–12.4 тыс. л. н. – замещение травянистой тундры кустарниковой березовой тундрой, вызванное быстрым и резким потеплением климата [14, 16].

Климатологические исследования Берингии [32] дают возможность получить сценарий атмосферных циркуляций, определявших более теплые, чем современные, климатические условия в течение позднего дриаса. Например, изучение торфяника мощностью 110 см на р. Мамонтова в центральной гористой части о. Врангеля (71°10' с.ш., 179°45' з.д.; рис. 1, т. 5) позволяют сделать вывод о более умеренном, чем в настоящее время, климате острова в переходный от плейстоцена к голоцену период. Радиоуглеродные датировки 10950 ± 60 л. н. (СAMS25904, подошва торфяника), 10580 ± 80 л. н. (МАГ-1496, средний слой), 10080 ± 50 л. н. (МАГ-1498, верхний слой) показывают, что формирование торфяной залежи охватывает поздний дриас. Находка в торфянике остатков *Betula exilis* и высокое содержание пыльцы *Betula* в спорово-пыльцевых спектрах (10 %), несомненно, свидетельствуют, что кустарниковая береза произрастала в это время на о. Врангеля в более благоприятных, чем современные, условиях [5]. При палеокарпологическом анализе торфяников более северного района о. Врангеля – Тундра Академии (рис. 1, т. 5), формировавшихся в период, сопоставляемый с финальной стадией позднего дриаса, установлены такие экзотические для современной флоры острова растения, как *Betula sect. Nana* Rgl., *Ranunculus lapponicus* L., *Empetrum nigrum* L. s. l. [7]. Следует также отметить, что на формирование специфических растительных сообществ о. Врангеля в этот период оказало влияние не только потепление климата, но и существование суши на шельфе арктических морей, определявшей относительно высокую степень континентальности климата в районах современного побережья морей Лаптевых и Восточно-Сибирского [13].

Для понимания реакции растительного покрова Берингии на климатические изменения в переходный от плейстоцена к голоцену период и в голоцене особое значение представляют исследования непрерывных пыльцевых летописей в осадках озер на крайнем западе региона [2, 35], а также в Нижнеанадырской впадине [30] (рис. 1, т. 7) и юго-западе Аляс-

ки, находящихся под влиянием холодного Берингова моря. В климатических записях осадков озер в этих районах выделяются фазы, отвечающие кратковременному похолоданию климата в течение позднего дриаса. Вполне вероятно, что в горных районах Северного Приохотья и бассейна р. Колымы реакция растительности на кратковременные климатические флюктуации выразилась в вертикальном смещении растительных поясов, изменении верхней границы леса. По всей вероятности, главные кустарниковые и травянистые таксоны реагировали индивидуально на постледниковое изменение климата. Иными словами, видовой состав растительных сообществ не претерпел значительных изменений, но в холодные фазы голоцена площади, занимаемые горными тундрами и лесотундрами, гольцовым поясом, могли значительно увеличиваться. Этот вывод подтверждается анализом спектров пыльцевых зон GB1 и GB2, подчеркивающих высокое участие в растительном покрове травянистых и споровых растений вблизи верхней границы леса в горах (рис. 2). Диаграмма, показывающая количество пыльцы, выпадавшей на 1 см² поверхности в год, свидетельствует о чрезвычайно низкой PAR зоны GB1 (рис. 3). Скорость накопления пыльцы составляет всего лишь 50–300 зерен на 1 см² поверхности в год, достигая максимума в верхнем слое зоны 625 зерен. Такая невысокая PAR доминантов растительного покрова – кустарниковых берез, ивы, верескоцветных, злаков, осок, полыни – указывает, по всей вероятности, на климатические условия с более низкими, по сравнению с современными, средними летними температурами, не превышавшими 8° С.

Зона GB2 (203–180.5 см) в общих чертах подобна зоне GB1 (рис. 2). В спектрах зоны GB2 возрастает содержание пыльцы Ericales и Cyperaceae, отмечены пики спор Polypodiaceae и *Selaginella rupestris*. Основная особенность спектров зоны GB2 – увеличение, по сравнению с зоной GB1, пыльцевой продуктивности. Общее количество пыльцы, выпадавшей в год на 1 см² поверхности, достигает 2400 зерен, в том числе *Betula* – 1000 зерен, *Alnus* – 500, *Salix* – 135, Ericales – 90, Poaceae – 250, Cyperaceae – 170, Artemisia – 35 зерен. Характерно, что пыльца *Pinus pumila* встречается в спектрах зоны в количестве 1–3 % и была занесена, по всей вероятности, из рефугиумов у побережья Охотского моря [22]. Близость озера к верхней границе леса, где в растительном покрове большую роль играют травянистые сообщества, подчеркивается сравнительно высоким содержанием пыльцы Poaceae. Вероятно, часть пыльцевых зерен Cyperaceae могла быть продуцирована *Carex argunensis* Turcz. ex Trev., *C. obtusata* Liljebl., *C. rupestris* All., растущих в остепненных сообществах осевых участков горных

хребтов [6]. Обращают внимание пики спор *Selaginella rupestris* (до 24 %), очевидно свидетельствующие о значительном расширении сообществ каменистых травянистых тундр. Эти данные позволяют сделать вывод, что верхняя граница лиственничных лесов, по сравнению с современной (850 м), находилась на отметках ниже 800 м.

Зона GB3 (180.5–167 см) – зона ольховника и березы. Весьма показательно отсутствие в спектрах зоны пыльцы *Pinus pumila*. Заметно сокращается роль пыльцы таких таксонов, как Cyperaceae и Poaceae, а также спор Polypodiaceae и *Selaginella rupestris* (рис. 2). Для зоны GB3 характерны максимальные значения PAR: общее количество пыльцы, выпадавшей в год на 1 см², достигало 13000 зерен, а пыльцы таких кустарниковых таксонов, как *Betula*, *Alnus* и *Salix*, соответственно, 5000, 7200 и 160 зерен (рис. 3). Таким образом, спорово-пыльцевые спектры зоны GB3 вполне определенно свидетельствуют об улучшении климатических условий около 8000 л. н., то есть в начале альтитермального интервала голоцена, датированного в приенисейской Сибири 8000–5000 л. н. [11]. По всей вероятности, климат в этот период отличался от современного более высокими летними температурами. Важнейшим элементом растительного покрова в районе оз. Голубое становится ольховник, образовавшийся самостоятельными насаждениями на склонах, окружающих озеро, густые заросли по берегам рек и формировавший вместе с *Betula middendorffii* кустарниковый ярус в лесу. Хотя пыльца *Larix* не установлена в спектрах зоны, следует допустить (учитывая весьма плохую сохранность в погребенном состоянии пыльцы *Larix cajanderi* [8, 9]), что верхняя граница леса располагалась на отметках выше 810–850 м и лиственничный лес уже окружал озеро.

Первый пик пыльцы *Pinus pumila* в спектрах зоны GB4 (167–0 см) датируется прослоем вулканического пепла, возраст которого определяется 7650 ± 50 л. н. [2, 21]. Такое резкое «внезапное» увеличение количества пыльцы сосны стланиковой, как это наблюдается на границе зоны GB3 и подзоны GB4а, – характерная черта пыльцевых голоценовых летописей осадков озер Чукотки, а также горных районов бассейнов рек Колыма и Индигирка [2, 13–15, 17].

По соотношению основных пыльцевых таксонов зона GB4 подразделяется на четыре подзоны. Подзона GB4а (167–145 см) характеризуется высокими содержанием (45 %) и PAR (до 3200 зерен на 1 см²) пыльцы *Pinus pumila*. Общая PAR достигает 6380 зерен на 1 см² в год. Мы полагаем, что открытый лиственничный лес существовал вблизи озера, а сосна стланиковая становится не только важнейшим элементом подлеска, но и образует густые заросли в горах выше

границы леса. Вполне вероятно, верхняя граница леса находилась на отметках, близких современным, то есть примерно на 100 м выше поверхности озера. Обилие сосны стланиковой в составе растительного покрова указывает на увеличение количества зимних осадков и формирование глубокого снежного покрова в осенний период и, вероятно, на более холодный климат по сравнению с зоной GB3. Распространение представителей семейства Polypodiaceae со сфагновыми мхами ассоциируется с лесными сообществами и увлажненными участками и действительно может быть одним из доказательств существования леса.

Судя по радиоуглеродным датировкам, подзона GB4b (145–127.5 см) сопоставляется с серединой атлантического периода [23]. Спорово-пыльцевые спектры подзоны позволяют реконструировать лиственный лес с богатым подлеском из ольховника, кустарниковых берез и сосны стланиковой. Вместе с тем спектры свидетельствуют о заметном снижении PAR *Pinus pumila* (до 250–580 зерен на 1 см² в год), что может подчеркивать сокращение соснового кустарникового пояса в горах. По всей вероятности, в этот период верхняя граница лиственного леса занимала более высокое положение, чем в настоящее время, и располагалась на отметках около 970–1000 м.

Подзона GB4c (127.5–80 см) охватывает интервал, соответствующий второй половине атлантического периода. Для спорово-пыльцевых спектров подзоны характерны высокое содержание пыльцы *Pinus pumila* во всех исследуемых образцах (до 55%) и максимумы ее PAR (до 3300 зерен на 1 см² в год). Обращает внимание заметная PAR *Artemisia* (до 48 зерен на 1 см² в год), которая может отражать развитие на горных склонах у вершин гор сухих каменистых участков. Впоследствии такие участки занимает сосна стланиковая, размножающаяся вегетативно. Общая PAR достигает 6370 зерен на 1 см² в год. Таким образом, пыльцевая характеристика подзоны GB4c позволяет сделать вывод, что кустарниковый сосновый пояс был одним из важнейших элементов растительного покрова в горных районах Верхней Колымы и Северного Приохотья в интервале 7000–5000 л. н.

По соотношению основных пыльцевых таксонов подзона GB4d (80–0 см) подобна подзоне GB4c (рис. 2). Особенностью спорово-пыльцевых спектров подзоны GB4d является «стойкое» появление пыльцы *Larix*. Другую особенность подзоны составляет также «стойкое» резкое снижение PAR (рис. 3). Общая PAR лишь немного превышает общую PAR зоны GB1 и в какой-то мере может быть сопоставлена с общей PAR зоны GB2. В зоне GB4d общая PAR составляет в среднем 830 зерен на 1 см² в год при максимуме 1250 зерен на 1 см² в год. PAR основных таксонов не пре-

вышает 430 зерен на 1 см² в год для *Pinus pumila*, 200 зерен для *Betula*, 400 зерен на 1 см² в год для *Alnus*. Большое сходство спорово-пыльцевых спектров подзоны GB4d с субфоссильными пыльцевыми спектрами Верхнеколымского района и Северного Приохотья [3, 4] свидетельствует, очевидно, о том, что растительность Охотско-Колымского междуречья в течение последних пяти тысяч лет была подобна современной.

Оз. Голубое и оз. Щучье, а также другие озера в бассейне р. Талой образованы моренами одного возраста. Однако накопление осадков в оз. Щучье началось на две тысячи лет позднее, чем в оз. Голубое. Скорее всего, это объясняется различиями субстратов, на которых формировались осадки в озерах. Осадки в оз. Голубое подстилаются коренными породами верхоянского комплекса, а осадки в оз. Щучье – валунно-галечными образованиями морены. Для «цементации» рыхлых образований морены требовалось определенное время, чтобы чаша морены могла заполняться водой. В настоящее время в относительно широких речных долинах и межгорных впадинах Северного Приохотья среди мореного комплекса встречаются озера, которые можно назвать сезонными, так как чаша морены заполняется водой только в период схода снежного покрова, а летом вода «просачивается» в рыхлые песчано-галечные отложения.

Пыльцевая диаграмма осадков оз. Щучье включает пять зон (рис. 4, 5). Главная особенность спорово-пыльцевых спектров осадков оз. Щучье – высокое содержание пыльцы *Larix* (3 %). Это дает основание считать, что в течение последних 9000 лет озеро постоянно находилось в лесном поясе, то есть верхняя граница лиственных лесов никогда не опускалась до абсолютных отметок ниже 750 м.

Зона TS1 (286–277 см) – зона березы – весьма характерна для всех пыльцевых летописей нижнеолоценовых осадков в озерах Берингии [16]. Отличительными чертами этой зоны являются: максимальные значения общей PAR (2700 зерен на 1 см² в год) и PAR основных пыльцевых таксонов – *Betula* (1700 зерен на 1 см² в год), *Alnus* (700 зерен), *Salix* (30 зерен), *Larix* (48 зерен), Poaceae (25 зерен), отсутствие в спектрах пыльцы *Pinus pumila*. Такая особенность спорово-пыльцевых спектров зоны TS1 свидетельствует о том, что в окрестностях оз. Щучье существовал сравнительно сомкнутый лиственный лес с богатым подлеском из кустарниковых берез, ольховника, ивы. Кустарниковые березы в виде густых зарослей (ерники) покрывали также склоны гор, а ольховник широко распространялся по берегам рек и озер.

Пыльца *Betula* и пыльца *Alnus* остаются главными таксонами в спорово-пыльцевых спектрах зоны TS2 (277–230 см). Количество доминирую-

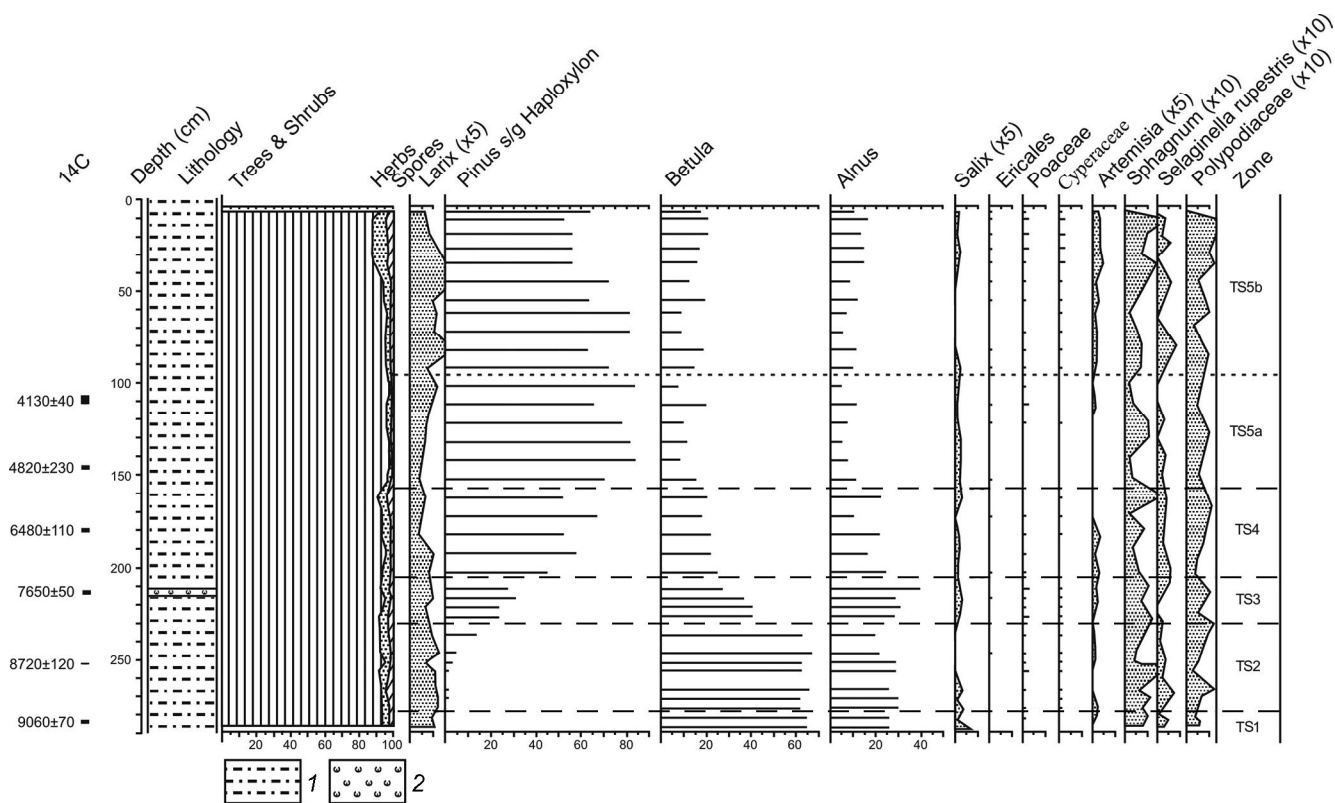


Рис. 4. Процентные соотношения групп растительности, основных пыльцевых и споровых таксонов в спектрах осадков оз. Щучье.

1 – алевриты, 2 – вулканический пепел.

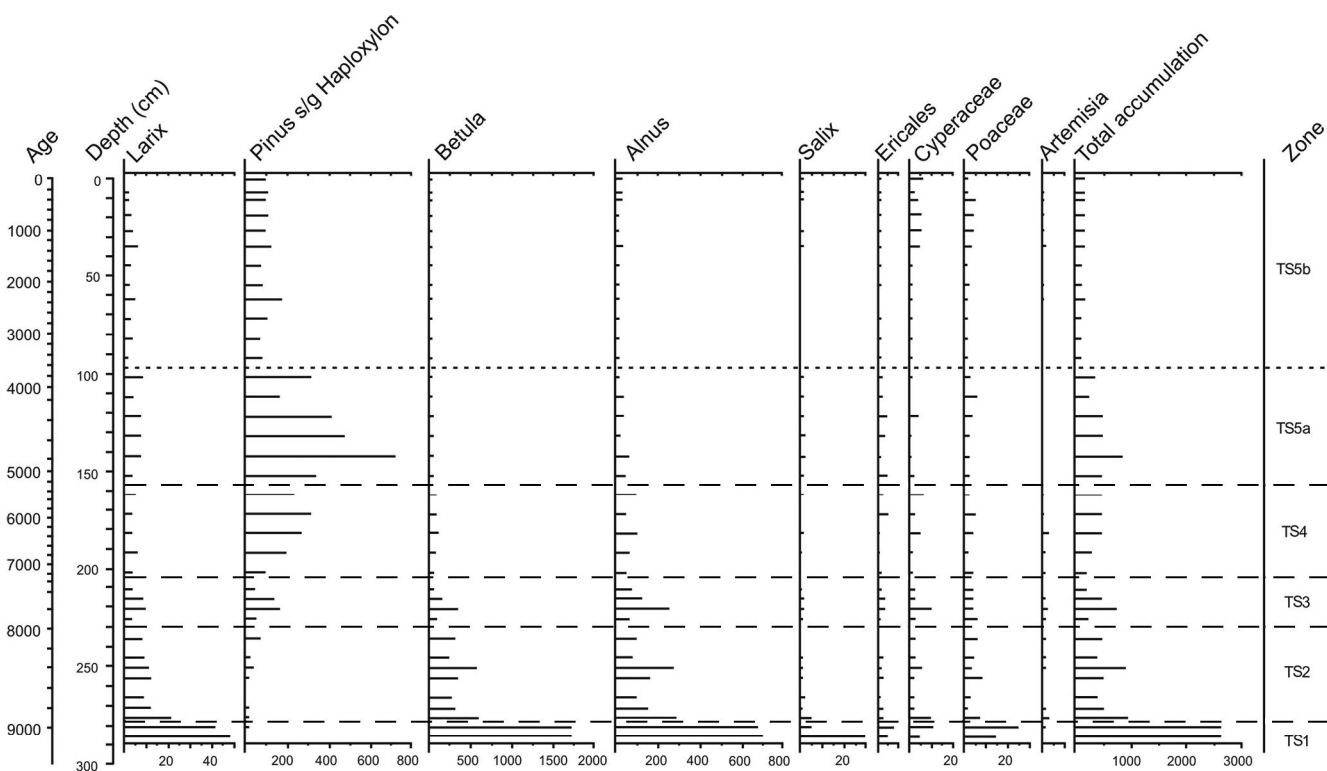


Рис. 5. Скорость накопления пыльцы по данным палинологического анализа осадков оз. Щучье (PAR): числа на горизонтальных масштабных линиях соответствуют количеству пыльцевых зерен; последняя колонка показывает общую PAR.

шей пыльцы *Betula* достигает 66 %. Вместе с тем, по сравнению с зоной TS1, в зоне TS2 PAR пыльцы *Betula*, как и других пыльцевых таксонов, весьма заметно снижается и не превышает 600 зерен на 1 см² в год. Общая PAR не превышает 1000 зерен на 1 см² в год. Радиоуглеродные датировки позволяют сравнить пыльцевые зоны TS1 и TS2 с зоной GB3 в осадках оз. Голубое и сопоставить их с бореальным периодом голоцена [23]. Сравнение пыльцевых характеристик зон TS1 и TS2 с пыльцевой записью осадков оз. Голубое подсказывает, что сосна стланиковая после ледникового распространяется в районе оз. Щучье прежде всего в подлеске лиственничного леса и не образует самостоятельных насаждений на склонах гор. Спектры зоны TS2 отражают ее постепенно возрастающую роль в кустарниковом ярусе леса. Первый пик пыльцы *Pinus pumila*, относящийся к зоне TS3 (230–205 см) в пыльцевой летописи оз. Щучье, как и в осадках оз. Голубое, датируется прослоем вулканического пепла 7650±50 л. н.

Пыльцевые спектры зоны TS4 (205–157 см) обладают многими общими чертами со спектрами подзоны GB4a (рис. 2, 3, 4, 5) и также могут показывать образование кустарникового соснового пояса выше границы леса в течение периода, сопоставляемого с атлантическим периодом голоцена. Подзона TS5a (157–95 см), отвечающая суббореальному периоду голоцена, характеризуется максимумом пыльцы *Pinus pumila* (до 84 %). Спектры подзоны по соотношению основных пыльцевых таксонов и PAR весьма близки спектрам подзоны GB4c и отражают значительное расширение площадей, занимаемых *Pinus pumila* вблизи горных вершин. Такие данные свидетельствуют об увеличении количества зимних осадков и формировании глубокого снежного покрова во второй половине осени и зимой, предохраняющего кустарниковую сосну от низких температур. Невысокие PAR и встречаемость в спектрах пыльцы *Betula* и *Alnus* свидетельствуют, очевидно, о сравнительно бедном кустарниковом ярусе в лесу, а низкое процентное содержание пыльцы трав показывает, что в лиственничных лесах развивался мохово-лишайниковый покров, встречающийся на некоторых участках в современных лесах Охотско-Колымского региона.

Подзона TS5b (95–0 см), как и подзона GB4d, характеризуется минимальными значениями общей PAR (до 170 зерен на 1 см² в год). Эта подзона, сопоставляемая с субатлантическим периодом голоцена, отражает современные редкостойные лиственничные леса Севера Дальнего Востока, сменяющиеся вблизи горных вершин обширными зарослями *Pinus pumila*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пыльцевые диаграммы осадков оз. Голубое и Щучье обнаруживают вполне определенное сходство и отражают последовательное изменение растительного покрова, подчиненное региональным факторам климатического контроля. Некоторые различия в спорово-пыльцевых характеристиках выделяемых пыльцевых зон, проявившиеся, например, в более высокой роли травянистых и споровых таксонов в осадках оз. Голубое, располагавшегося в течение голоцена вблизи верхней границы леса, в изменении содержания в спектрах пыльцы основных кустарниковых таксонов объясняются, по всей вероятности, различным гипсометрическим положением озер, скоростями осадконакопления. Разница в высотных отметках оз. Голубое и оз. Щучье составляет 60 м. Именно в этом интервале происходило изменение высотного положения границы леса в первой половине голоцена. Как отмечалось, оно было связано с понижением средних летних температур около 8300–7900 л. н., вызвавшим значительное расширение сообществ каменистой тундры на высотах современной границы леса. Таким образом, пыльцевую летопись оз. Голубое, находившегося в этот период у верхней (или выше) границы редкостойного лиственничного леса, можно рассматривать как первое для горной области Севера Дальнего Востока свидетельство похолодания климата в раннем голоцене.

Пыльцевые зоны в осадках озер Голубое и Щучье являются стратиграфическими и хронологическими реперами. Зона березы, установленная в осадках нижних частей разрезов, датируется в непрерывных пыльцевых летописях озер Севера Дальнего Востока (Западная Берингия) 12.2–9 тыс. л. н. Эта зона отражает широкое распространение сообществ кустарниковых берез, сменивших травянистую тундру, господствующую на большей части территории Севера Дальнего Востока в течение позднего криохрона (изотопная стадия 2) [16]. Озерные пыльцевые летописи Аляски показывают, что кустарниковая березовая тундра не была доминантом растительности до 12 тыс. л. н. и ее развитие в Восточной Берингии соответствует времени появления березовой тундры в Западной Берингии [16]. Нижняя граница зоны березы отвечает границе морских изотопных стадий 2 и 1 и может определять границу плейстоцена и голоцена. Близкие датировки нижней границы зоны березы получены при исследовании осадков в двух различных фитогеографических зонах Севера Дальнего Востока. При комплексном исследовании в рамках Международного проекта «Paleoclimatic Record of Elgygytgyn Lake, NE Russia» осадков кратер-

ного оз. Эльгыгытгын, находящегося на Чукотке в 100 км к северу от Полярного круга (рис. 1, т. 4), для нижней границы пыльцевой зоны березы получена радиоуглеродная датировка 12250 ± 70 л. н. (NSRL-11028) [20, 31].

Палинологический и радиоуглеродный анализы осадков оз. Эликчан-4 в Северном Приохотье (рис. 1, т. 3), в 80 км южнее оз. Голубое и оз. Щучье, а также осадков озер в Верхнеколымском районе (оз. Дж. Лондона, Соседнее, рис. 1, т. 6) показали, что смена травянистых тундровых сообществ крупнокустарниковой березовой тундрой и лиственничными лесами датируется около 12.5 тыс. л. н. [12, 14]. Отметим, что весьма характерной чертой пыльцевых спектров зон в интервале 12.2–8 тыс. л. н. является отсутствие или только единичная встречаемость пыльцы наиболее яркого представителя современной растительности Севера Дальнего Востока *Pinus pumila*. Первое значительное увеличение после ледникового интервала содержания в спектрах осадков оз. Эльгыгытгын пыльцы *Pinus pumila* датируется около 8 тыс. л. н., когда сосна стланиковая широко распространяется на Анадырском плоскогорье. В Северном Приохотье в осадках оз. Эликчан-4 и в соседних с ним оз. Эликчан-3 и оз. Эликчан-1, как и в озерах Голубое и Щучье, первый пик пыльцы *Pinus pumila* определяется прослоем вулканического пепла с датировкой, близкой к границе бореального и атлантического периодов голоцена – 7650 ± 50 л. н.

Исследования поддержаны Дальневосточным отделением РАН (проекты 12-III-A-09-198, 12-II-CO-08-024), Российским фондом фундаментальных исследований (проект 12-05-00286), Национальным научным фондом США. Мы выражаем искреннюю благодарность Ю.А. Корзун за помощь в подготовке материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсон П.М., Ложкин А.В., МакДональд Г., Эдвардс М. Протокол 1: Пыльца и микрофоссилии наземных отложений // Палеоклиматы арктических озер и эстуариев. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. С. 5–32.
2. Андерсон П.М., Ложкин А.В., Белая Б.В. «Молодой дриас» в Западной Берингии (Северо-Восток Сибири) // Изменения природной среды Берингии в четвертичный период. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. С. 28–44.
3. Андерсон П.М., Ложкин А.В., Белая Б.В. и др. Современные спорово-пыльцевые спектры Северного Приохотья по данным озерных осадков // Четвертичная палеогеография Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. С. 28–39.
4. Андерсон П.М., Ложкин А.В., Белая Б.В. и др. Современные спорово-пыльцевые спектры горных районов рек Колыма и Индигирка по данным озерных осадков // Четвертичная палеогеография Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. С. 51–61.
5. Андерсон П.М., Вартамян С.Л., Ложкин А.В. и др. Поздний дриас о. Врангеля, Чукотка // Страницы четвертичной истории Северо-Восточной Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2005. С. 28–39.
6. Берман Д.И. Современные обитания жука-пилильщика *MORYCHUS VIRIDIS* (COLEOPTERA, BYRRHIDAE) и реконструкция природной среды плейстоцена на Северо-Востоке СССР // ДАН СССР. 1990. Т. 310, № 4. С. 1021–1023.
7. Важенина Л.Н., Вартамян С.Л., Гуалтиери Л.М. Позднечетвертичная флора о. Врангеля (по плодам и семенам) // Пространственная и временная изменчивость природной среды Северо-Восточной Азии в четвертичный период. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. С. 89–98.
8. Васьковский А.П. Современные спорово-пыльцевые спектры северного побережья Охотского моря и приложение их к интерпретации данных пыльцевого анализа четвертичных отложений // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан: Кн. изд-во, 1956. Вып. 10. С. 169–172.
9. Васьковский А.П. Споры-пыльцевые спектры современных растительных сообществ Крайнего Северо-Востока СССР и их значение для восстановления четвертичной растительности // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан: Кн. изд-во, 1957. Вып. 11. С. 130–178.
10. Каплина Т.Н., Чеховский А.Л. Реконструкция палеогеографических условий голоценового климатического оптимума на Приморских низменностях Якутии // Четвертичный период Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1987. С. 145–151.
11. Кинд Н.В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М.: Наука, 1974. 251 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 257).
12. Ложкин А.В., Прохорова Т.П. Новые данные по истории формирования аласных отложений Колымской низменности (радиоуглеродные и палинологические исследования) // Стратиграфия и палеогеография позднего кайнозоя Востока СССР. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1983. С. 96–102.
13. Ложкин А.В., Андерсон П.М., Белая Б.В. Радиоуглеродное датирование пыльцевых зон в озерных осадках Колымо-Охотского междуречья // ДАН. 1991. Т. 343, № 3. С. 395–399.
14. Ложкин А.В., Андерсон П.М., Эйсер У.Р. и др. Новые палинологические и радиоуглеродные данные об эволюции растительного покрова Западной Берингии в позднем плейстоцене и голоцене // Эволюция климата и растительности Берингии в позднем кайнозое. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1995. С. 5–24.
15. Ложкин А.В., Андерсон П.М., Белая Б.В. и др. Палинологическая характеристика и радиоуглеродные датировки осадков озера Эльгеня, Верхняя Колыма // Четвертичные климаты и растительность Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. С. 50–64.
16. Ложкин А.В. Эволюция природной среды Берингии в позднем плейстоцене и голоцене: некоторые итоги совместных российско-американских исследований // Поздний плейстоцен и голоцен Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. С. 5–22.

17. Ложкин А.В., Андерсон П.М., Брубейкер и др. Травянистая пыльцевая зона в осадках ледниковых озер Чукотки // Изменение природной среды Чукотки в четвертичный период. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. С. 96–111.
18. Ложкин А.В. Границы Берингии в позднем плейстоцене и голоцене // Четвертичная палеогеография Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. С. 4–12.
19. Ложкин А.В., Андерсон П.М., Матросова Т.В. Вулканический пепел в осадках озер Северо-Востока Сибири // Климатические летописи в четвертичных осадках Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. С. 108–113.
20. Ложкин А.В., Андерсон П.М., Матросова Т.В. и др. Непрерывная летопись изменений природной среды Чукотки за последние 350 тысяч лет // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 6. С. 53–59.
21. Мелекесцев И.В., Глушкова О.Ю., Кирьянов В.Ю. и др. Происхождение и возраст магаданских вулканических пеплов // ДАН СССР. 1991. Т. 317, № 5. С. 1187–1192.
22. Шило Н.А., Ложкин А.В., Андерсон П.М. и др. Ледниковый рефугиум *PINUS PUMILA* (Pall.) Regel на Северо-Востоке Сибири // Докл РАН. 2007. Т. 412, № 3. С. 1–3.
23. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
24. Хохряков А.П. Материалы к флоре южной части Магаданской области // Флора и растительность Магаданской области. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 3–36.
25. Anderson P.M., Brubaker L.B. Vegetation history of north-central Alaska: a mapped summary of Late Quaternary pollen data // Quat. Sci. Rev. 13/ 1994. P. 71–92.
26. Birks H.J.B., Birks H.H. Quaternary Palaeoecology. London: Edward Arnold, 1980. P. 206–230.
27. Cwynar L.C., Spear R.W. Reversion of forest to tundra in the central Yukon // Ecology. 1991. V. 20. P. 202–212.
28. Davis M.B. Determination of absolute pollen frequency // Ecology. V. 47. P. 310–311.
29. Lozhkin A.V. Geochronology of the Quaternary events in northeastern Russia // Radiocarbon 35. 1993. P. 429–433.
30. Lozhkin A.V., Anderson P.M. Late Quaternary lake records from the Anadyr Lowland, Central Chukotka (Russia) // Quaternary Sci. Rev. 2013. V. 68. P. 1–16.
31. Lozhkin A.V., Anderson P.M., Matrosova T.V. et al. The pollen record from El'gygytyn Lake: implications for vegetation and climate histories of northern Chukotka since the late middle Pleistocene // J Paleolimnol. 2007. V. 37. P. 135–153.
32. Mock C.J., Bartlein P.J., Anderson P.M. Atmospheric circulation patterns and spatial climatic variations in Beringia // Int. J. Climatology. 1998. V. 18. P. 1085–1104.
33. Reimer P.J., Baillie M.G. L., Bard E. et al. Terrestrial radiocarbon age calibration, 26-0 ka BP. Radiocarbon. 2004. V. 46. P. 1029–1058.
34. Ritchie J.C., Cwynar L.C., Spear R.W. Evidence from northwest Canada for an early Holocene Milankovich thermal maximum // Nature. 1983. 305. P. 126–128.
35. 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 // Quaternary International. 1997. V. 41/42. P. 71–96.

Рекомендована к печати Л.И. Попеко

P.M. Anderson, A.V. Lozhkin, P.S. Minuyk, A.Yu. Pakhomov

Environmental changes of the Okhotsk-Kolyma divide from glacial lake sediments during the Holocene

Investigations of glacial lake sediments, located near the modern altitudinal boundary of larch forest (between 750–810 m absolute elevation), reveal continuous records of vegetation and climate changes over the last 12,000 years in the area of the Okhotsk-Kolyma divide. For the first time, pollen accumulation rates (PAR), which are suggestive of pollen productivity, were used as a key indicator to interpret the response of alpine plant communities to climate changes. The palynological data imply that several treeline fluctuations of ~100–200 m occurred during the Holocene. A belt of tundra, dominated by shrub pine, was first established beyond the alpine treeline near 7650 ± 50 BP. The abrupt appearance of the shrub pine in the study area is characteristic of a sharp vegetation boundary found in other records from the north of the Far East that corresponds to the Boreal-Atlantic boundary of the Holocene. The birch pollen zone, which occurs in the earlier portions of the records, is characteristic of the transition from the Pleistocene to the Holocene.

Key words: Pleistocene, Holocene, pollen zone, Alpine treeline, NE Russia.