

ЭВОЛЮЦИЯ ОЗЕРА ХАНКА И ОКРУЖАЮЩИХ ЛАНДШАФТОВ В МАКСИМУМ ПОХОЛОДАНИЯ ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА**В.Б. Базарова, М.С. Ляцевская, Т.Р. Макарова***ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041;
e-mail: bazarova@tigdvo.ru*

Поступила в редакцию 5 июня 2023 г.

Рассмотрены вопросы развития природной среды западного сектора Приханкайской равнины и эволюции озера Ханка в течение максимума последнего оледенения и в максимум озерной трансгрессии позднего плейстоцена. Литологические показатели и результаты диатомового анализа донных отложений озера Ханка свидетельствуют о двух обстановках осадконакопления в озере в период 24.0–19.0 тыс. кал. л.н.: 1) олиготрофно-мезотрофный, умеренно заболоченный мелководный водоем с нестабильным уровнем; 2) относительно глубокое озеро. Установлено время начала максимума трансгрессии (около 19.6 тыс. кал. л.н.), когда впервые в позднем плейстоцене уровень озера был выше современного на 1.5–2.0 м. Выделены четыре фазы развития растительности в западном секторе Приханкайской равнины: I – березово-лиственничные мари с ольхой и фригидными кустарниками (23.8–22.8 тыс. кал. л.н.); II – темнохвойная тайга с кедровым стлаником и примесью широколиственных (22.8–20.6 тыс. кал. л.н.); III – еловые леса с кедровым стлаником, пихтой, лиственницей и редкой примесью дуба (20.6–20.1 тыс. кал. л.н.); IV – березовые редколесья с ольхой и лиственничные мари с фригидными кустарниками (20.1–19.0 тыс. кал. л.н.). Зафиксировано две фазы похолодания на Приханкайской низменности – около 24.0 тыс. кал. л.н. (максимум похолодания) и 20.6 тыс. кал. л.н., одна фаза потепления около 22.8 тыс. кал. л.н., которые коррелируют с детальными глобальными летописями ледников Гренландии. Наиболее длительные сухие периоды установлены в течение 21.7–21.2 тыс. кал. л.н. Восстановлены количественные характеристики климатических событий по современным аналогам растительности.

Ключевые слова: озерные отложения, палинологический и диатомовый анализы, радиоуглеродное датирование, палеоландшафты, трансгрессия озера Ханка, поздний неоплейстоцен, Приханкайская низменность, Приморье.

ВВЕДЕНИЕ

В палеогеографических исследованиях позднего неоплейстоцена юга Дальнего Востока важное место занимает реконструкция термического минимума последнего оледенения на рубеже около 24.0–22.0 тыс. кал. л.н., отражающего критическую ситуацию в развитии природной среды. Озеро Ханка – крупнейший пресноводный водоем на юге Дальнего Востока (рис. 1). Эволюция озера и окружающих его ландшафтов издавна привлекали внимание исследователей [11, 15, 17, 23, 24, 26, 27]. Плейстоценовая история оз. Ханка насчитывает целый ряд трансгрессивных и регрессивных фаз, запечатленных в озерных осадках и рыхлых отложениях равнины [15, 16, 26]. В данной работе приводятся новые данные палинологического, диатомового и радиоуглеродного анализов, расширяющие представление об эволюции оз. Ханка и осо-

бенностях ландшафтно-климатической обстановки на Приханкайской равнине в максимум последнего ледниковья.

Приханкайская низменность приурочена к тектонической депрессии плиоценового возраста. С востока ее обрамляет хр. Синий, а с запада – отроги Пограничного хребта. На озёрно-аллювиальной равнине расположены невысокие останцовые возвышенности и аккумулятивные гривы. Вдоль побережья распространены аккумулятивные берега, абразионные имеются только на северо-западном побережье. Площадь озера составляет около 4070 м², средняя глубина – 4.5 м. Для него характерны значительные многолетние циклические колебания уровня воды, амплитуда которых достигает 2 м. Озеро расположено в области умеренного муссонного климата, периодически случаются засухи, вызываемые суховеями с территории

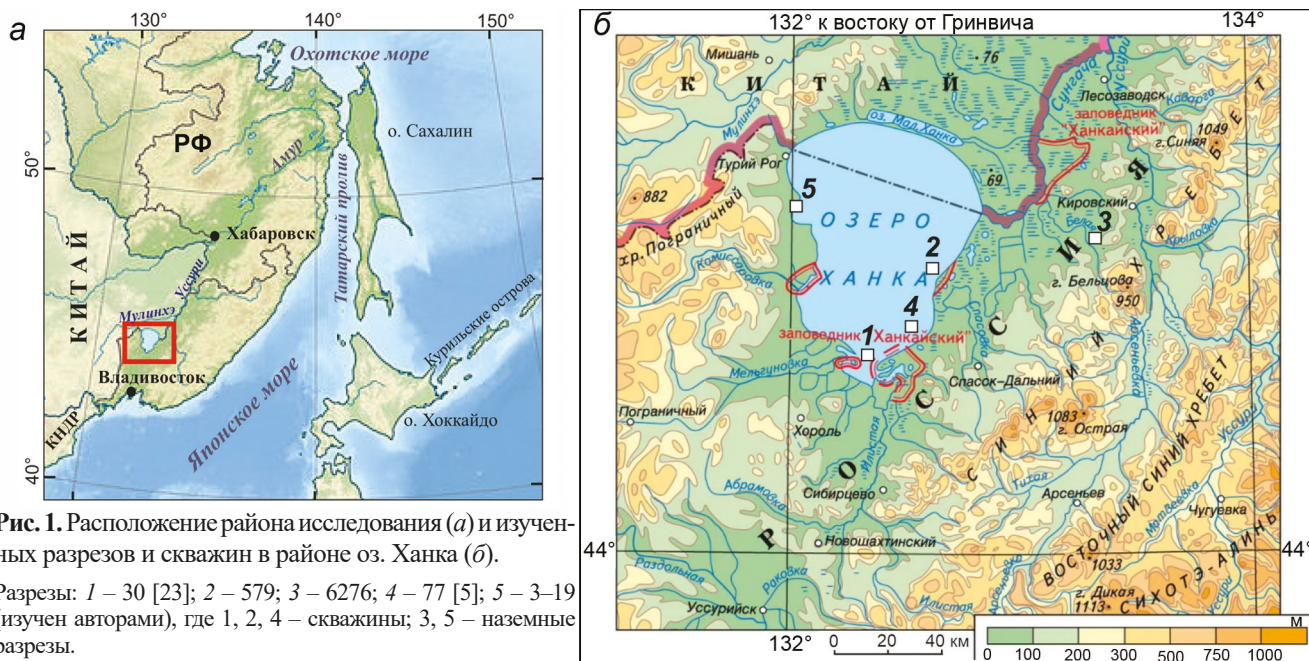


Рис. 1. Расположение района исследования (а) и изученных разрезов и скважин в районе оз. Ханка (б).

Разрезы: 1 – 30 [23]; 2 – 579; 3 – 6276; 4 – 77 [5]; 5 – 3–19 (изучен авторами), где 1, 2, 4 – скважины; 3, 5 – наземные разрезы.

северо-восточного Китая и Монголии. По данным метеостанции Турий Рог среднегодовая температура воздуха составляет +3.4 °С, среднемесячная января -17.5 °С, июля – +21.0 °С. Среднегодовое количество осадков составляет 567 мм, испарение с поверхности озера за год в среднем равно 584 мм [8].

В ландшафтном отношении западная часть Приханкайской низменности представляет собой лесостепь, занятую мозаичными остепненными лугами и кустарниками. Невысокие холмы покрыты, преимущественно, куртинами дубово-березовых лесов с липой, боярышником, кленом и другими широколиственными. Склоны окружающих хребтов заняты хвойно-широколиственными лесами. На песчаных пляжах озера растительный покров крайне разрежен. Повсеместно присутствуют адвентивные виды: *Ambrosia artemisiifolia*, *Xanthium albinum*, *Bidens frondosa*, *Hibiscus trionum*, *Abutilon theophrasti*, *Echinocystis lobata*, *Oenothera biennis*. Встречается эндемичный, охраняемый вид *Oxytropis chankaensis* [19, 25]. В тыловой части песчаных пляжей единично произрастают *Salix gracylestila*, *S. pirotii*, *S. rorida*, *S. Schwerinii*. Отмечаются отдельные кусты *Rhamnus davurica*, *Malus baccata*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отложениями позднего плейстоцена сложена озерная терраса западного побережья оз. Ханка с относительной высотой 15–20 м и две низкие надпойменные террасы в долинах основных рек. Позднеплейстоценовые озерные осадки, представленные в основном коричневыми алевритами с прослоями

песка, залегают на неровной поверхности подстилающих пород, перекрывая их плащом различной мощности [9, 22].

На западном побережье оз. Ханка, на окраине с. Новокачалинск, исследованы отложения озерной террасы (разрез 3–19) высотой 71 м над уровнем моря и 1.2 м над урезом воды (координаты: 45°05'60" с.ш., 132°00'77" в.д.). Мощность изученных отложений составляет 0.7 м. Ниже приводится литологическое описание разреза (сверху вниз).

| Литология | Интервал сверху вниз, см |
|--|--------------------------|
| Песок среднезернистый, сухой с редкими корнями трав..... | 0–20 |
| Песок мелкозернистый, влажный с редкими корнями трав..... | 20–24 |
| Дресва..... | 24–25 |
| Песок крупнозернистый, влажный..... | 25–32 |
| Дресва с крупнозернистым песком, влажная..... | 32–33 |
| Средне- и мелкозернистый песок, влажный..... | 33–38 |
| Дресва..... | 38–39 |
| Дресва с крупнозернистым песком, влажная..... | 39–49 |
| Алеврит темно-коричневого цвета, гумусированный, пластичный..... | 49–70 |

Отбор проб был произведен в интервале 43–70 см с шагом 3 см. Отложения были изучены спорово-пыльцевым, диатомовым и радиоуглеродным методами.

Обработка проб для палинологического анализа осуществлялась по общепринятым методикам [28, 30]. Идентификация пыльцевых зерен и спор проводилась по справочникам-определителям [7, 21, 38,

39 и др.]. Процентное соотношение устанавливалось между тремя группами микрофоссилий: деревьев и кустарников, трав и кустарничков, споровых. Затем сумму пыльцы первых двух групп принимали за 100 % и определяли вклад (в %) составляющих ее таксонов. Содержание спор (в %) рассчитывали от суммы микрофоссилий древесных и споровых растений.

Обработка проб для диатомового анализа выполнена по стандартным методикам [10], видовые определения сделаны с использованием атласов-определителей и литературных источников [35–37]. Определение эколого-географической характеристики проведено по [3, 32]. Для построения спорово-пыльцевой и диатомовой диаграмм использовано программное обеспечение Tilia v. 2-0-41 [34]. Палинокомплексы выделены на основе изменений таксономического состава спектров и с учетом их кластеризации при помощи программы CONISS.

Радиоуглеродное датирование проводилось в ИМКЭС СО РАН (г. Томск) (табл.) Калибровка радиоуглеродных дат сделана с помощью программы OxCal [33]. Возраст отложений рассчитывался по скоростям осадконакопления.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Палинологический анализ. Анализ субфоссильных проб Приханкайской равнины показал, что их спектры достоверно отражают зональный тип растительности. В среднем количество пыльцы деревьев и кустарников составляет 28 %, среди которой доминирует пыльца *Quercus* (13 %), пыльца других широколиственных пород представлена *Ulmus* (3 %), единично – *Juglans*, *Fraxinus*, *Tilia*. Из хвойных встречается пыльца *Pinus s/g Diploxylon* (3 %), *P. s/g Haploxylon* (1 %). Из мелколиственных – *Betula sect. Albae* и *B. sect. Costatae* (6 %), *Alnus* (1 %). Доля трав и кустарничков составляет около 70 %. Преобладает пыльца *Artemisia* (45 %), немалую роль в спектрах играет пыльца *Ambrosia* (14 %). Из разнотравья присутствует пыльца *Chenopodiaceae* (4 %), *Thalictrum*, *Potentilla*, *Roaceae* (примерно по 2 % каждого), *Cyperaceae*, *Cichorioideae*, *Scrophulariaceae* и *Ranunculaceae*

(≤ 1 %). Сумма спор в спектрах примерно 2 %, принадлежат хвощам, единично *Osmunda*.

По результатам палинологических исследований отложений выделено 4 палинокомплекса (ПК) (рис. 2).

ПК-1 (64–70 см, 23.8–22.8 тыс. кал. л.н.) характеризуется доминированием пыльцы трав – до 87 %, пыльцы древесных – до 12 %, количество спор – до 7 %. В группе древесных преобладает пыльца *Betula sect. Albae* (до 4 %), присутствует пыльца *B. sect. Costata* (до 2 %), фригидных кустарников (до 3 %): *Duschekia* и *Betula sect. Fruticosae*. Участие пыльцы *Alnus* достигает 2 %, содержание *Salix*, *Larix*, *Picea*, *Abies*, *Pinus s/g Haploxylon*, *Pinus s/g Diploxylon*, *Juniperus* – < 1 % каждого. В группе трав преобладает *Cyperaceae* (до 72 %), присутствуют *Roaceae* (до 13 %), *Ranunculaceae* (до 4 %), *Artemisia* (до 2 %), содержание других таксонов составляет не более 1 % каждого. Среди спор наиболее значителен вклад папоротников *Polypodiaceae* (до 6 %), единично присутствуют *Sphagnum*, *Lycopodium*, *Botrychium*.

ПК-2 (52–64 см, 22.8–20.6 тыс. кал. л.н.). Увеличивается количество пыльцы древесных – 22–44 %, доля травянистых составляет 36–64 %, спор до 21 %. В группе древесных преобладает пыльца хвойных *Pinus s/g Haploxylon* (до 20 %), *Pinus s/g Diploxylon* (до 16 %), *Picea* (до 13 %), *Abies* (до 8 %), единично присутствует *Larix*. Появляется пыльца широколиственных: *Quercus* – до 5 %, доля пыльцы других широколиственных (*Corylus*, *Juglans*, *Ulmus*, *Carpinus*) – в сумме до 2 %. Среди мелколиственных присутствует пыльца *Betula sect. Costata* до 3 %, *B. sect. Albae* до 2 %, *Alnus* и *Salix* ≤ 1 %. В группе травянистых доминирует пыльца *Cyperaceae* (до 46 %), присутствует пыльца *Roaceae* (до 27 %), *Artemisia* и *Ranunculaceae* (до 4 % каждого), *Cichorioideae* и *Caryophyllaceae* (до 3 % каждого), *Juncus*, *Potamogeton*, *Thalictrum* и *Asteraceae* (до 2% каждого). Среди спор преобладают папоротники *Polypodiaceae*.

ПК-3 (49–52 см, 20.6–20.1 тыс. кал. л.н.) характеризуется ростом пыльцы древесных до 69 %, участие трав составляет 18 %, спор – 13 %. В группе древесных доминируют хвойные *Picea* (37 %), *Pinus*

Таблица. Радиоуглеродные даты.

| Глубина (см) | Тип отложений | Возраст | | | Лабораторный № образца |
|--------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------|
| | | радиоуглеродный (л.н.) | калиброванный (кал. л.н.), 2 σ | медиана (кал. л.н.) | |
| 50 | Алеврит гумусированный | 16750 \pm 450 | 21452–19112 | 20258 | ИМКЭС-14C2782 |
| 70 | Алеврит гумусированный | 19750 \pm 500 | 25150–22736 | 23816 | ИМКЭС-14C2785 |

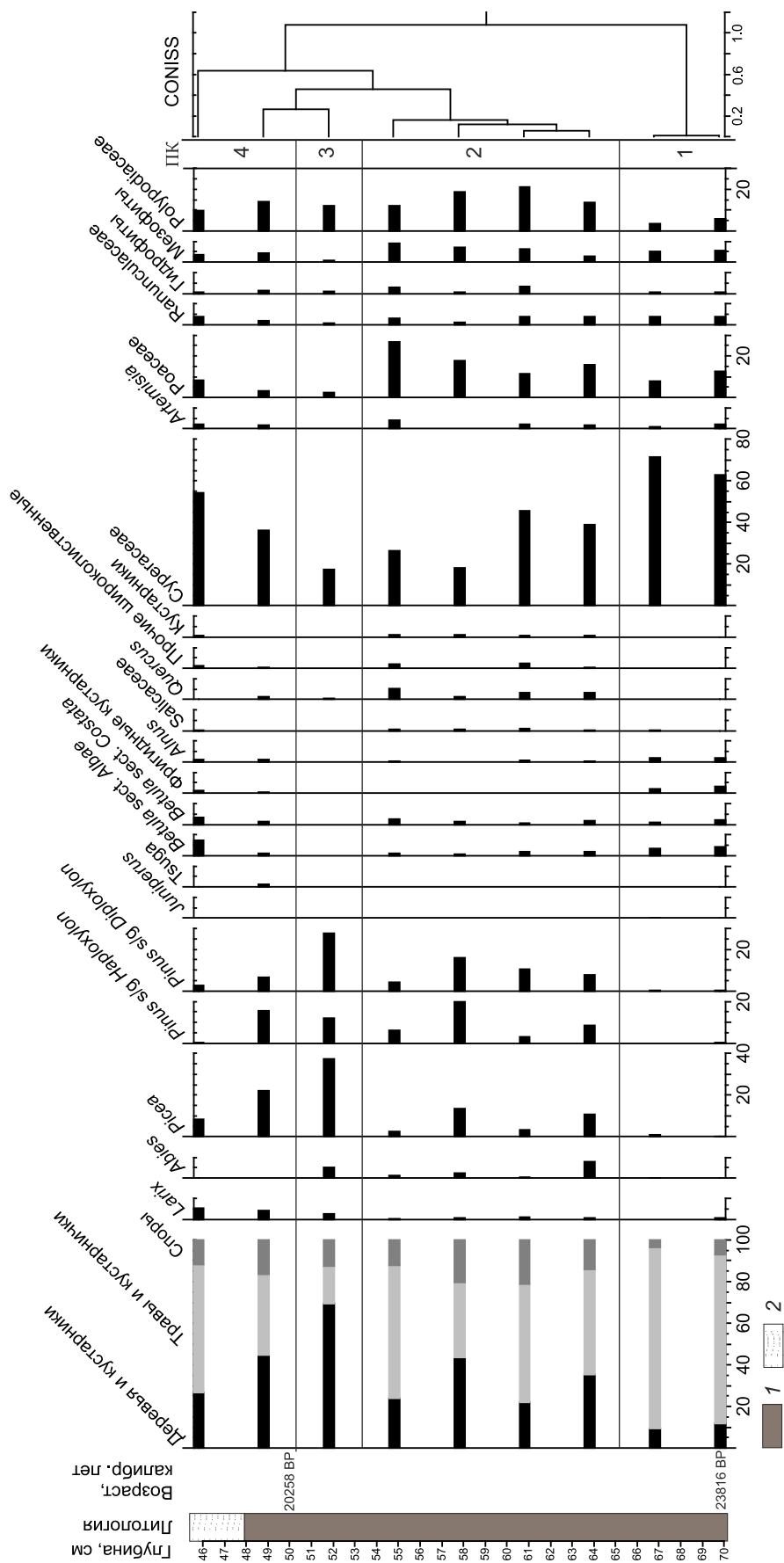


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений террасы оз. Ханка. 1 – алеврит, 2 – древесина.

s/g *Diploxyton* (28 %), *P. s/g Haploxyton* (12 %), *Abies* (5 %), *Larix* (2 %). Встречено одно пыльцевое зерно *Quercus*. Пыльца мелколиственных отсутствует. В группе трав доминирует пыльца *Syringaceae* (17 %), в небольшом количестве присутствует пыльца *Roaceae* (2 %), доля остальных составляет < 1 %. Среди спор преобладают *Polypodiaceae*.

ПК-4 (43–49 см, 20.1–19.0 тыс. кал. л.н.). Постепенно уменьшается количество пыльцы древесных до 27 %, доля пыльцы трав и кустарников увеличивается до 61 %, сумма спор – до 14 %. В группе деревьев преобладает пыльца хвойных *Picea* (до 8 %), возрастает доля пыльцы *Larix* (до 5 %), *Pinus s/g Diploxyton* (до 2 %), *P. s/g Haploxyton* встречается единично, исчезает пыльца *Abies*. В одной пробе в количестве 1 % встречена пыльца *Tsuga*. Увеличивается содержание пыльцы мелколиственных *Betula sect. Albae* (до 7 %), *B. sect. Costata* (до 3 %), фригидных кустарников: *B. sect. Fruticosae*, *B. sect. Nanae* и *Duschekia*, доля *Alnus* и *Salix* – около 1 % каждого. Пыльца широколиственных не превышает 1 %. В группе трав доминирует пыльца *Syringaceae* (до 54 %), присутствует *Roaceae* (до 8 %), *Ranunculaceae*, *Cichorioideae*, *Caryophyllaceae*, *Thalictrum*, *Fabaceae*, *Scrophulariaceae* и *Euphorbiaceae* (до 4 % каждого), *Artemisia* (до 2 %). Среди споровых преобладают *Polypodiaceae*.

Диатомовый анализ. Отложения изученного разреза характеризуются довольно бедным видовым и количественным содержанием диатомей. Здесь обнаружен 41 вид пресноводных диатомовых водорослей. В составе диатомей по местообитанию наиболее разнообразны донные – 22 вида, обрастания – 11, планктонных и временно планктонных – 8 видов. По географическому распространению существенно преобладают космополиты – 29 видов, бореальных – 8 и арктобореальных – 5. По отношению к pH среды преобладают циркумнейтральные виды – 21, алкалофилы – 13 и ацидофилы – 7; по отношению к солености преобладают индифференты – 31 вид, галофобы – 9, галофилы – 1. Выделено 2 диатомовых комплекса (ДК) (рис. 3).

ДК-1 (инт. 52–70 см, 23.8–20.6 тыс. кал. л.н.). В составе диатомей преобладают донные виды – до 99 %, доля обрастателей не превышает 10 %, планктонных менее 1 %. В состав доминирующего комплекса входят предпочитающие олиготрофно-мезотрофные воды мелководных водоемов космополиты *Diploneis ovalis* (до 21 %), *Pinnularia viridis* (до 19 %), *P. eifelana* (до 16 %), аэрофильный *Caloneis leptosoma* (до 26 %) и предпочитающие более холодные воды северо-альпийские виды *Pinnularia lata* (до 11 %), *Placoneis amphibola* (до 9 %), *Navicula semen* (до 6 %). Высоко содержание населяющего почвы и хорошо пе-

реносящего временные осушки *Hantzschia amphioxys* (до 18 %) и обрастателя *Eunotia praerupta* (до 7 %), способного развиваться в мелководных водоемах и толерантного к более сухим условиям, связанными с обитанием на мхе. В кровле слоя состав диатомей бедный (9–24 створки в препарате), что указывает на неблагоприятные условия для их развития или сохранности. Наиболее часто встречаются *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia lata*, *P. viridis*, *Placoneis amphibola*. Основная часть диатомей – космополиты, доля арктобореальных достигает 9 %, бореальных – 20 %, что указывает на существование довольно холодных условий. По отношению к солености преобладают индифференты (до 75 %), по отношению к pH – циркумнейтральные (до 87 %), доля ацидофилов меняется от 7 % до 19 %. Комплекс диатомей свидетельствует о существовании олиготрофно-мезотрофного, умеренно заболоченного, с нестабильным уровнем мелководного водоема. Наиболее длительные сухие периоды были в течение 21.7–21.2 тыс. кал. л.н., о чем свидетельствует увеличение доли почвенных диатомей до 19 % при снижении количества ацидофилов (до 7 %).

В инт. 46–52 см (20.6–19.6 тыс. кал. л.н.) осадки мало насыщены диатомеями (9 таксонов, 24 створки на препарат), что указывает на неблагоприятные условия для их развития или накопления. Видовой состав существенно не отличается от доминантов ДК 1.

ДК-2 (инт. 43–46 см, 19.6–19.0 тыс. кал. л.н.). В составе диатомей преобладают планктонные виды (87.7 %) *Aulacoseira islandica* (до 62 %), *A. granulata*, *A. distans*, *Lindavia radiosa* (до 16 %). Космополит *Aulacoseira islandica* (иногда трактуется как северобореальный вид) предпочитает олиготрофные воды, а вид *Lindavia radiosa* характерен для эвтрофных вод. Участие арктобореальных и бореальных видов снижается до 2 % и 5 %, соответственно. По отношению к солености преобладают индифференты, по отношению к pH – циркумнейтральные виды. Комплекс указывает на образование относительно глубокого озера.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно гринландским записям из ледовых кернов ONGRIP, оледенение МИС 2 началось 28.0 тыс. кал. л.н., и его наиболее глубокая фаза продолжалась до 24 тыс. л. н. После наступил короткий период потепления климата, а затем, в интервале 22–16 тыс. л. н., новое похолодание, к концу которого определилась четкая тенденция к потеплению [41]. Во время максимум похолодания МИС 2 климат всей Северной Азии был экстремально холодным и сухим, среднегодовая температура была на 8–11 °C ниже современной. Многолетняя мерзлота распространялась на юг

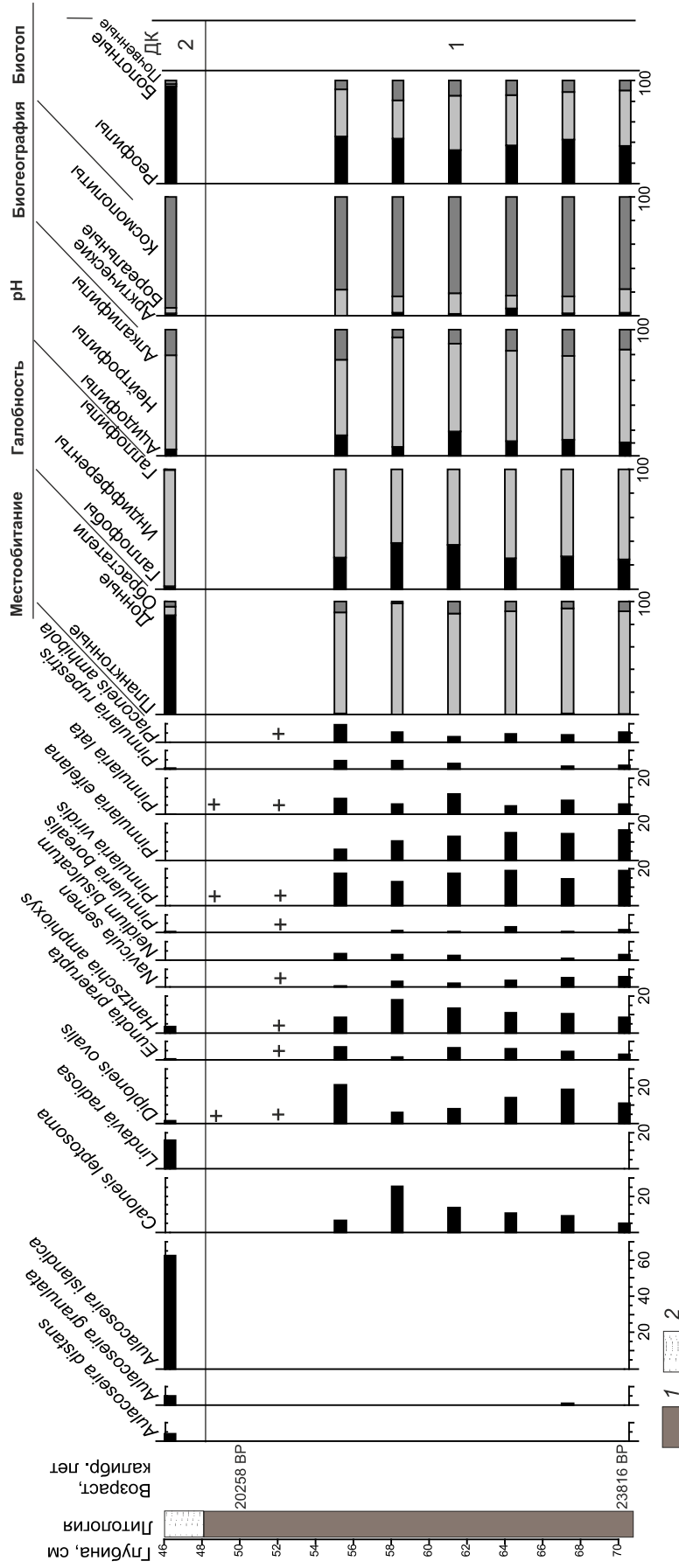


Рис. 3. Результаты диатомового анализа отложений террасы оз. Ханка. 1 – allevit, 2 – дрефта, + – единично.

вплоть до 40° с.ш., способствуя формированию тундр и лесотундр [12].

Результаты, полученные авторами, свидетельствует о неоднородности климатической обстановки в период от 24.0 до 19.0 тыс. кал. л.н. Около 24.0 тыс. кал. л.н., в максимум последнего оледенения, уровень оз. Ханка был выше современного на ~0.5 м. По данным китайских ученых, в трансгрессивной фазе озеро находилось в период 24.0–15.0 тыс. ¹⁴С л.н. (около 28.1–18.3 тыс. кал. л.н.) [42]. В это время в оз. Ханка впадали на востоке р. Белая, на западе р. Мулинхе [2, 17].

Около 24.0 тыс. кал. л.н. в прибрежной зоне накапливались отложения, представленные коричневыми алевритами. Комплекс диатомей свидетельствует о существовании олиготрофно-мезотрофного, умеренно заболоченного мелководного водоема с нестабильным уровнем. Значительная доля арктобореальных диатомей (*Placoneis amphibola*, *Navicula semen*, *Pinnularia lata*) указывает на холодные условия (ДК-1, рис. 3).

Открытые участки в западном секторе Приханкайской равнины были заняты лугово-болотной растительностью с кустарниковыми формами берез, ольхи, ивы и с редкой примесью лиственницы. Зеленность территории была очень низкой, значительно меньше современной. В долинах встречались березово-ольховые редколесья. На склонах окружающих хребтов встречались островки редкостойных темнохвойных лесов с доминированием ели аянской (*Picea jezoensis*), участием кедрового стланика (*Pinus pumila*) и пихты белокорой (*Abies nephrolepis*). На сухих склонах встречалась сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) (ПК-1, рис. 2).

Широкое распространение низменных болот по всей территории Усури-Ханкайской равнины, вероятно, определялось трансгрессией оз. Ханка. Плакорные пространства в обрамлении впадины озера были покрыты березовым и березово-лиственничным редколесьем с подлеском из ерника [15, 23, 26, 31].

В долине р. Белой, у с. Новорусановка (раз. 6276, рис. 1), 22197 ± 405 кал. л.н. на аккумулятивной равнине доминировали сфагново-багульниковые мари с кустарниковыми березами и ольховым стлаником, в травяном покрове преобладали осоки. Склоны гор занимали редкостойные леса с доминированием ели аянской и лиственницы. На осветленных участках распространялись заросли кедрового стланика [5]. В целом, в восточном секторе Приханкайской впадины в холодные климатические фазы позднего неоплейстоцена преобладали разреженные березовые леса с ольховым стлаником, на горных склонах встречались

ель и пихта [27]. Современным аналогом реконструированной растительности является растительность среднетаежной зоны Среднего Приохотья, где находится северный предел распространения ели (55–56° с.ш.) [14]. Современный климат района-аналога характеризуется среднегодовой температурой -5.1 °С, января около -27.0 °С, июля около +15.4 °С, среднегодовым количеством осадков около 436 мм в год [29]. Следовательно, реконструированный климат Приханкайской низменности в холодные климатические фазы позднего неоплейстоцена был резко континентальный со среднегодовой температурой примерно на 8 °С ниже современной, со среднеянварской на 9 °С и среднеиюльской на 6 °С ниже современной, была распространена многолетняя мерзлота. Среднегодовое количество осадков было примерно на 100 мм меньше современного. Таким образом, можно говорить о смещении растительных зон почти на 10° или более чем на 1000 км на юг.

Ранее было установлено, что холодный климат 20.0–18.0 тыс. ¹⁴С л.н. (около 24.0–22.0 тыс. кал. л.н.) на юге Дальнего Востока способствовал возникновению малодифференцированных ландшафтов, растительность которых была сходна с современной для Северо-Западного Приохотья. В основном, были развиты березово-лиственничные леса и редколесья, роль темнохвойных лесов была незначительной, а широколиственные породы в их составе участвовали спорадически, в основном на юге региона [31].

В Сибири возраст раннего отрезка сартанского ледниковья определяется в 20 900 ± 300 ¹⁴С л.н., климат был очень суровым, господствовали перигляциальные степи, тундры и тундровые редколесья [13, 20]. По гренландским ледниковым записям позднеплейстоценовый термический минимум приходится на стадиал GS-3 возрастом 27540 ± 822 – 23340 ± 596 кал. л. н. [40].

Около 22.8 тыс. кал. л.н. на Приханкайской низменности началось улучшение климатических условий. Увеличилась облесенность территории до уровня современной. На склонах хребтов в составе темнохвойной тайги возросло участие кедрового стланика, в небольшом количестве появились дуб монгольский (*Quercus mongolica*), лещина, орех маньчжурский (*Juglans mandshurica*) и ильм. В кустарниковом подлеске были распространены сирень, шиповник, смородина и вересковые. На прибрежно-озерной равнине доминировали ландшафты влажных лугов и болот, фригидные кустарники исчезли из состава растительного покрова (ПК-2, рис. 2). Усиление в составе растительности роли широколиственных элементов могло быть связано с активизацией летнего муссона [18]. В период 21.7–21.2 тыс. кал. л.н. климат стал бо-

лее сухим. Значительно сократилась заболоченность побережья, распространились ценозы злаково-разнотравных лугов.

По данным анализа керн донных отложений из скважины 579 на восточном побережье оз. Ханка (рис. 1) незначительное смягчение климата около 21402 ± 453 кал. л.н. также свидетельствует о распространении *Picea*, *Pinus s/g Haploxylon*, *Abies* и *Betula sect. Albae* в составе лесной растительности. На заболоченной равнине были распространены *Betula sect. Nanae*, болотные травы и сфагновые мхи [5]. На южном побережье оз. Ханка (скв. 77, рис. 1) 17840 ± 200 ^{14}C л.н. (около 21.7 тыс. кал. л.н.) господствовали таежные растительные формации с елью аянской, лиственницей и ерниками. Переувлажненные участки занимали мари [4].

Климат на Приханкайской равнине в период 22.8–20.6 тыс. кал. л.н. был теплее предыдущего, но холоднее современного. Современным аналогом реконструированной растительности является растительность южно-таежной зоны в Нижнем Приамурье [14], где среднегодовая температура составляет -2.8 °С, средняя январская около -28.3 °С, средняя июльская $+17.8$ °С, среднегодовое количество осадков составляло около 444 мм [29]. Следовательно, среднегодовая температура в период 22.8–20.6 тыс. кал. л.н. была ниже современной на 5 °С, зимние – ниже примерно на 7 °С, а летние – ниже на 3.5 °С. Среднегодовое количество осадков было близко к современному. Границы растительных зон смещались к югу приблизительно на 7°. Таким образом, во время этой теплой фазы среднегодовая температура выросла на 3 °С по сравнению с предшествующим похолоданием.

Аналогом зафиксированного потепления является теплый интерстадиал между сегемдинской стадией и ледниковой подвижкой VII в Приверхоанье [13]. В Прибайкалье в период 23.0–17.0 тыс. ^{14}C л.н. (около 27.3–20.5 тыс. кал. л.н.) происходило постепенное увлажнение и потепление климата [20]. В детальных глобальных летописях ледников Гренландии зафиксировано два коротких теплых интерстадиала GI 2.1 и GI 2.2 возрастом 23340 ± 596 и 23020 ± 583 кал. л.н. [40].

С наступлением следующей фазы похолодания около 20.6 тыс. кал. л.н. в западном секторе Приханкайской равнины увеличилась роль лесных формаций и уменьшилась заболоченность прибрежно-озерной равнины. На горных склонах расширились еловые леса с кедровым стлаником, пихтой, лиственницей, на увалах произрастали сосняки с редкой примесью дуба (рис. 2, ПК-3). На прибрежных равнинах зал. Петра Великого 17160 ± 40 ^{14}C л.н. (около 20.7 тыс. кал. л.н.) доминировали заболоченные луга и сфагновые боло-

та с березами, ольховником и ивами. Горные отроги и прибрежные увалы занимала темнохвойная тайга из *Abies*, *Pinus s/g Haploxylon* и *Betula*, характерная для северобореальной зоны [1]. Усиление роли темнохвойных пород могло быть связано со снижением летних температур, увеличением общей влажности и высоты снежного покрова [18]. В отложениях, сформированных во время этого похолодания, зафиксировано малое содержание диатомей, низкое родовое и видовое разнообразие, что указывает на неблагоприятные условия для их развития или сохранности.

Около 20.1 тыс. кал. л.н. похолодание усиливается. В западном секторе Приханкайской равнины постепенно уменьшается залесенность территории до уровня меньше современного. В предгорьях сокращается площадь еловых лесов, из их состава исчезают пихта, кедровый стланик и немногочисленные широколиственные. На побережье сокращаются сосновые леса. На прибрежно-озерной низменности несколько увеличиваются площади березовых редколесий с ольхой и лиственничных марей с фригидными кустарниками и лугово-степной растительностью (ПК-4, рис. 2). Для южного побережья оз. Ханка в этот период зафиксирована смена пихтово-еловых лесов березовыми с елью и кедровым стлаником. В составе растительного покрова принимали участие кустарниковые формы берез и ольховник [23]. В экосистемах северного Приморья доминировали березовые редколесья с высокой долей лиственницы и участием ели, а также участки сфагновых болот с кустарниковой березкой [6]. Граница растительных зон смещалась на север. Это похолодание было менее суровым, чем термическим минимум 24.0–22.8 тыс. кал. л.н. Предположительно среднегодовая температура была примерно на 6–7 °С ниже современной. В южном Приморье и на сопредельных территориях были распространены представители верхнепалеолитической териофауны (мамонт, шерстистый носорог, бизон и др.), о чем свидетельствуют радиоуглеродные датировки для «хорольского мамонта» 15800 ± 140 ^{14}C л.н. (около 19.1 тыс. кал. л.н.) и 17100 ± 100 ^{14}C л.н. (около 20.7 тыс. кал. л.н.) [31].

Около 19.6 тыс. кал. л.н. начинается подъем уровня озера, о чем свидетельствует диатомовый комплекс с преобладанием планктонных видов *Aulacoseira islandica*, *A. granulata*, *A. distans*, *Cyclotella radiosia*, полученный из пачки песчаных осадков с дресвой (ДК-2, рис. 3). Накопление песков происходило в пределах участков прибрежных мелководий, глубиной до 1.5 м, куда обломочный материал приносился реками. В рельефе низкой озерной террасы сохранились древние песчаные береговые валы, частично переработанные ветром, которые тоже могли выступать

источником материала. Аккумуляция песчаной пачки сопровождалась переработкой обломочного материала в волноприбойной зоне и развитием вдольбереговых потоков наносов [17]. В этом песчаном слое была найдена переотложенная пыльца *Tsuga*, которая была занесена в результате размыва отложений, сформированных во время позднеплейстоценового потепления, соответствующего казанцевскому межледниковью Сибири [23].

Во время максимума трансгрессии уровень оз. Ханка превышал современный на 1.5–2.0 м. Повышение уровня озера было связано с увеличением стока рек. Другой причиной могло быть затруднение стока из древнего озера за счет усиления «плотинного эффекта» на слиянии рек Мулинхэ и Уссури. Кроме этого, из-за снижения летних температур уменьшался слой испарения [17]. По мнению китайских ученых [42], трансгрессии и регрессии оз. Ханка были обусловлены изменениями интенсивности аллювиальной аккумуляции в долине р. Уссури, а также колебаниями региональной температуры и влажности в результате климатических изменений.

Начиная с 15 000 ¹⁴C тыс. л.н. (около 18.3 тыс. кал. л.н.) уровень озера начал падать, о чем свидетельствует аккумуляция крупнозернистого песка, наполненного щебнистым (дресва) материалом, в пляжевой фации. В результате этой регрессии произошло отделение оз. Малая Ханка от основного озера [42].

ВЫВОДЫ

На Приханкайской низменности в течение 24.0–19.0 тыс. кал. л.н. выделено две фазы похолодания, начавшиеся 24.0 и 20.6 тыс. кал. л.н., которые разделяются потеплением, наступившим около 22.8 тыс. кал. л.н. Эти события коррелируются с детальными глобальными летописями ледников Гренландии.

Во время первой фазы похолодания, 24.0–22.8 тыс. кал. л.н., в западном секторе Приханкайской равнины была распространена лугово-болотная растительность с кустарниковыми формами берез, ольхи, ив и с редкой примесью лиственницы. В предгорьях и долинах встречались березово-ольховые редколесья. На склонах окружающих хребтов были распространены островки изреженных темнохвойных лесов с доминированием ели аянской, участием кедрового стланика и пихты белокорой. На сухих склонах встречалась сосна обыкновенная. Среднегодовая температура была на 8 °C ниже современной. Границы растительных зон смещались на юг почти на 10°. Уровень оз. Ханка был выше современного на 0.5 м. Озеро представляло собой олиготрофно-мезотрофный, умеренно заболоченный мелководный водоем с нестабильным уровнем воды. Эта фаза похолодания

соответствует термическому минимуму последнего оледенения позднего плейстоцена.

В теплую фазу, около 22.8–20.6 тыс. кал. л.н., развитие получили растительные формации южно-бореальной темнохвойной тайги с преобладанием ели аянской и участием пихты белокорой, кедрового стланика, небольшой примесью широколиственных. На прибрежно-озерной равнине доминировали лугово-болотные ландшафты. Среднегодовая температура была ниже современной на 5 °C. Границы растительных зон смещались к югу приблизительно на 7°. Наиболее длительные сухие периоды были в течение 21.7–21.2 тыс. кал. л.н.

В начале второй фазы похолодания, около 20.6 тыс. кал. л.н., происходит экспансия еловых лесов с кедровым стлаником, пихтой белокорой, лиственницей, а также расширение сосняков. Около 20.1 кал. л.н. похолодание усиливается, уменьшается облесенность территории, сокращаются площади хвойных лесов, на прибрежно-озерной низменности распространяются березовые редколесья и лиственничные мари с фригидными кустарниками и участками луговой и степной растительности. Это похолодание было менее суровым, чем в первую фазу, 24.0–22.8 тыс. кал. л.н.

Около 19.6 тыс. кал. л.н. происходит максимальный за весь поздний плейстоцен подъем уровня оз. Ханка на 1.5–2.0 м выше современного. Причинами могли быть увеличение стока рек, затруднение стока из озера в результате активизации аллювиальной аккумуляции и уменьшение слоя испарения.

Работа выполнена по теме научно-исследовательских работ № 122020900184-5 в рамках госзадания Минобрнауки РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсон, П.М., Белянин П.С., Белянина Н.И., Ложкин А.В. Эволюция растительного покрова западного побережья залива Петра Великого в позднем плейстоцене-голоцене // Тихоокеан. геология. 2017. Т. 36, № 4. С. 99–108.
2. Базарова В.Б., Макаревич Р.А., Кудрявцева Е.П., Базаров К.Ю., Бровко П.Ф., Егидарев Е.Г. Развитие и современное состояние западного побережья озера Ханка // Тихоокеан. география. 2022. № 3. С. 14–26.
3. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. 498 с.
4. Белянин П.С., Белянина Н.И. К эволюции растительного покрова Приханкайской впадины и ее горного обрамления в позднем неоплейстоцене-голоцене (по палинологическим данным) // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 2. С. 96–100.
5. Белянин П.С., Белянина Н.И. Изменение растительности восточного сектора Приханкайской равнины (юг Дальнего Востока) при переходе от криохрона позднего плейстоцена (МИС 2) к раннему голоцену: Материалы V Всерос. науч.

- конф. с междунар. участием «Динамика экосистем в голоцене» (к 100-летию Л.Г. Динесмана). М.: Медиа-ПРЕСС, 2019. С. 43–45.
6. Белянина Н.И., Белянин П.С. Развитие природных комплексов в бассейне р. Усури а мегаинтервал МИС 3-2 // Пути эволюционной географии: Материалы Всерос. науч. конф., посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 23–25 ноября 2016 г.). М.: Институт географии РАН, 2016. С. 426–430.
 7. Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.В., Тарасевич В.Ф. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1983. 208 с.
 8. Васильковский М.Г. Гидрологический режим оз. Ханка. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 176 с.
 9. Воскресенская Т.Н., Глушанкова Н.И. Особенности озерного седиментогенеза в позднекайнозойской истории развития Приханкайской впадины // Осадочные комплексы Урала и прилегающих регионов и их минералогия: Материалы 11 Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. С. 56–59.
 10. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. Л.: Наука, 1974. 403 с.
 11. Ивашинников Ю.К. Палеогеоморфология депрессионных морфоструктур юга Дальнего Востока. М.: Наука, 1978. 131 с.
 12. Изменения климата Байкальского региона в кайнозойскую эру. Новосибирск: Изд-во «ГЕО», 2008. 293 с.
 13. Кинд Н.В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным // Труды ГИН. Вып. 267. М.: Наука, 1974. 257 с.
 14. Колесников Б.П. Растительность // Южная часть Дальнего Востока. М.: Наука, 1969. С. 206–250.
 15. Короткий А.М., Караулова Л.П., Троицкая Т.С. Четвертичные отложения Приморья. Стратиграфия и палеогеография. Новосибирск: Наука, 1980. 234 с.
 16. Короткий А.М., Караулова Л.П., Белянина Н.И., Павлюткин Б.И. Четвертичные озерные трансгрессии в Усури-Ханкайской впадине // Позднекайнозойская история озер в СССР. К XI Конгрессу ИНКВА в СССР. Новосибирск: Наука, 1982. С. 109–117.
 17. Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Караулова Л.П., Белянина Н.И. Озерные трансгрессии в позднекайнозойской Усури-Ханкайской депрессии (Приморье) // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 4. С. 53–56.
 18. Короткий А.М., Скрыльчик Г.П., Коробов В.В. Тенденции изменения природной среды и возможные сценарии ее развития на юге Дальнего Востока // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 6. С. 3–16.
 19. Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Владивосток: АВК «Апельсин», 2008. 688 с.
 20. Кузьмин С.Б. Палеогеографические события Прибайкалья в позднем плейстоцене и голоцене // Географический вестник. 2017. Вып. 4 (43). С. 22–38.
 21. Куприянова Л.А. Палинология сережкоцветных (Amentiferae). М.-Л.: Наука, 1965. 215 с.
 22. Литология и геохимия современных озерных отложений гумидной зоны (на примере оз. Ханка). М.: Наука, 1979. 124 с.
 23. Муратова М.В., Воскресенская Т.Н., Алешинская З.В., Болиховская Н.С., Глушанкова Н.И., Евсеев А.В., Лефлат О.Н., Шумова Г.М. Палеогеография и стратиграфия плейстоцена Приханкайской депрессии. М.: МГУ, 1981. Деп. ВИНТИ. 160 с.
 24. Никольская В.В. Некоторые данные по палеогеографии озера Ханка // Труды Ин-та географии АН СССР. 1952. Т. 51. С. 215–225.
 25. Павлова Н.С. Бобовые–Fabaceae // Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 4. Л.: Наука, 1989. С. 191–339.
 26. Павлюткин Б.И. Четвертичные отложения юго-восточной части Усури-Ханкайской депрессии и признаки плейстоценовых трансгрессий озера Ханка // Развитие природной среды в плейстоцене (юг Дальнего Востока). Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1981. С. 40–50.
 27. Павлюткин Б.И., Ханчук А.И. Новые данные о возрасте оз. Ханка, Дальний Восток России // Докл. АН. 2002. Т. 382, № 6. С. 826–828.
 28. Палеопалинология. Т. 1. Методика палинологических исследований и морфология некоторых ископаемых спор, пыльцы и других растительных микрофоссилий // Труды ВСЕГЕИ. 1966. Вып. 141. 351 с.
 29. Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. Владивосток-Хабаровск: Дальнаука, 2000. 174 с.
 30. Пыльцевой анализ. М.: Госгеолиздат. 1950. 571 с.
 31. Развитие природной юга Дальнего Востока (поздний плейстоцен-голоцен). М.: Наука, 1988. 240 с.
 32. Харитонов В.Г. Конспект флоры диатомовых водорослей (Bacillariophyceae) Северного Охотоморья. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2010. 189 с.
 33. Bronk Ramsey C. Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program // Radiocarbon. 1995. V. 37. P. 425–430.
 34. Grimm E. Tilia software 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum Research and Collection Center, 2004.
 35. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae, in Süßwasserflora von Mitteleuropa, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1986. 876 p.
 36. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 3 Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991. 576 p.
 37. Krammer K. The genus *Pinnularia* // Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. V. 1. Ruggell: A.R.G. Cantner Verlag K.G. 2000. 703 p.
 38. Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. Pollen analysis. London: Blackwell Science. 1991. 216 p.
 39. Nakamura J., Diagnostic Characters of Pollen Grains of Japan. Part 2 // Special publications from the Osaka Museum of Natural History. 1980. V.12, 157 plates.
 40. Rasmussen O., Bigler M., Blockley S.P., Blunier T., Buchardt S.L., Clausen H.B., Cvijanovic I., Dahl-Jensen D., Johnsen S.J., Fischer H., Gkinis V., Guillevic M., Hoek W.Z., Lowe J.J., Pedro J.B., Popp T., Seierstad I.K., Steffensen J.P., Svensson A.M., Vallelonga P., Vinther B.M., Walker M.J.C., Wheatley J.J., Winstrup M. A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and

- extending the INTIMATE event stratigraphy // *Quaternary Sci. Reviews*. 2014. V. 106. P. 14–28.
41. Svenson A., Andersen K.K., Bigler M., Clausen H. B., Dahl-Jensen D., Davies S. M., Johnsen S. J., Muscheler R., Parrenin F., Rasmussen S. O., Röthlisberger R., Seierstad I., Steffensen J. P., Vinther B. M. A 60000 years Greenland stratigraphic ice core chronology // *Climate of the Past*. 2008. V. 4, N 1. P. 47–57.
42. Zhu Y., Shen J., Lei GL., Wang Y. Environmental evolution of Xingkai (Khanka) Lake since 200 ka by OSL dating of sand hills // *Chinese Science Bulletin*. 2011. V. 56, N 24. P. 2604–2612.

Рекомендована к печати И.Б. Цой

после доработки 20.11.2023 г.

принята к печати 23.11.2023 г.

V.B. Bazarova, M.S. Lyashchevskaya, T.R. Makarova

Evolution of Khanka Lake and surrounding landscapes during the last glacial maximum

The problems of the environmental development in the western part of the Khanka lowland and the evolution of Khanka Lake during the last glaciation maximum and the maximum lacustrine transgression in the Late Pleistocene are considered. Lithology and diatom data on lacustrine sediments indicate two depositional environments in the lake during the period 24.0–19.0 cal ka BP: 1) an oligotrophic-mesotrophic, moderately swamped shallow basin with variable water level; and 2) a relatively deep lake. The beginning of the maximum transgression (about 19.6 cal ka BP) was established. For the first time in the Late Pleistocene the lake level was 1.5–2.0 m higher than the present one. Four phases of vegetation development in the western part of the Khanka lowland were recognized: birch and larch mari with alder and frigid shrubs (23.8–22.8 cal ka BP); II – dark coniferous taiga with dwarf pine and an admixture of broad-leaved trees (22.8–20.6 cal ka BP); III – spruce forests with dwarf pine, fir, larch and a rare admixture of oak (20.6–20.1 cal ka BP); and IV – light birch forests with alder and larch mari with frigid shrubs (20.1–19.0 cal ka BP). Two phases of cooling were reconstructed in the Khanka lowland: about 24.0 cal ka BP (maximum cooling) and 20.6 cal ka BP, and one phase of warming (about 22.8 cal ka BP). These events correlate well with the global records of the Greenland glaciers. The longest dry periods were established during 21.7–21.2 cal ka BP. The quantitative characteristics of climatic events were reconstructed based on the present-day vegetation analogues.

***Key words:* lacustrine sediments, pollen and diatom analyses, radiocarbon dating, paleolandscapes, transgression of Khanka Lake, Late Pleistocene, Khanka Lowland, Primorye.**