

УДК 551.89(571.63)

РАЗВИТИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ЭВОЛЮЦИЯ ОЗЕРА ГНИЛОЕ (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ПРИМОРЬЕ) ЗА ПОСЛЕДНИЕ 3300 ЛЕТ[#]

© 2023 г. М. С. Лящевская^{1,*}, В. Б. Базарова^{1,**}, Т. Р. Макарова^{1,***}

¹ТИГ ДВО РАН, Владивосток, Россия

*E-mail: lyshevskay@mail.ru

**E-mail: bazarova@tigdvo.ru

***E-mail: mctatiana@mail.ru

Поступила в редакцию 21.10.2022 г.

После доработки 19.01.2023 г.

Принята к публикации 14.03.2023 г.

Получена непрерывная запись палеогеографических событий юго-восточного Приморья по данным отложений озера Гнилое, расположенного на северном побережье залива Находка, начиная с 3240 кал. л. н. Выделено 5 периодов потеплений: 3240–2500, 1865–1650, 1330–840, 730–625 кал. л. н. и со второй половины XVII в. по настоящее время; 4 периода похолоданий: 2500–1865, 1650–1330, 840–730 и 625–320 кал. л. н.; 6 влажных периодов: 3240–2500, 1865–1650, 1480–1330, 1060–840, 730–625 кал. л. н. и последние 280 лет; 5 сухих периодов: 2500–1865, 1650–1480, 1330–1060, 840–730 и 625–210 кал. л. н. По данным палинологического анализа экспансия кедра корейского и темнохвойных пород произошла во время второй фазы среднесубатлантического похолодания 1480–1330 кал. л. н. В последние 150 лет наиболее значимые изменения связаны с антропогенной трансформацией ландшафтов в результате урбанизации. Уменьшились площадь лесов и их видовой состав, на месте сведенных дубняков в настоящее время обширные пространства занимают кустарниковые заросли. На основании результатов диатомового анализа выделено 7 стадий развития озера Гнилое. Около 3240 кал. л. н. существовала мелководная полуоткрытая лагуна при уровне моря выше современного на 1–1.5 м. Похолодание и уменьшение влажности около 2500 кал. л. н. привели к образованию слабосоленой более закрытой лагуны. Около 2000 кал. л. н. уровень моря понизился, а окончательно лагуна отчленилась от моря около 1450 кал. л. н. Переход лагуны в пресное озеро произошел около 1080 кал. л. н. В период похолодания 840–730 кал. л. н. начинается обмеление озера, которое продолжалось и в малый ледниковый период. Начиная с 210 кал. л. н. отмечается повышение уровня озера, связанное с умеренным потеплением и повышением влажности. В отложениях озера Гнилое зафиксированы следы трех катастрофических событий — высокобалльного шторма около 3000 кал. л. н. и двух цунами около 2000 и 1560 кал. л. н.

Ключевые слова: озерные отложения, диатомеи, пыльца, радиоуглеродное датирование, природно-климатические изменения

DOI: 10.31857/S2949178923030064, **EDN:** WDCBGO

ВВЕДЕНИЕ

Выяснение хода развития ландшафтов побережья юго-восточного Приморья в голоцене и их реакции на короткопериодические разнонаправленные изменения климата требуют получения высокоразрешающих записей с точной возрастной привязкой палеоландшафтных смен на основе радиоуглеродного датирования. Изучение особенностей стратиграфии озерных отложений

позволяет восстановить наиболее детальную летопись палеогеографических событий голоцена. Осадконакопление во многих озерах происходит непрерывно, поэтому их отложения служат хорошими архивами, необходимыми для палеорекострукций. Изменения климата, катастрофические природные явления, влияние человека на окружающую среду фиксируются в колонках озерных осадков.

Начиная с 70-х гг. прошлого столетия на прибрежной территории юго-восточного Приморья проводились палеогеографические исследования с дальнейшей реконструкцией развития природной среды. Были изучены разнофациальные голоценовые отложения в бухтах: Неприметная,

[#] Ссылка для цитирования: Лящевская М.С., Базарова В.Б., Макарова Т.Р. (2023). Развитие природной среды и эволюция озера Гнилое (юго-восточное Приморье) за последние 3300 лет // Геоморфология и палеогеография. Т. 54. № 3. С. 108–123. <https://doi.org/10.31857/S2949178923030064>; <https://elibrary.ru/WDCBGO>

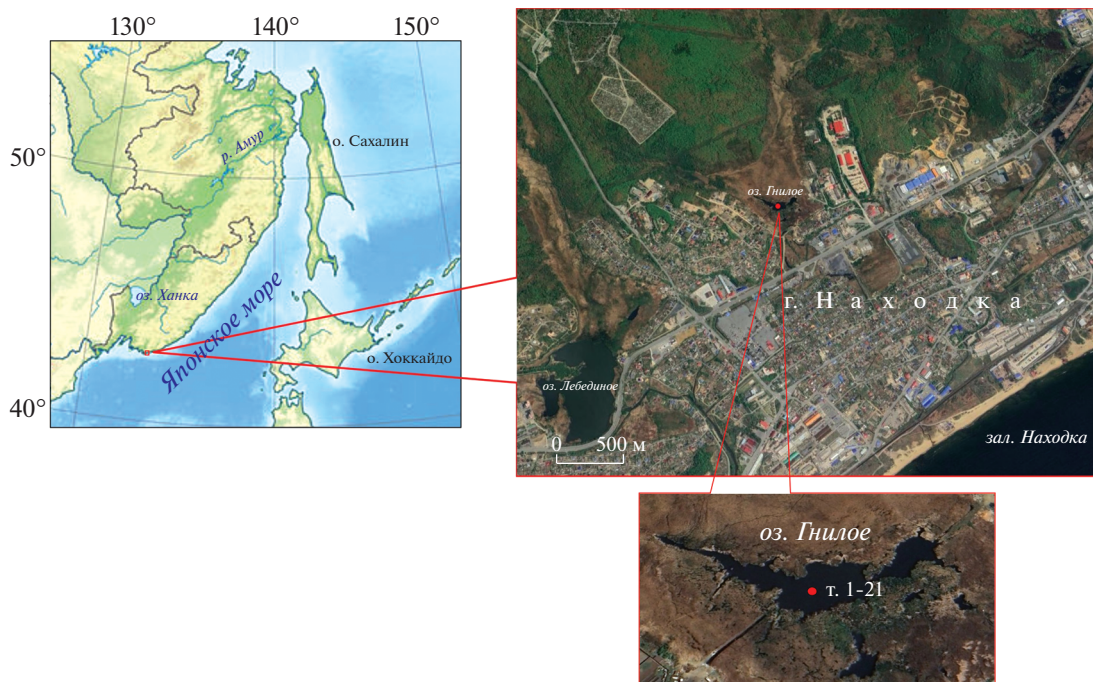


Рис. 1. Район исследования и расположение озера Гнилое на побережье залива Находка. Положение изученной колонки отмечено красной точкой.

Fig. 1. Study area and location of Gniloe Lake on the coast of Nakhodka Bay. The position of the studied core is marked with a red dot.

Черноручье (Короткий и др., 1980), Триозерье (Ляшевская и др., 2017), Кит (Разжигаета и др., 2016), в озере Латвия, расположенного в бухте Мелководной (Короткий и др., 2004). На основе изучения стратиграфии и радиоуглеродного датирования разрезов разнофациальных отложений были установлены масштаб и возраст экстремальных гидрологических событий (цунами, катастрофических нагонов) во второй половине голоцена (Ганзей и др., 2015, 2016, 2018; Разжигаета и др., 2020а).

В настоящей работе представлены результаты исследования колонки донных отложений озера Гнилое (побережье залива Находка, юго-восточное Приморье), предпринятого с целью детальной реконструкции эволюции озера и региональных природно-климатических изменений в юго-восточном Приморье за последние 3300 лет.

2. РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Озеро Гнилое расположено в северо-западной части залива Находка (Японское море), в непосредственной близости от г. Находка (рис. 1). Его координаты: 42°85'56" с.ш. и 132°92'45" в.д. Озеро находится на высоте 3 м над у. м. и отделено от залива низкой морской террасой. Его окружают небольшие холмы и увалы, высота которых увеличивается к северу (максимальная абсолют-

ная высота водораздельного хребта в северной части водосбора 225.5 м). Современное озеро возникло на месте лагуны после ее отчленения от моря. В него впадают два безымянных ручья, а сток воды осуществляется через выводную протоку. Площадь озера около 7200 м², глубина достигает 1.5 м. Озеро представляет эвтрофный водоем, находится в фазе зарастания и, скорее всего, со временем постепенно исчезнет. В 60-х годах прошлого столетия площадь озера была около 52270 м². Очертания контуров прежних берегов заметны на рис. 1. На картах 60-х гг. прошлого столетия масштаба 1 : 25000 один из двух притоков обозначен пунктирной линией (пересохшее русло), что свидетельствует об уменьшении стока в озеро. В настоящее время обнажившаяся литораля заболочена. На ней распространены осоково-тростниковые ассоциации. В вегетационный сезон озеро зарастает воздушно-водными и плавающими растениями (рогоз, тростник, рогульник, ряска). Наблюдается острый дефицит кислорода в озере — следствие относительного застоя водной массы. На дно оседает много органического вещества, значительная часть его накапливается в виде сапропеля. Частные жилые застройки на окружающих озеро возвышенных участках появились в 70–80-х годах прошлого столетия. Очевидно, что их непосредственная близость к

водоему вносит существенный антропогенный вклад в эвтрофикацию водоема.

Климат района исследования — умеренно муссонный. В теплое время года на материк устремляются влажные массы морского воздуха, приносящие туманы и дожди. В июле-сентябре нередко обрушиваются тайфуны. Зимой господствует сухой охлажденный воздух Сибирского антициклона. Средняя температура января — около -10°C , августа — около $+21^{\circ}\text{C}$, среднегодовая температура — $+7^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков — около 860 мм (Научно-прикладной..., 1988). Значительное влияние на климат побережья оказывает Приморское течение, несущее холодные воды Охотского моря через Татарский пролив.

Растительность — типичная дальневосточная неморальная флора в условиях выраженной антропогенной нагрузки. На элементах мелкосопочного и холмисто-увалистого рельефа господствуют леса с дубом монгольским (*Quercus mongolica*). На шлейфах увалов встречаются небольшие участки суходольных лугов, в состав которых входят кустарники, преимущественно ольха японская (*Alnus japonica*). В нижнем течении ручьев на пойме развиты сырые и заболоченные луга. По берегам озера произрастает прибрежно-водная растительность, водная растительность представлена флорой пресных водоемов (Прокопенко, 2014).

3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор образцов осадков оз. Гнилое проводился в феврале 2021 г. с помощью ручного торфяного бура Геллера (длина пробоотборника 50 см, диаметр 5 см). Из скважины в центральной части озера (столб воды 1.24 м) взята колонка отложенной мощностью 1.7 м, из которой были отобраны образцы на спорово-пыльцевой, диатомовый и радиоуглеродный анализы (т. 1–29).

Палинологические пробы, отобранные с шагом 2 см, обрабатывались по сепарационному методу В.П. Гричука (Пыльцевой..., 1950). В образцах было подсчитано не менее 200 пыльцевых зерен и спор. При подсчете процентов за 100% принималась сумма пыльцы древовидных и травянистых растений, а содержание спорных рассчитывалось от общей суммы.

Диатомовый анализ образцов, также отобранных с шагом 2 см, выполнен по стандартной методике (Диатомовые водоросли СССР, 1974). В каждом образце подсчитывали около 200–400 створок диатомовых водорослей, определение которых проводилось с использованием атласов-определителей и литературных источников (Krammer, Lange-Bertalot, 1986; Krammer, Lange-Bertalot, 1991; Krammer, 2000). Определе-

ние эколого-географической характеристики проведено по (Барина и др., 2006; Харитонов, 2010).

Для построения спорово-пыльцевой и диатомовой диаграмм использовано программное обеспечение Tilia v. 2-0-41 (Grimm, 2004). Палинокомплексы и комплексы диатомей выделены на основе изменений таксономического состава спектров и с учетом их кластеризации при помощи программы CONISS.

Радиоуглеродное датирование образцов проводилось на ускорительном масс-спектрометре в Познаньской радиоуглеродной лаборатории Университета Адама Мицкевича (г. Познань, Польша). Для определения хронологии событий использована возрастная модель (рис. 2) по программе Bacon 2 с программной оболочкой R (Blaauw, Christen, 2011), опирающаяся на серию из 5 AMS датировок (табл. 1). По данным возрастной модели произведен расчет скорости осадконакопления.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Литологическое описание колонки (сверху вниз).

	Интервал, см
Сапропель с растительными остатками, коричневый с рыжим оттенком, слегка уплотненный, мягкий (слой IV)	0–9
Сапропель с растительными остатками, коричневый, полужидкий (слой III)	9–39
Сапропель коричневый, уплотненный (слой II)	39–50
Сапропель коричневый, полужидкий, с редким включением мелкозернистого песка (слой I)	50–120
Алеврит темно-серый, очень пластичный, с редкими включениями мелкозернистого песка	120–170

Переход от алеврита к сапропелю четкий, граница резкая. Присутствие мелкозернистого песка (0.1–0.25 мм) в отложениях (интервал 50–170 см) предположительно имеет эоловое происхождение.

Возрастная модель и скорости осадконакопления. Возраст самых древних отложений в озерной колонке составляет около 3240 кал. л. н. (рис. 2). Относительно низкие скорости осадконакопления на начальном этапе (0.27 мм/год), возможно, были связаны с открытостью лагуны. Около 1560 кал. л. н. они увеличились практически втрое — до 0.9 мм/год, что вызвано перекрытием протоки, ведущей из лагуны в море, и ее обмелением. Это совпало по времени со среднесубатлантическим похолоданием, получившим в Европе название Похолодание Темных веков 1.7–1.2 тыс. кал. л. н. (Helama et al., 2017). Уровень Японского

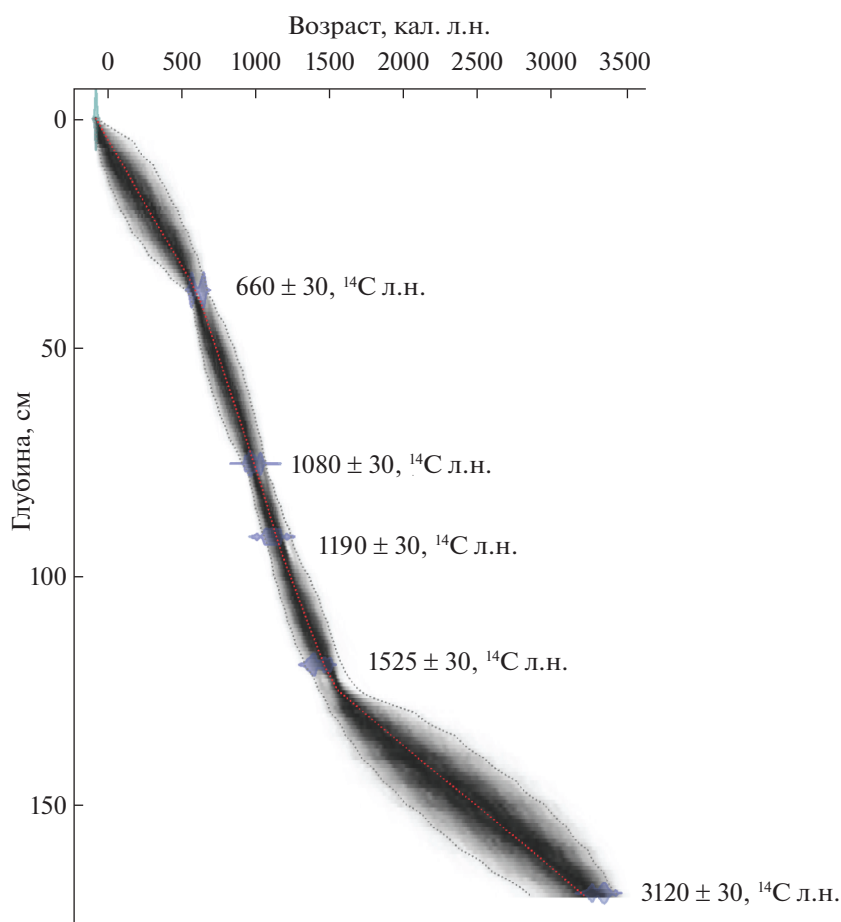


Рис. 2. Возрастная модель накопления отложений в озере Гнилое.

Fig. 2. Age model of sediment accumulation in Gniloe Lake.

моря был на 0.8–1.2 м ниже современного (Короткий и др., 2004). После формирования сильно распресненной лагуны началось накопление сапропеля по мере распространения прибрежно-водной растительности. Максимальные скорости осадконакопления (до 1.25 мм/год) отмечены около 1000 кал. л. н. с началом формирования пресного озера, что совпало с наиболее теплыми и влажными условиями средневекового климатического оптимума. В это время увеличивался речной сток, несущий взвешенные минеральные ча-

стицы. Замедление скорости осадконакопления произошло около 560 кал. л. н. (начало малого ледникового периода) и составило в среднем 0.63 мм/год. В это время уменьшался речной сток и продолжалось обмеление озера, накапливался слабо разложившийся сапропель.

Спорово-пыльцевой анализ. По результатам анализа осадков оз. Гнилого выделены 12 спорово-пыльцевых комплексов [СПК], которые описываются от наиболее древнего к современному (рис. 3).

Таблица 1. Радиоуглеродные датировки осадков озера Гнилое

Table 1. Radiocarbon dating of sediments from Gniloe Lake

Глубина, см	Лабораторный индекс	^{14}C возраст, л. н.	Калиброванный возраст, л. н.	Материал для датирования
37	Poz-140070	660 ± 30	672–556	Сапропель
75	Poz-139325	1080 ± 30	1058–928	Семя водного растения
91	Poz-140072	1190 ± 30	1242–998	Сапропель
119	Poz-139326	1525 ± 30	1516–1345	Семя водного растения
169	Poz-139327	3120 ± 35	3443–3232	Древесина

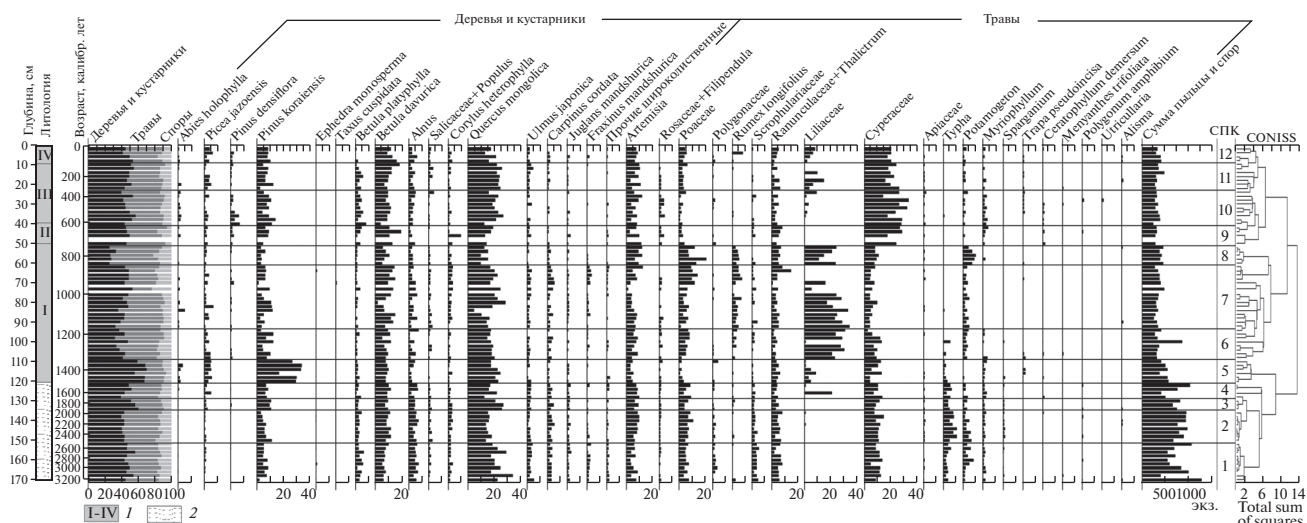


Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений озера Гнилое. 1 — сапропель, 2 — алевроит (подробное литологическое описание колонки см. в тексте).

Fig. 3. Pollen diagram of the sediments of Gniloe Lake. 1 — sapropel, 2 — aleurite (see the text for a detailed lithological description of the column).

СПК 1 (интервал 150–170 см, 3240–2500 кал. л. н.) характеризуется доминированием пыльцы древесных (до 65%), преобладает пыльца широколиственных (до 43%), особенно дуба монгольского (до 34%). Содержание пыльцы других широколиственных составляет: ильма японского *Ulmus japonica* до 5%, граба сердцелистного *Carpinus cordata* и лещины разнолистной *Corylus heterophylla* по 4%, ореха маньчжурского *Juglans mandshurica* и ясеня маньчжурского *Fraxinus mandshurica* по 3%. Среди мелколиственных пород доминирует пыльца березы даурской *Betula davurica* (до 10%), несколько меньше пыльцы ольхи *Alnus* sp. (до 7%), березы плосколистной *B. platyphylla* (до 6%) и ивовых *Salicaceae* (по 2%). Хвойные представлены пыльцой сосны корейской *Pinus koraiensis* (до 8%), ели аянской *Picea jezoensis* (>1%), единично — пихты цельнолистной *Abies holophylla*, хвойника односемянного *Ephedra monosperma* и тиса остроконечного *Taxus cuspidata*. В группе трав и кустарничков преобладает пыльца осок *Cyperaceae* (до 13%), в меньшем количестве присутствует полынь *Artemisia* sp. и рдест *Potamogeton* sp. (по 8%), злаков *Poaceae* и лютиковых *Ranunculaceae* (по 7%), норичниковых *Scrophulariaceae* и рогоза *Typha* sp. (по 5%) и др. Доля спор в спектрах — до 16%, доминируют папоротники (до 14%), присутствует чистоустник азиатский *Osmundastrum asiaticum* (до 5%). В интервале 150–152 см найдены семена рдеста.

СПК 2 (интервал 134–150 см, 2500–1865 кал. л. н.). Преобладает пыльца трав и кустарничков (до 54%), доминируют осоки (до 15%), меньше злаков и рогоза (до 10%), полыни (до 9%), лютиковых (до 7%), рдеста (до 6%), норичниковых (до 4%),

лабазника *Filipendula* sp., гречишных *Polygonaceae*, урути *Myriophyllum* sp. и ежеголовника *Sparganium* sp. (по 2%). В группе древесных снижается сумма пыльцы широколиственных (до 20%), особенно дуба (до 13%). Из мелколиственных пород преобладает пыльца березы даурской (до 11%), незначительно увеличивается содержание пыльцы ивовых (до 3%). Среди хвойных доминирует пыльца сосны корейской, количество которой постепенно уменьшается снизу вверх по разрезу (от 11 до 3%). Среди споровых преобладают папоротники (до 15%), доля чистоустника — до 4%. В интервале 146–150 см присутствуют семена рдеста.

СПК 3 (128–134 см, 1865–1650 кал. л. н.). Увеличивается количество пыльцы древесных (до 67%), особенно широколиственных (до 37%), доминирует дуб (до 26%). Возрастает участие сосны корейской (до 11%) и ели (до 2%). Доля пыльцы мелколиственных составляет: березы даурской — до 9%, ольхи — до 5%, березы плосколистной и ивовых — до 2%. В группе трав и кустарничков преобладает пыльца осок — до 11%, присутствует пыльца полыней (до 9%), злаков (до 6%), лютиковых и рогоза (по 4%), рдеста (до 3%). Среди споровых доминируют папоротники (до 9%), чистоустник — до 4%.

СПК 4 (120–128 см, 1650–1480 кал. л. н.). Количество пыльцы трав и кустарничков возрастает до 53%, уменьшаясь снизу вверх до 41%. Отмечается пик пыльцы лилейных *Liliaceae* (до 20%). Увеличивается доля пыльцы осок (до 13%). Сумма других составляет: полыни до 10%, злаков до 9%, рогоза до 6%, лютиковых до 4%, рдеста до 3%

и урути до 2%. В древесной группе преобладает пыльца дуба, количество которой по сравнению с СПК 3 снижается до 12%. Уменьшается доля пыльцы граба до 2%, ясеня увеличивается до 2%. Содержание пыльцы липы *Tilia* sp., ореха маньчжурского и ильма — по 2%. Среди мелколиственных доминирует пыльца березы даурской (до 11%), до 7% возрастает участие ольхи, доля березы плосколистной и ивовых — по 2%. Сумма пыльцы сосны корейской сокращается до 6%, ели увеличивается до 5%. В группе споровых преобладают папоротники (до 12%), количество чистоструника — до 4%.

СПК 5 (108–120 см, 1479–1330 кал. л. н.). Увеличивается количество пыльцы древесных до 77%, особенно сосны корейской (до 34%). Возрастает сумма пыльцы ели (до 6%) и пихты (до 3%). Из широколиственных доминирует пыльца дуба — до 25%, лещины и ильма — до 3%, граба и липы — по 2%. Из мелколиственных преобладает пыльца березы даурской (до 10%), уменьшается количество ольхи (до 1%). В группе трав и кустарничков доминирует пыльца осок (до 13%), присутствует пыльца лилейных (до 8%), лютиковых (до 6%), гречишных (до 4%), снижается до 3% участие полыни, злаков, рогоза, до 2% — урути. Появляется пыльца рогульника ложновымчатого *Trapa pseudoincisa* (до 2%). Из споровых преобладают папоротники (до 10%), участие чистоструника — до 5%.

СПК 6 (82–108 см, 1330–1060 кал. л. н.). Увеличивается сумма пыльцы трав и кустарничков до 65%, доминирует пыльца лилейных (до 34%). Содержание пыльцы осок уменьшается от 13% до 2%. Доля полыни возрастает до 8%, злаков — до 7%, шавеля длиннолистного *Rumex longifolius* — до 5%, норичниковых и рдеста — по 4%. Присутствуют лютиковые — до 6%, рогоз — до 5%, уруть — до 3%, рогульник — до 2%. Среди древесных преобладает пыльца дуба — до 20%. Увеличивается содержание пыльцы граба (до 4%), ясеня и ореха (по 2%), доля лещины — до 3%, ильма — до 2%. Сумма пыльцы хвойных сокращается до 5%. Из мелколиственных доминирует береза даурская (до 15%). Увеличивается количество пыльцы ольхи (до 7%), ивовых (до 3%), тополя *Populus* sp. (до 2%). Доля споровых возрастает до 17%, преобладают папоротники.

СПК 7 (60–82 см, 1060–840 кал. л. н.). Увеличивается количество пыльцы древесных пород (до 70%), в частности, широколиственных (до 36%). Доминирует пыльца дуба (до 28%), возрастает доля граба (до 5%), ильма и ясеня (по 3%). Содержание пыльцы лещины — до 3%, ореха — до 2%. Появляется пыльца винограда амурского *Vitis amurensis*, клена *Acer* sp., лимонника китайского *Schisandra chinensis*. Из мелколиственных постепенно увеличивается количество пыльцы березы

даурской (до 15%), доля ольхи — до 6%, березы плосколистной — до 3%, ивовых — до 2%. Среди хвойных содержание пыльцы сосны корейской — до 11%, ели — до 7%, сосны густоцветковой *P. densiflora* — до 3%, встречено пыльцевое зерно тиса. В группе трав в нижней части СПК преобладает пыльца лилейных (до 27%), а в верхней — злаков и лютиковых (до 14%). Пыльцы полыни — до 12%, осок — до 10%, шавеля — до 7%, рдеста — до 3%. Из споровых доминируют папоротники (до 22%).

СПК 8 (50–60 см, 840–730 кал. л. н.). Уменьшается количество древесной пыльцы (до 29%), особенно широколиственных (до 13%). Участие дуба сокращается до 9%, граба до 3%. Снижается доля березы даурской до 5%, пыльцы ольхи — до 3%, ивовых — до 2%. Сократилось участие пыльцы сосны корейской (до 6%). В группе трав доминирует пыльца лилейных (до 23%). Количество пыльцы злаков увеличивается до 20%, полыни до 12%, осок до 11%, рдеста до 9%; снижается доля лютиковых до 6%, шавеля до 5%. Из споровых преобладают папоротники (до 20%). В интервале 56–58 см присутствуют семена рдеста.

СПК 9 (40–50 см, 730–625 кал. л. н.). Увеличивается количество пыльцы древесных до 56%. Доминирует пыльца широколиственных — до 29%, пыльцы дуба — до 17%, лещины — до 10%, ореха маньчжурского, ильма, граба, липы — до 2%. Участие мелколиственных — до 24%, возрастает до 19% сумма пыльцы березы даурской, до 5% ольхи. Увеличивается количество пыльцы хвойных до 14%, сосны корейской до 9%. В группе трав и кустарничков возрастает до 28% участие пыльцы осок, до 2% сокращается доля злаков и полыни. Содержание лютиковых — до 6%, василистника *Thalictrum* sp., гречишных, норичниковых, урути — по 2% каждого. Появляется пыльца розовых *Rosaceae* (до 3%) и рогульника погруженного *Ceratophyllum demersum* (до 2%). Споровые представлены папоротниками (до 17%).

СПК 10 (22–40 см, 625–320 кал. л. н.). Количество пыльцы древесных составляет 47–63%. Преобладает пыльца широколиственных (до 28%), пыльцы дуба — до 23%, ильма — до 3%, ореха и граба — по 2%. Содержание хвойных уменьшается с 19 до 8%. Доминирует пыльца сосны корейской (до 14%), содержание сосны густоцветковой до 7%, ели до 3%, пихты до 2%. До 20% возрастает доля мелколиственных, преобладает пыльца березы даурской (до 11%). До 5% увеличивается количество ольхи и до 4% ивовых. В группе трав и кустарничков доминирует пыльца осок (до 34%). Присутствует пыльца полыни (до 12%), лилейных (до 9%), лютиковых (до 5%), розовых (до 4%), норичниковых, урути и рдеста (по 3%), зонтичных *Apiaceae* и рогульника (по 2%), до 5% возрастает сумма пыльцы злаков. Появляется пыльца других гигрофильных водно-болотных растений: вахты

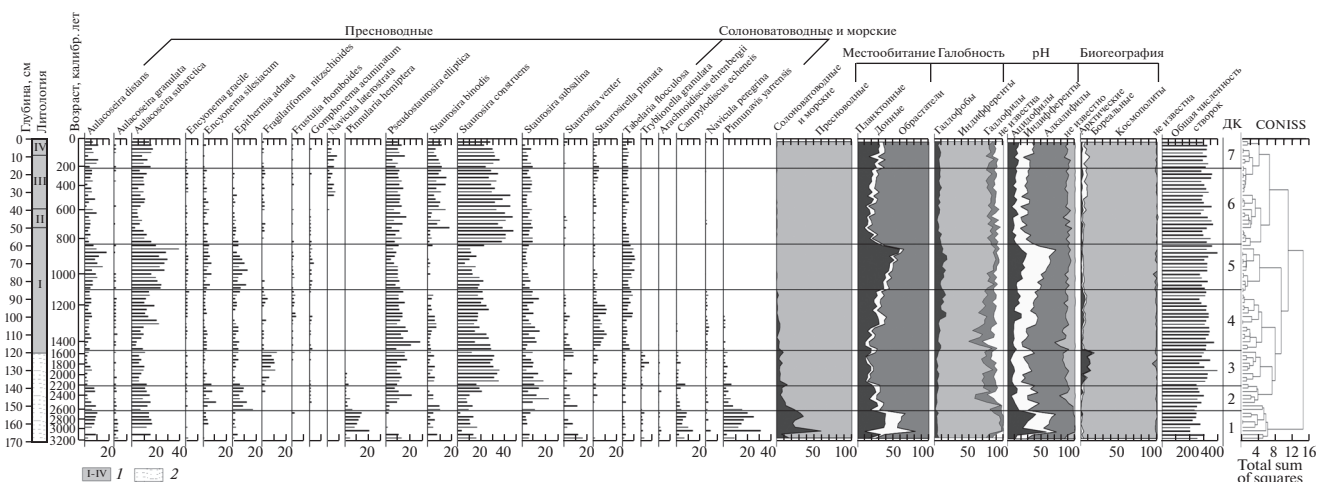


Рис. 4. Распределение диатомей в колонке отложений озера Гнилое (условные обозначения см. на рис. 3).

Fig. 4. Diatom distribution in the sediment core of Gniloe Lake (Look symbols at fig. 3).

трехлистной *Menyanthes trifoliata*, горца земноводного *Polygonum amphibium* и пузырчатки *Utricularia* sp. Доля спорых увеличивается до 13%, доминируют папоротники. В интервале 36–38 см обнаружен фрагмент скорлупы ореха сосны корейской.

СПК 11 (8–22 см, 320–60 кал. л. н.). Возрастает участие пыльцы древесных до 64%, преобладает пыльца широколиственных (до 33%). Увеличивается присутствие дуба до 26%, ильма до 4%, граба и лещины по 2%. Появляется пыльца клена. Среди хвойных доминирует пыльца сосны корейской (до 12%). Доля пыльцы ели, пихты и сосны густоцветковой снижается. Увеличивается участие пыльцы мелколиственных (до 21%), особенно березы даурской (до 18%). В группе трав и кустарничков преобладает пыльца осок (до 26%). До 14% возрастает количество пыльцы лилейных. Присутствует пыльца полыни (до 11%), лютиковых (до 6%), урути и василистника (по 2%), до 6% возрастает доля злаков. Появляется пыльца частухи *Alisma* sp. Количество спорых достигает 14%, преобладают папоротники.

СПК 12 (0–8 см, последние 130 лет). Уменьшается участие пыльцы древесных с 60 до 47%. Доминирует пыльца широколиственных (до 28%): дуба (до 21%), лещины (до 3%), граба, ильма и ореха (по 2%), липы и аралиевых *Araliaceae* (<1%). Сократилось участие пыльцы ясеня, ореха маньчжурского и других широколиственных. Среди мелколиственных преобладает пыльца березы даурской (до 16%). Снижается количество пыльцы ольхи до 3%, доля ивовых — до 2%. Среди хвойных доминирует пыльца сосны корейской (до 10%), возрастает содержание пыльцы ели до 6%. В группе трав и кустарничков преобладает пыльца осок (до 20%). Отмечен пик пыльцы шавеля до 8%. Участие пыльцы полыни — до 8%, лилейных — до

7%, злаков — до 5%, лютиковых — до 4%, василистника и рдеста — по 2%. Появляется пыльца роголистника. Количество спор папоротников — до 15%.

Диатомовый анализ. Список диатомей составляет 113 таксонов, из них 101 вид пресноводный и 12 солоноватоводных и морских. Из пресноводных наиболее разнообразны виды обрастания — 51, донных видов — 40, планктонных — 10. Доминируют космополиты — 77 таксонов, менее представлены арктобореальные (5) и бореальные (11) виды. По отношению к pH водной среды преобладающей группой являются алкалофилы — 36 и циркумнейтральные — 34, ацидофилы — 22 вида; по отношению к солености: индифференты — 63 вида, галофилы — 10 и галофобы — 18 видов. На основе экологических характеристик доминантных и субдоминантных видов выделено 7 диатомовых комплексов [ДК], отражающих стадии развития водоема (рис. 4).

В ДК 1 (152–168 см, 3240–2560 кал. л. н.) содержание морских и солоноватоводных диатомей колеблется в пределах 37–21%, что говорит о хорошей связи с морем. В интервале 162–164 см их содержание достигает 62%, что может свидетельствовать о мощном шторме или цунами. Ведущее положение занимают бентосные виды, широко распространенные в бухтах, заливах и эстуариях рек, доминирует солоноватоводно-морской *Pinnavia yarrensii*, субдоминант — солоноватоводный *Campylodiscus echeneis*. В составе пресноводных диатомей отмечены планктонные *Achnanthes subarctica* (до 16%), предпочитающий олиго-мезотрофные воды, и *A. distans* (до 10%), предпочитающий олиготрофные воды (Krammer, Lange-Bertalot, 1991). Среди обрастателей выделяются *Stauroneis construens*, *S. subsalina*, *S. venter*, *S. binodis*, обычные для мелководных заросших водной рас-

тельностью озер и массово развивающихся в лагунах (Полякова, 1979), а также донный ацидофил *Pinnularia hemiptera*, предпочитающий олиготрофные воды (Van Dam, 1994). По отношению к солености преобладают индифференты, по отношению к pH группы диатомей примерно равны.

ДК 2 (138–152 см, 2560–2015 кал. л. н.) характеризуется снижением содержания солоноватоводных и морских диатомей от 23 до 8%, состав доминантных видов не меняется. Среди пресноводных диатомей увеличивается содержание обрастателей (до 69%), доминируют *Staurosira construens*, *Pseudostaurosira elliptica*, *Epithemia adnata*, *Encyonema silesiacum*. Количество планктонных снижается до 24%, состав их не меняется. По отношению к солености увеличивается количество галофилов (до 25%), по отношению к pH доминируют алкалифилы, доля ацидофилов снижается до 13%.

В ДК 3 (118–138 см, 2015–1450 кал. л. н.) содержание морских и солоноватоводных диатомей понижается до 5%. В интервалах 136–138 и 124–126 см их доля достигает 17.5%, что может свидетельствовать об усилении притока морской воды в лагуну (в результате сильных штормов или цунами). К доминирующим видам *Pinnunavis yarrensis* и *Campylodiscus echeneis* добавляется морской бентосный *Tryblionella granulata*. Среди пресноводных диатомей содержание планктонных видов снижается до 17%, доминируют виды обрастания (до 81%) – *Staurosira construens* (до 35%), *Pseudostaurosira elliptica* (до 17%), *Fragilariforma nitzschoides* (до 12%). По отношению к pH доминирующими остаются алкалифилы, содержание ацидофилов уменьшается до 9%. В этом интервале возрастает количество аркто-бореальных видов до 12%.

В ДК 4 (84–118 см, 1450–1080 кал. л. н.) количество морских и солоноватоводных диатомей понижается до 0.6%, совсем исчезают морские виды, преобладает эвригалинный мезогалоб *Navicula peregrina*, характерный для эстуариев. Среди пресноводных на фоне доминирования видов обрастаний (до 77%) повышается содержание планктонных до 29%, преобладают *Aulacoseira subarctica*, *A. distans*. По отношению к солености преобладают индифференты, по отношению к pH – алкалифилы, при увеличении ацидофилов до 20%. Содержание аркто-бореальных видов сокращается до 4.7%. Увеличивается присутствие характерных для болот временно планктонного *Tabellaria flocculosa* (до 8.5%) и диатомей рода *Eunotia* (до 3.7%).

ДК 5 (58–84 см, 1080–820 кал. л. н.) характеризуется полным исчезновением солоноватоводных и морских диатомей. Среди пресноводных диатомей в подошве слоя преобладают виды обрастания, к кровле возрастает содержание планктон-

ных видов до 58%. Доминантные виды остаются прежними. Доля ацидофилов достигает 28%, что говорит о закислении озера, заболачивании мелководий. Содержание аркто-бореальных видов сокращается до 2%.

В ДК 6 (16–58 см, 820–210 кал. л. н.) содержание видов обрастания увеличивается до 86%, доминантом является *Staurosira construens*, субдоминантами *S. binodis*, *Pseudostaurosira elliptica* и планктонный *Aulacoseira subarctica*. По отношению к солености преобладают индифференты, по отношению к pH – алкалифилы, количество ацидофилов уменьшается до 13%, содержание аркто-бореальных видов – до 2%. В интервале 52–54 см единично встречен *Pinnunavis yarrensis*, в интервалах 16–18, 34–36, 38–42, 44–50 см единично встречается солоноватоводный *Navicula peregrina*.

В ДК 7 (0–16 см, последние 280 лет) доминируют виды обрастания (до 71%): *Staurosira construens* (до 35%), *Pseudostaurosira elliptica* (до 15%), *Staurosira binodis* (до 11%). Содержание планктонных увеличивается до 30%, преобладают *Aulacoseira subarctica*, *A. distans*. В интервале 0–4 см единично встречается солоноватоводный *Navicula peregrina*.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение отложений оз. Гнилого дает возможность восстановить развитие природной среды юго-восточного Приморья со второй половины суббореального периода голоцена (рис. 5). Около 4100 кал. л. н. началось суббореальное потепление, с которым связана малоамплитудная трансгрессия Японского моря, максимум которой пришелся примерно на 3600 кал. л. н.; уровень моря превышал современный на 1.5–2 м (Хершберг и др., 2013). Район исследования около 3240 кал. л. н. покрывали дубово-широколиственные леса с большим участием, чем в настоящее время, граба сердцелистного, ореха маньчжурского, ясени маньчжурского, бархата амурского *Phellodendron amurense*, сирени белой *Ligustrina amurenensis*. Пойменные леса образовывали ольха волосистая *Alnus hirsuta*, ивовые, ильм японский, ясень маньчжурский, орех маньчжурский. На мелкогорье были развиты кедрово-широколиственные леса, в высокогорье – еловые, граница которых располагалась выше современной. В это время оз. Гнилое представляло собой мелководную полукрытую лагуну, заросшую водной растительностью и существующую в условиях высокой гидродинамической активности моря. Вероятно, около 3000 кал. л. н. в результате катастрофического шторма произошел заплеск морской воды в лагуну, о чем свидетельствует резкое двукратное увеличение морских диатомей в отложениях озера (интервал 162–164 см). В это время лагуна находилась на 1–1.5 м выше уровня моря. Растительность водоема была представлена стрелоли-

стом трехлистным *Sagittaria trifolia*, урутью, ежеголовником, роголистником, рдестом. На заболоченных берегах распространялись осоковые ассоциации с вахтой трехлистной. На более возвышенных участках преобладало полынно-злаковое разнотравье. Климат был теплее современного.

Около 2500 кал. л. н. начинается раннесубатлантическое похолодание, ярко проявившееся в Приморье (Лящевская и др., 2017; Razjhighaeva et al., 2018; Razjhighaeva et al., 2019; Разжигаета и др., 2020б). Мелководная полуоткрытая лагуна становится более изолированной от моря и превращается в полужакрытый слабосоленый водоем (рис. 5). В растительном покрове происходит сокращение площади лесов, уменьшается доля широколиственных, особенно дуба и ясеня, увеличивается участие березы даурской. В пойменных лесах возрастает роль ивовых и сокращается ильма. Развиваются суходольные открытые полынно-злаковые сообщества. Образовавшиеся мелководья зарастают рогозом.

Около 2000 кал. л. н. началась регрессия моря (на 0.8–1.2 м), которая сопровождалась осушением мелководных бухт и болот, вдоль побережья происходила активная аккумуляция (Короткий и др., 2004). В это время связь лагуны с морем ослабела, о чем свидетельствует резкое сокращение морских диатомей. Уменьшение количества планктонных видов говорит об ее обмелении. Около 2000 кал. л. н. (интервал 136–138 см) и 1560 кал. л. н. (интервал 124–126 см) зафиксированы два мощных заплеска морской воды в лагуну, которые могли быть вызваны цунами. Морские осадки, связанные с цунами, были обнаружены в разрезах торфяников в бухте Кит (восточное Приморье). Их возраст около 1870 ± 70 кал. л. н. и 2090 ± 70 кал. л. н. В этот же возрастной интервал попадает дата 2090 ± 110 кал. л. н., полученная под прослоем цунамигенного песка, обнаруженного в отложениях палеозера бухты Лангоу I (восточное Приморье) (Ганзей и др., 2018).

Кратковременное раннесубатлантическое потепление, зафиксированное для юго-восточного Приморья в период 1865–1653 кал. л. н., в европейской части получило название Римское Потепление (2.0–1.7 тыс. кал. л. н.; Новенко, 2020). В юго-восточном Приморье увеличиваются площади лесной растительности: еловых лесов в верхнем поясе гор, в мелкогорье — кедрово-широколиственных и дубово-широколиственных на склонах увалов. В составе пойменных лесов уменьшается участие ольхи и возрастает доля ивовых. В травянистом покрове сокращается роль гелиофитов. На месте мелководий образуются влажные луга с осоковыми сообществами и гигрофитным разнотравьем. Это же потепление

было обнаружено при изучении торфяника на о. Русский. В растительности увеличивалась роль широколиственных лесов с преобладанием дуба и большей встречаемостью граба. Климатические условия были немного теплее и влажнее современных (Микишин, Гвоздева, 2014).

За потеплением около 1653 кал. л. н. последовало среднесубатлантическое похолодание (Похолодание Темных веков; Helama et al., 2017), которое на территории юго-восточного Приморья проявилось двумя фазами. Первая фаза 1653–1479 кал. л. н. была прохладной и более сухой. На склонах мелкогорья уменьшились площади лесных массивов с незначительным снижением участия широколиственных. На пойме распространились ольховники с небольшим участием ивовых и полынно-злаковыми сообществами.

Около 1560 кал. л. н. произошло перекрытие протоки, связывающей лагуну с морем, ее обмеление и активное развитие водной и прибрежно-водной растительности. Началось накопление сапропеля. В это время уровень Японского моря был на 0.8–1.2 м ниже современного (Короткий и др., 2004).

Во вторую фазу 1479–1330 кал. л. н. похолодание усилилось, а влажность повысилась. Широкое развитие получили кедрово-дубовые леса. Граница хвойно-широколиственных лесов понижалась, ель и пихта умеренно присутствовали в составе растительности на высотах менее 200 м. Аналогичные данные получены по отложениям в устье реки Киевки и бухте Мал. Тазгоу (Короткий и др., 2004). Возросшая роль кедрово-широколиственной ассоциации во время этого похолодания отмечается и на о. Русский (Микишин, Гвоздева, 2014). В отложениях побережья оз. Ханка, датированных VI в. н. э., обнаружено высокое содержание пыльцы ели, пихты и, особенно, кедра (Микишин и др., 2007; Базарова и др., 2018). Увеличение влажности привело к сокращению полынно-злаковых сообществ. Климат был холоднее, чем в раннесубатлантическое похолодание. Максимум похолодания пришелся на первую половину VI в. В Европе кульминация этого климатического события также пришлась на VI в. н. э. (Helama et al., 2017). В лагунных отложениях увеличивается содержание арктобореальных видов диатомей. В это время на фоне продолжающейся регрессии моря (Короткий и др., 2004) лагуна окончательно отчленяется от моря, происходит ее сильное опреснение.

Похолодание сменилось потеплением (1330–840 кал. л. н.), в котором выделяются две фазы. Первая (1330–1060 кал. л. н.) была менее теплой и относительно сухой. В горах граница хвойно-широколиственных лесов повысилась. На побережье доминировали дубово-широколиственные леса с березой даурской и грабом. В составе пой-

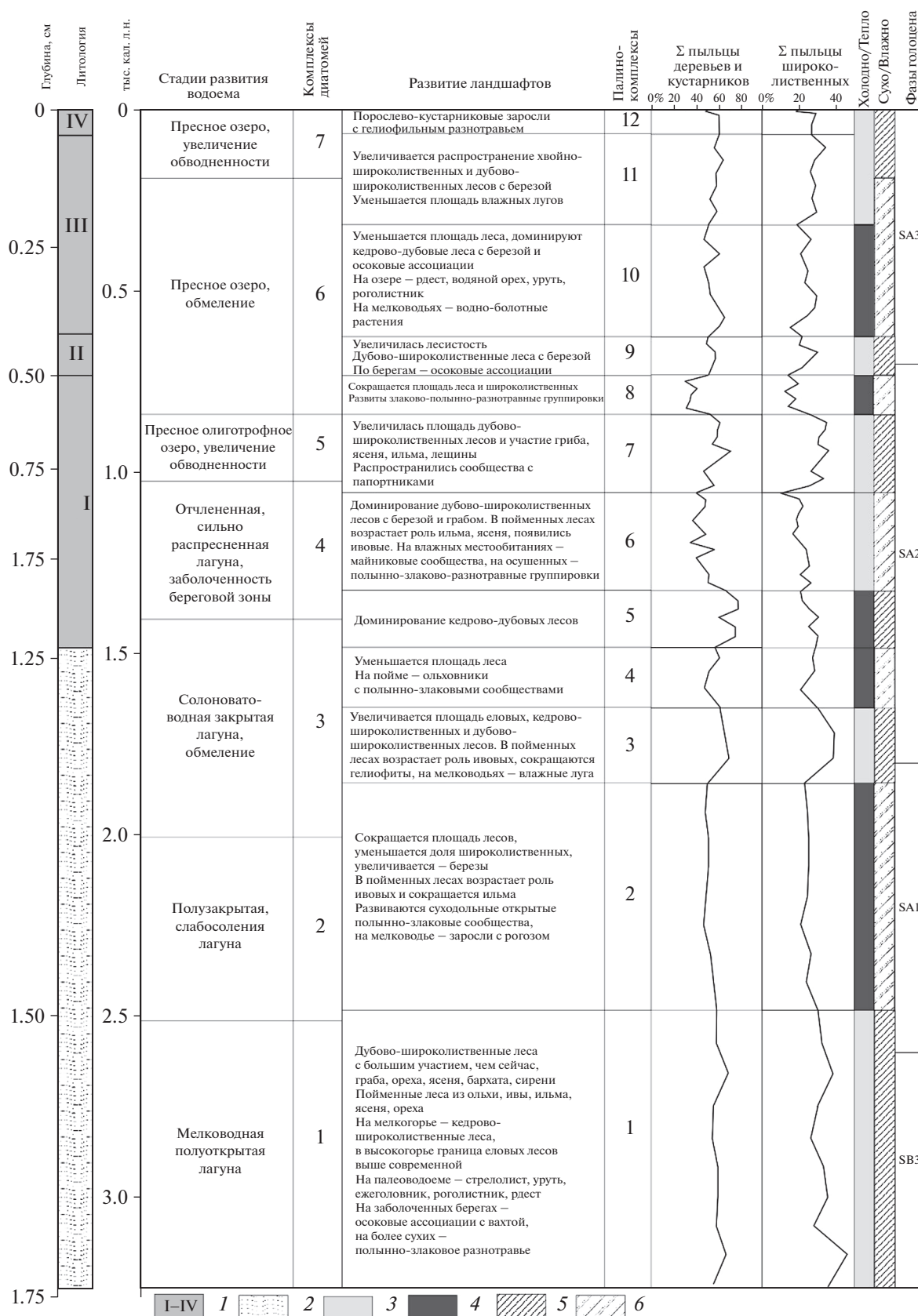


Рис. 5. Развитие природной среды юго-восточного Приморья за последние 3240 кал. л. н., периодизация голоцена по Н.А. Хотинскому (1977). 1–2 – см. условные обозначения на рис. 3; 3 – потепление; 4 – похолодание; 5 – влажно; 6 – сухо.
Fig. 5. Development of the environment of southeastern Primorye during last 3240 cal. BP, periodization of the Holocene according to N.A. Khotinsky (1977). 1–2 – look symbols at fig. 3; 3 – warming; 4 – cooling; 5 – humid; 6 – dry.

менных лесов возрастала роль ильма, ясеня, появились ивовые. По берегам озера на влажных участках в травяном покрове распространились лилейные. Полынно-злаково-разнотравные группировки были развиты на осушенных участках. Лагуна трансформировалась в пресное озеро. Усилилась заболоченность береговой зоны, о чем свидетельствует увеличение содержания *Tabellaria flocculosa* и диатомей рода *Eunotia*. Во вторую фазу (1060–840 кал. л. н.) климат стал теплее и влажнее. На побережье залива Находка увеличилась площадь дубово-широколиственных лесов, в которых возрастало участие граба, ясеня, ильма, лещины. В травяном покрове незначительно сократилось присутствие полынй и злаков. Это потепление совпадает по времени с началом средневекового климатического оптимума (VIII–XIII вв.). На территории Приморья среднегодовая температура повысилась на 1–1.3°C, в основном за счет более теплых зим. Предположительно повысилось и годовое количество атмосферных осадков (Короткий и др., 1999), а также речной сток. Уровень моря поднимался примерно на 0.5 м по отношению к современному, и подъем продолжался не менее 400 лет (Короткий и др., 2004). На островном и континентальном побережьях юга Дальнего Востока потепление проявилось во всех ландшафтных зонах (Razjigaeva et al., 2019). На территории Китая оно началось в VIII в. (Duan et al., 1981), а в Японии теплая фаза датируется 732–1296 гг. н. э. (Sakaguchi, 1983; 1989). Согласно дендрохронологическим данным для Северного полушария в период с 750 по ~850 г. н. э. происходило умеренное повышение температуры, за которым последовал продолжительный теплый период (Wilson et al., 2016). Комплекс диатомей соответствует существованию более глубокого пресноводного олиготрофного озера с заболоченными берегами.

В период 840–730 кал. л. н. климат становится холоднее и суше. На побережье залива Находка значительно сокращается территория, занятая лесной растительностью и широколиственными породами. Некоторые виды (виноград амурский, лимонник китайский) исчезают. В травяном покрове доминируют злаково-полынно-разнотравные группировки. В окружении озера на переувлажненных участках распространяются осоковые сообщества. В составе водной растительности активно развивался рдест, появились уруть и частуха. Одна из последних регрессивных фаз оз. Ханка относится к холодному и сухому периоду XII–XIV веков (Микишин и др., 2007). В общем составе спорово-пыльцевых спектров как в отложениях оз. Гнилое, так и в отложениях оз. Ханка наблюдается минимальное содержание пыльцы деревьев и кустарников, что свидетельствует о значительно более суровом климате, нежели во время похолодания в VI в. Возможно, это был са-

мый холодный период за последние 3300 лет. Кратковременное сильное похолодание было выявлено в отложениях бухты Кит возрастом 790 ± 70 кал. л. н. (Разжигаева и др., 2016). Данные дендрохронологических исследований в Северном полушарии зафиксировали 50-летний прохладный период в первой половине XII в. (Wilson et al., 2016). Холодный эпизод, имевший место около 1100 г., фиксируется большим количеством данных, в том числе информацией о подвижке ледников, а также европейскими и китайскими хрониками (Chu, 1973; Duan et al., 1981; Ogilvie, 1991). Диатомовый комплекс палеоводоема свидетельствует об уменьшении водности, зарастании и обмелении.

В период 730–625 кал. л. н. происходит кратковременное улучшение климатических условий и увеличение лесной растительности. На побережье доминируют дубово-широколиственные леса с березой даурской. Возможно, в результате увеличения увлажнения происходит заболачивание участков вблизи озера, на которых развивались осоковые ассоциации. В китайских летописях на протяжении XIII в. отмечается теплый климат (Duan et al., 1981).

В период 625–320 кал. л. н. на территории юго-восточного Приморья наступает похолодание. На побережье залива Находка уменьшается площадь лесной растительности, распространяются кедрово-дубовые леса с березой плосколистной, широко развиваются осоковые ассоциации. Водная растительность была представлена рдестом, водяным орехом, урутью, роголистником. Увеличилась заболоченность побережья озера. Появились сообщества гигрофильных водно-болотных растений: вахты, горца земноводного и пузырчатки. В это время уменьшился речной сток, и продолжилось обмеление озера.

Это похолодание совпадает с малым ледниковым периодом (середина XIV в. – первая половина XIX в.). В период XIV–XVII вв. в юго-восточном Приморье зимние температуры были значительно ниже, чем в последующие 250 лет. Для бассейна нижнего Амура понижение среднегодовой температуры по сравнению с современной оценивается в 1–1.2°C (Базарова и др., 2014). В междуречье Амура и Зеи самыми холодными были эпизоды около 1400 и 1600 гг. н. э.; среднегодовые температуры были ниже современных приблизительно на 2°C (Клименко и др., 2000). По данным дендрохронологии для Северного полушария аномально холодным был интервал 1452–1471 гг. со снижением среднегодовой температуры на 0.96°C (Wilson et al., 2016). В Японии холодная фаза приходится на 1611–1650 гг. (Maejimi, Tagami, 1983).

Начиная с 320 кал. л. н. климатические условия постепенное улучшаются. В горах увеличивается площадь лесных массивов, в которых боль-

шее участие принимают широколиственные и хвойные породы. На побережье преобладают дубово-широколиственные леса с березами. По берегам озера уменьшается заболоченность, и сокращаются площади влажных лугов. Около 210 кал. л. н. начинается повышение уровня озера.

В 1864 г. на побережье залива Находка (до 1972 г. залив Америка) был основан гидрографический пост. В 1907 г. здесь зародилась деревня Американка, а в 1930 г. еще несколько поселков. Активное освоение побережья залива Находка началось в 1939 г. со строительством порта в бухте Находка (Власов, 2008). В 1950 г. пос. Находка становится городом. На урбанизированной территории возрастает степень рекреационной нагрузки. Уменьшилась площадь лесов и их видовой состав. Сократилось участие ясеня, ореха маньчжурского и других широколиственных. На месте сведенных дубняков обширные пространства занимают порослево-кустарниковые и кустарниковые заросли с гелиофильным разнотравьем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории южного Приморья выделено 5 периодов потеплений: 3240–2500, 1865–1650, 1330–840, 730–625 кал. л. н. и со второй половины XVII в. по настоящее время; 4 периода похолоданий: 2500–1865, 1650–1330, 840–730 и 625–320 ал. л. н.; 6 влажных периодов: 3240–2500, 1865–1650, 1480–1330, 1060–840, 730–625 кал. л. н. и последние 280 лет; 5 сухих периодов: 2500–1865, 1650–1480, 1330–1060, 840–730 и 625–210 кал. л. н.

Наиболее теплые климатические условия зафиксированы 3240–2500 кал. л. н., наиболее холодные – 840–730 кал. л. н. Экспансия кедра корейского и темнохвойных пород произошла во время второй фазы среднесубатлантического похолодания 1480–1330 кал. л. н. Значительное увеличение влажности отмечено в конце средневекового климатического оптимума 1060–840 кал. л. н. В последние 150 лет наиболее значимые изменения ландшафтов связаны с антропогенной трансформацией в результате урбанизации. Уменьшились площадь лесов и их видовой состав, на месте сведенных дубняков в настоящее время обширные пространства занимают порослево-кустарниковые и кустарниковые заросли.

Озеро Гнилое прошло 7 стадий развития. Около 3240 кал. л. н. существовала мелководная полуоткрытая лагуна при уровне моря выше современного на 1–1.5 м. Похолодание и уменьшение влажности около 2500 кал. л. н. привели к образованию слабосоленой полузакрытой лагуны. Обмеление лагуны около 2000 кал. л. н. было обусловлено понижением уровня моря, а окончательно лагуна отчленилась от моря около 1450 кал. л. н. Переход лагуны в пресное озеро

произошел около 1080 кал. л. н. В период похолодания 840–730 кал. л. н. начинается обмеление озера, которое продолжалось и в малый ледниковый период. Начиная с 210 кал. л. н. отмечается повышение уровня озера, связанное с умеренным потеплением и повышением влажности.

В отложениях озера Гнилое зафиксированы следы трех катастрофических событий – высокобалльного шторма около 3000 кал. л. н. и двух цунами около 2000 и 1560 кал. л. н.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам за полезные и продуктивные комментарии, которые способствовали значительному улучшению рукописи, а также П.Е. Тарасову (Институт геологических наук, секция палеонтологии, Свободный университет Берлина, Германия) за помощь в получении радиоуглеродных дат и за редакцию рукописи, Е.А. Сергушевой (Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток, Россия) за карпологиические определения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Базарова В.Б., Гребенникова Т.А., Орлова Л.А. (2014). Динамика природной среды бассейна Амура в малый ледниковый период // География и природные ресурсы. № 3. С. 124–132.
- Базарова В.Б., Лящевская М.С., Макарова Т.Р., Орлова Л.А. (2018). Обстановки осадконакопления на поймах рек Приханкайской равнины в среднем-позднем голоцене (юг Дальнего Востока) // Тихоокеанская геология. Т. 37. № 1. С. 94–105.
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. (2006). Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio. 498 с.
- Власов С.А. (2008). Жилищное строительство на Дальнем Востоке (1946–1991 гг.). Владивосток: Дальнаука. 204 с.
- Ганзей Л.А., Разжигаяева Н.Г., Арсланов Х.А. и др. (2018). Следы палеоцунами на побережье Приморья в голоцене // Геоморфология. № 2. С. 20–31. <https://doi.org/10.7868/S0435428118020025>
- Ганзей Л.А., Разжигаяева Н.Г., Нишикура Ю. и др. (2015). Осадки исторических и палеоцунами на побережье восточного Приморья // Тихоокеанская геология. Т. 34. № 1. С. 80–96.
- Ганзей Л.А., Разжигаяева Н.Г., Нишикура Ю. и др. (2016). Проявление палеоцунами в позднем голоцене на побережье бухты Триозерье, Японское море // Успехи современного естествознания. № 8. С. 166–172.
- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. (1974) / Под ред. А.И. Прошкиной-Лавренко. Л.: Наука. 403 с.
- Клименко В.В., Климанов В.А., Кожаринов А.В. (2000). Динамика растительности и климата Амуро-Зейского междуречья в голоцене и прогноз их естественных изменений // Изв. РАН. Сер. географическая. № 2. С. 42–50.

- Короткий А.М., Караулова Л.П., Троицкая Т.С. (1980). Четвертичные отложения Приморья. Новосибирск: Наука. 234 с.
- Короткий А.М., Андерсон П.М., Ложкин А.В. и др. (2004). О развитии ландшафтов юго-восточного Приморья в среднем и позднем голоцене // Пространственно-временная изменчивость природной среды Северо-Восточной Азии в четвертичный период. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. С. 12–50.
- Короткий А.М., Волков В.Г., Гребенникова Т.А. и др. (1999). Дальний Восток // Изменение климата и ландшафтов за последние 65 млн лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена). М.: ГЕОС. С. 146–164.
- Лящевская М.С., Пшеничникова Н.Ф., Макарова Т.Р. (2017). Реакция растительности на климатические изменения в среднем – позднем голоцене (на примере участка побережья Юго-Восточного Приморья) // Успехи современного естествознания. № 12. С. 184–194.
- Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. (2014). Палеосреда острова Русский (Южное Приморье) в среднем-позднем голоцене // Фундаментальные исследования. № 3. С. 516–522.
- Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Попов А.Н., Орлова Л.А. (2007). Палеогеография озера Ханка в позднем голоцене // Научное обозрение. № 2. С. 7–13.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 26. Приморский край. (1988) / Кобышева Н.В. Л.: Гидрометеиздат. 416 с.
- Новенко Е.Ю. (2020). Ландшафтно-климатические изменения в лесной зоне Центральной и Восточной Европы в голоцене: ретроспективный анализ и сценарии эволюции природной среды // Экосистемы: экология и динамика. Т. 4. № 4. С. 57–80. <https://doi.org/10.24411/2542-2006-2020-10074>
- Полякова Е.И. (1979). Диатомовые водоросли в современных осадках побережья Чукотского моря и их палеогеографическое значение // Изв. АН СССР. Сер. географическая. № 4. С. 90–94.
- Прокопенко С.В. (2014). Флора полуострова Трудный (город Находка и его окрестности) // Комаровские чтения. № 62. С. 106–228.
- Пыльцевой анализ. (1950) / Под ред. И.М. Покровской. М.: Гос. изд-во геол. лит. 571 с.
- Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. (2016). Изменения ландшафтов побережья и горного обрамления бухты Кит (Приморье) в среднем и позднем голоцене // География и природные ресурсы. № 3. С. 141–151. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-3\(141-151\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-3(141-151))
- Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. (2020). Соотношение природных и антропогенных факторов в развитии ландшафтов бассейна реки Раздольная, Приморье // Изв. РАН. Сер. географическая. Т. 84. № 2. С. 246–258. <https://doi.org/10.31857/S2587556620020119>
- Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Нишимура Ю. и др. (2020а). Реконструкция экстремальных гидрологических событий позднего голоцена на побережье бухты Валентин, Японское море // Тихоокеанская геология. Т. 39. № 2. С. 90–103. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2020-39-2-90-103>
- Харитонов В.Г. (2010). Конспект флоры диатомовых водорослей (Bacillariophyceae) Северного Охотоморья. Магадан: СВНИЦ ДВО РАН. 189 с.
- Хериберг Л.Б., Михайлик Е.В., Пушкарь В.С., Вачаев Б.И. (2013). Строение, вещественный состав илистой толщи шельфа юга Приморья и перспективы ее освоения // Тихоокеанская геология. № 2 (32). С. 90–99.
- Хотинский Н.А. (1977). Голоцен Северной Евразии. М.: Наука. 192 с.
- Blaauw M., Christen J.A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. Vol. 6. No. 3. P. 457–474. <https://doi.org/10.1214/11-BA618>
- Chu K. (1973). A Preliminary Study on the Climate Fluctuations during the Last 5000 Years in China // Scientia Sinica. Vol. 16. P. 226–256.
- Duan V., Pu Q., Wu X. (1981). A preliminary study of Quaternary climatic changes in China // Selected papers of the conference 1978 on climatic changes in China. Beijing: Central Meteorological Agency, P. 7–17.
- Grimm E. (2004). Tilia software 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum Research and Collection Center.
- Helama S., Jones P.D., Briffa K.R. (2017). Dark Ages Cold Period: A literature review and directions for future research // The Holocene. Vol. 27. No. 10. P. 1600–1606. <https://doi.org/10.1177/09596836176938>
- Krammer K. (2000). Diatoms of Europe. Vol. 1: The Genus Pinnularia. Königstein: A.R.G. Gantner Verlag. Kommanditgesellschaft. 703 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1986). Bacillariophyceae. 1. Teil. Naviculaceae // Subwasserflora von Mitteleuropa Bd. 2. Stuttgart: Pascher. Gustav Fisher Verlag. P. 876.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1991). Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 576 p.
- Maejima I., Tagami Y. (1983). Climate of Little Ice Age in Japan // Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University. Vol. 18. P. 91–111.
- Ogilvie A.E.J. (1991). Climatic changes in Iceland A.D. c. 865 to 1598 // Acta Archaeologica-Den. Vol. 61. P. 233–251.
- Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Bazarova V.B. et al. (2019). Landscape response to the Medieval Warm Period in the South Russian Far East // Quaternary International. Vol. 519. P. 215–231. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.12.006>
- Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A. et al. (2018). Landscape and environmental changes along the Eastern Primorye coast during the middle to late Holocene and human effects // Journal of Asian Earth Sciences. Vol. 158. P. 160–172. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2018.02.013>
- Sakaguchi Y. (1983). Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation // Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo. Vol. 15. P. 1–31.

Sakaguchi Y. (1989). Some pollen records from Hokkaido and Sakhalin // Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo. Vol. 21. P. 1–17.

Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands // Netherlands Journal

of Aquatic Ecology. Vol. 28. P. 117–133.
<https://doi.org/10.1007/BF02334251>

Wilson R., Anchukaitis K., Briffa K.R. et al. (2016). Last millennium northern hemisphere summer temperatures from tree rings: Part I: The long term context // Quaternary Science Reviews. Vol. 134. P. 1–18.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.12.005>

ENVIRONMENT DEVELOPMENT AND THE EVOLUTION OF GNILOE LAKE (SOUTH-EASTERN PRIMORYE) DURING THE LAST 3300 YEARS¹

M. S. Lyashchevskaya^{a, #}, V. B. Bazarova^{a, ##}, and T. R. Makarova^{a, ###}

^a*Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok, Russia*

[#]*E-mail: lyshevskay@mail.ru*

^{##}*E-mail: bazarova@tigdvo.ru*

^{###}*E-mail: mctatiana@mail.ru*

A continuous record of paleogeographic events in south-eastern Primorye has been reconstructed based on the deposits of Gniloe Lake. The lake is located on the northern coast of Nakhodka Bay. Starting from 3240 cal. BP. 5 warming periods were identified: 3240–2500, 1865–1653, 1330–838, 733–624 cal. BP and from the second half of the 17th century to the present; 4 periods of cooling: 2500–1865, 1653–1330, 838–733 and 624–322 cal. BP; 6 wet periods: 3240–2500, 1865–1653, 1479–1330, 1056–838, 733–624 cal. BP and last 280 years; 5 dry periods: 2500–1865, 1653–1479, 1330–1056, 838–733 and 624–210 cal. BP. According to palynological analysis, the expansion of *Pinus koraiensis* and dark coniferous species occurred during the second phase of the Mid-Subatlantic cooling of 1479–1330 cal. BP. In the last 150 years, the most significant changes have been associated with the anthropogenic transformation of landscapes as a result of urbanization. The area of forests and their species composition have decreased. At present, shrubs have occupied areas of the deforested oak forests. Based on the results of diatom analysis, 7 stages of the development of Gniloe Lake were identified. There was a shallow semi-open lagoon at a sea level 1–1.5 m higher than the present day about 3240 cal. BP. Cooling and decrease in humidity about 2500 cal. BP led to the formation of a slightly saline semi-enclosed lagoon. Shallowing of the lagoon about 2000 cal. BP was due to a decrease in sea level. Finally, the lagoon separated from the sea about 1450 cal. BP. The transformation of the lagoon into a fresh lake occurred around 1080 cal. BP. During the period of cooling 840–733 cal. BP the shallowing of the lake began, which continued in the Little Ice Age. The increase of the lake level associated with moderate warming and an increase in humidity began at 210 cal. BP. Traces of three catastrophic events were recorded in the sediments of Gniloe Lake – a high-intensity storm about 3000 cal. BP and 2 tsunamis around 2000 and 1560 cal. BP.

Keywords: lacustrine deposits, diatoms, pollen, radiocarbon dating, natural and climatic changes, south-eastern Primorye

ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their deep gratitude to P.E. Tarasov (Institute of Geological Sciences, Paleontology Section, Free University of Berlin, Germany) for assistance in obtaining radiocarbon dates and for editing the manuscript and to E.A. Sergusheva (Institute of History, Archeology and Ethnology of the Peoples of the Far-East, FEB RAS, Vladivostok, Russia) for carpological identification.

chei sredy (Diversity of algal indicators in environmental assessment). Tel Aviv: Pilies Studio (Publ.). 498 p. (in Russ.)

Bazarova V.B., Grebennikova T.A., Orlova L.A. (2014). Natural-environment dynamics within the Amur basin during the Neoglacial. *Geography and Natural Resources*. Vol. 35. P. 275–283.
<https://doi.org/10.1134/S1875372814030111>

REFERENCES

Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anissimova O.V. (2006). *Bioraznoobrazie vodoroslei – indikatorov okruzhayush-*

Bazarova V.B., Lyashchevskaya M.S., Makarova T.R., Orlova L.A. (2018). Sedimentation conditions on floodplains of rivers of the Khanka Plain (southern Far East) in the middle–late Holocene. *Russian Journal of Pacific*

¹ For citation: Lyashchevskaya M.S., Bazarova V.B., Makarova T.R. (2023). Environment development and the evolution of Gniloe Lake (south-eastern Primorye) during the last 3300 years. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 54. No. 3. P. 108–123 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2949178923030064>; <https://elibrary.ru/WDCBGO>

- Geology*. Vol. 12. No. 6. P. 593–603.
<https://doi.org/10.1134/S1819714018060106>
- Blaauw M., Christen J.A. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. Vol. 6. No. 3. P. 457–474.
<https://doi.org/10.1214/11-BA618>
- Chu K. (1973). A Preliminary Study on the Climate Fluctuations during the Last 5000 Years in China. *Scientia Sinica*. Vol. 16. P. 226–256.
- Duan V., Pu Q., Wu X. (1981). A preliminary study of Quaternary climatic changes in China. *Selected papers of the conference 1978 on climatic changes in China*. Beijing: Central Meteorological Agency. P. 7–17.
- Ganzei L.A., Razjigaeva N.G., Nishimura Yu. et al. (2015). Historical and paleotsunami deposits of the Eastern Primorye coast. *Tikhookeanskaya geologiya*. Vol. 34. No. 1. 80–96. (in Russ.)
- Ganzei L.A., Razzhigaeva N.G., Arslanov K.A. et al. (2018). Manifestation of paleotsunami on the coast of Primorye in the Holocene. *Geomorfologiya*. No. 2. P. 20–31. (in Russ.)
<https://doi.org/10.7868/S0435428118020025>
- Ganzei L.A., Razzhigaeva N.G., Nishimura Yu. et al. (2016). Manifestation of Late Holocene paleotsunami on Triozer'e Bay coast, Sea of Japan. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. No. 8. P. 166–172. (in Russ.)
- Grimm E. (2004). Tilia software 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum Research and Collection Center.
- Helama S., Jones P.D., Briffa K.R. (2017). Dark Ages Cold Period: A literature review and directions for future research. *The Holocene*. Vol. 27. No. 10. P. 1600–1606.
<https://doi.org/10.1177/09596836176938>
- Kharitonov V.G. (2010). *Konspekt flory diatomovykh vodoroslei (Bacillariophyceae) Severnogo Okhotomor'ya* (Summary of diatom (Bacillariophyceae) flora of the northern coast of the Sea of Okhotsk). Magadan: SVNTs DVO RAN (Publ.). 189 p. (in Russ.)
- Khershberg L.B., Mikhailik E.V., Pushkar V.S., Vachayev B.I. (2013). Structure, the physical composition of shelf on south Primorye and prospects for its development. *Tikhookeanskaya geologiya*. Vol. 32. No. 2. P. 90–99. (in Russ.)
- Khotinsky N.A. (1977). *Golotsen Severnoi Evrazii* (Holocene of the Northern Eurasia). Moscow: Nauka (Publ.). 192 p. (in Russ.)
- Klimenko V.V., Klimanov V.A., Kozharinov A.V. (2000). Dynamics of the vegetation and climate of Amur-Zeya interstream area in Holocene and the forecast of their natural changes. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. No. 2. P. 42–50. (in Russ.)
- Kobysheva N.V. (Ed.). (1988). *Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Ch. 1–6. Vyp. 26. Primorskii krai* (Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1–6. Issue 26. Primorsky Krai). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.). 416 p. (in Russ.)
- Korotkii A.M., Anderson P.M., Lozhkin A.V. et al. (2004). Development of landscapes in Southeastern Primor'ye during the Middle and Late Holocene. *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' prirodnoi sredy Severo-Vostochnoi Azii v chetvertichnyi period*. Magadan: SVKNII DVO RAN (Publ.). P. 12–50. (in Russ.)
- Korotky A.M., Karaulova L.P., Troitskaya T.S. (1980). *Chetvertichnye otlozheniya Primor'ya* (The Quaternary deposits of Primor'ye). Novosibirsk: Nauka (Publ.). 234 p. (in Russ.)
- Korotky A.M., Volkov V.G., Grebennikova T.A. et al. (1999). Far East. *Izmenenie klimata i landshaftov za poslednie 65 mln let*. Moscow: GEOS (Publ.). P. 146–164. (in Russ.)
- Krammer K. (2000). *Diatoms of Europe. Vol. 1: The Genus Pinnularia*. Königstein: A.R.G. Gantner Verlag. Kommanditgesellschaft (Publ.). 703 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1986). *Bacillariophyceae. 1. Teil. Naviculaceae. Subwasserflora von Mitteleuropa Bd. 2*. Stuttgart: Pascher. Gustav Fisher Verlag (Publ.). 876 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1991). *Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag (Publ.). 576 p.
- Lyashchevskaya M.S., Pshenichnikova N.F., Makarova T.R. (2017). Reaction of vegetation to climatic changes in Middle-Late Holocene (at the example of a coast site in South-East Primorye). *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. No. 12. P. 184–194. (in Russ.)
- Maekima I., Tagami Y. (1983). Climate of Little Ice Age in Japan. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*. Vol. 18. P. 91–111.
- Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G. (2014). Paleoenvironment of Russian Island (southern Primorye) in middle-late Holocene. *Fundamental'nye issledovaniya*. Vol. 3. No. 3. P. 516–522. (in Russ.)
- Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Popov A.N., Orlova L.A. (2007). Paleogeography of Khanka Lake in Late Holocene. *Nauchnoe obozrenie*. No. 2. P. 7–13. (in Russ.)
- Novenko E.Yu. (2020). Landscape and climatic changes in the forest zone of Central and Eastern Europe in the Holocene: a retrospective analysis and scenarios for the evolution of the natural environment. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*. Vol. 4. No. 4. P. 57–80. (in Russ.)
<https://doi.org/10.24411/2542-2006-2020-10074>
- Ogilvie A.E.J. (1991). Climatic changes in Iceland A.D. c. 865 to 1598. *Acta Archaeologica-Den.* Vol. 61. P. 233–251.
- Pokrovskaya I.M. (Ed.). (1950). *Pyl'tsevoi analiz* (Pollen analysis). Moscow: Gos. izd-vo geol. lit-ry (Publ.). 571 p. (in Russ.)
- Polyakova E.I. (1979). Diatomic algae in recent deposits of the Chukchi Sea Coast and their paleogeographical meaning. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*. No. 4. P. 90–94. (in Russ.)
- Prokopenko S.V. (2014). Vascular flora of the Trudnyi Peninsula (Nakhodka City and its vicinity). *Komarovskie chteniya*. No. 62. P. 106–228. (in Russ.)
- Proshkina-Lavrenko A.V. (Ed.). (1974). *Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennyye) T. 1*. (The diatoms of the USSR (fossil and recent) Vol. 1). Leningrad: Nauka (Publ.). 403 p. (in Russ.)
- Razjigaeva N.G., Ganzei L.A., Bazarova V.B. et al. (2019). Landscape response to the Medieval Warm Period in the South Russian Far East. *Quaternary International*. Vol. 519. P. 215–231.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.12.006>

- Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A. et al. (2020a). Reconstruction of Late Holocene extreme hydrological events of the Valentin Bay coast, the Sea of Japan. *Russian Journal of Pacific Geology*. Vol. 14. No. 2. P. 180–192.
<https://doi.org/10.1134/S1819714020020086>
- Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A. et al. (2016). Changes of the coastal and the mountains surrounding Kit Bay landscapes (Primorye) in the Middle and Late Holocene. *Geografiya i prirodnye resursy*. No. 3. P. 141–151.
[https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2016-3\(141-151\)](https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2016-3(141-151))
- Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A. et al. (2018). Landscape and environmental changes along the Eastern Primorye coast during the middle to late Holocene and human effects. *Journal of Asian Earth Sciences*. Vol. 158. P. 160–172.
<https://doi.org/10.1016/j.jseas.2018.02.013>
- Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A. et al. (2020b). Interaction of Natural and Anthropogenic Factors in Landscape Development of Razdolnaya River Basin, Primorye. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. Vol. 84. No. 2. P. 246–258. (in Russ.)
<https://doi.org/10.31857/S2587556620020119>
- Sakaguchi Y. (1983). Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation. *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*. Vol. 15. P. 1–31.
- Sakaguchi Y. (1989). Some pollen records from Hokkaido and Sakhalin. *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*. Vol. 21. P. 1–17.
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*. Vol. 28. P. 117–133.
<https://doi.org/10.1007/BF02334251>
- Vlasov S.A. (2008). *Zhilishchnoe stroitel'stvo na Dal'nem Vostoke (1946–1991 gg.)* (Housing construction in the Far East (1946–1991). Vladivostok: Dal'nauka (Publ.). 204 p. (in Russ.)
- Wilson R., Anchukaitis K., Briffa K.R. et al. (2016). Last millennium northern hemisphere summer temperatures from tree rings: Part I: The long term context. *Quaternary Science Reviews*. Vol. 134. P. 1–18.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.12.005>