

## Развитие Солонцовских озер как показатель динамики увлажнения в Центральном Сихотэ-Алине в позднем голоцене

© 2021 Н. Г. Разжигаева\*<sup>1</sup>, Л. А. Ганзей<sup>1</sup>, Т. А. Гребенникова<sup>1</sup>, Т. А. Копотева<sup>2</sup>, М. А. Климин<sup>2</sup>, М. С. Лящевская<sup>1</sup>, А. М. Паничев<sup>1</sup>, Х. А. Арсланов<sup>3</sup>, Ф. Е. Максимов<sup>3</sup>, А. Ю. Петров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup> Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: [nadyar@tigdvo.ru](mailto:nadyar@tigdvo.ru)

**Резюме.** На основе комплексного изучения разреза отложений оз. Нижнее выделены этапы развития малых Солонцовских (Шандуйских) озер, расположенных в среднегорье Центрального Сихотэ-Алина в пределах крупных оползней, образованных на склонах палеовулкана. Проанализирован эколого-таксономический состав диатомовой флоры, ботанический состав торфа и установлены тенденции озерного осадконакопления в зависимости от разного масштаба гидроклиматических изменений в позднем голоцене. Возрастная модель построена на основе 6 радиоуглеродных датировок. Временное разрешение реконструкций составляет 30–60 лет. Проведено сравнение развития озер Нижнее и Изюбриные Солонцы, на основе их динамики выделены этапы обводнения и обмеления озер, что позволило восстановить изменение увлажнения в среднегорье. Органогенные отложения в озерных котловинах накапливались с высокими скоростями (до 1.7–1.9 мм/год). Наиболее подробные данные получены для последних 2.6 тыс. кал. л. при изучении отложений оз. Нижнее, которое более чутко реагировало на изменение климатических условий. Частые смены комплексов диатомей и торфообразующих растений свидетельствуют о нестабильных гидроклиматических условиях с разной степенью обводнения и осушения вплоть до полного зарастания водоема. По данным диатомового анализа прослежена последовательная смена трофности водоема. Установлена частая смена сфагновых мхов разных секций, имеющих разные трофические предпочтения. Основными причинами изменения гидрологического режима озер являлись вариации атмосферных осадков при короткопериодной климатической ритмике. Проведена корреляция выделенных палеоклиматических событий с глобальными данными. Похолодания, как правило, сопровождались снижением увлажнения, но малый ледниковый период был влажным за счет роста атмосферных осадков.

**Ключевые слова:** горные озера, торфонакопление, диатомовые водоросли, ботанический состав, климатические изменения, голоцен, юг Дальнего Востока

## Development of Solontsovskie Lakes as indicator of humidity within Central Sikhote-Alin in the Late Holocene

Nadezhda G. Razjigaeva\*<sup>1</sup>, Larisa A. Ganzey<sup>1</sup>, Tatiana A. Grebennikova<sup>1</sup>, Tatiana A. Kopoteva<sup>2</sup>, Mikhail A. Klimin<sup>2</sup>, Marina S. Lyashchevskaya<sup>1</sup>, Alexander M. Panichev<sup>1</sup>, Khikmatulla A. Arslanov<sup>3</sup>, Fedor E. Maksimov<sup>3</sup>, Alexey Yu. Petrov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup> Institute of Water and Ecology Problems, FEB RAS, Khabarovsk, Russia

<sup>3</sup> St.-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

\*E-mail: [nadyar@tigdvo.ru](mailto:nadyar@tigdvo.ru)

**Abstract.** The stages of development of small Solontsovskie (Shanduyskie) Lakes located in the middle mountains of the Central Sikhote-Alin within large landslides, formed on the slopes of the paleovolcano, are identified on the basis of complex study of the sediment section of the Nizhnee Lake. The ecological-taxonomic composition of the diatom flora, the botanical composition of peat have been analyzed, and the tendencies of lacustrine sedimentation depending on the different scale of hydroclimatic changes in the Late Holocene have been established. The age model is based on 6 radiocarbon dates. The temporary resolution for the reconstructions is 30–60 years. A comparison of the development of Nizhnee and Izubrinnye Solontsi Lakes

was carried out, the stages of watering and shallowing of lakes were identified on the basis of their dynamics, which made it possible to restore the change in moisture in the middle mountains. Organogenic deposits in lacustrine basins accumulated at high rates (up to 1.7–1.9 mm/year). The most detailed data were obtained for the last 2.6 thousand cal. yr BP based on the study of the sediment section of the Nizhnee Lake, which responded more sensitively to changing climatic conditions. Frequent changes in diatom assemblages and peat-forming plants indicate unstable hydroclimatic conditions with varying degrees of watering and drainage up to complete overgrowth of water bodies. According to the data of diatom analysis, a successive change in the trophicity of the lake was traced. A frequent change of sphagnum mosses of different sections with different trophic preferences was established. The main reason for the change in the hydrological regime of the lakes was variations in precipitation during the short-term climatic changes. The correlation of the identified paleoclimatic events with global data has been carried out. Cooling periods, as a rule, were accompanied by a decrease in moisture, but the Little Ice Age was wet due to an increase in precipitation.

**Keywords:** mountain lakes, peat accumulation, diatoms, botanical composition, climatic changes, Holocene, south Far East

**Для цитирования:** Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Копотева Т.А., Климин М.А., Ляшевская М.С., Паничев А.М., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. Развитие Солонцовских озер как показатель динамики увлажнения в Центральном Сихотэ-Алине в позднем голоцене. *Геосистемы переходных зон*, 2021, т. 5, № 3, с. 287–304. <https://doi.org/10.30730/grtz.2021.5.3.287-304>.

#### Благодарности и финансирование

Авторы выражают благодарность сотрудникам ТИГ ДВО РАН, принимавшим участие в полевых работах. Работа выполнена в рамках государственных программ Тихоокеанского института географии ДВО РАН № АААА-А19-119030790003-1 и Института водных и экологических проблем ДВО РАН № 121021500060-4.

Авторы благодарны Наталии Степановне Болиховской и анонимному рецензенту за внимательное прочтение статьи и конструктивные замечания.

#### Введение

Одной из характерных черт муссонного климата является неравномерное увлажнение в течение года. Длительность этих периодов, по-видимому, существенно менялась во времени. Палеореконструкции, выполненные для разных районов юга Дальнего Востока, показывают, что увлажнение в голоцене контролировалось интенсивностью восточноазиатского муссона и циклогенеза [Базарова и др., 2018а; Разжигаева и др., 2020; Leire et al., 2015]. Динамика летнего муссона в голоцене хорошо изучена для северо-востока Китая, есть данные по Корейскому полуострову и Японским островам [Li et al., 2011; Chen et al., 2015; Lim et al., 2015; Stebich et al., 2015]. Для юга Российского Дальнего Востока мало информации о том, насколько менялось увлажнение на разных высотных поясах в горных районах. Большинство реконструкций сделано для морского побережья и низких уровней рельефа, в том числе Приханкайской низменности [Базарова

**For citation:** Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Kopoteva T.A., Klimin M.A., Lyashevskaya M.S., Panichev A.M., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A. Yu. Development of Solontsovskie Lakes as indicator of humidity within Central Sikhote-Alin in the Late Holocene. *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2021, vol. 5, no. 3, pp. 287–304. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/grtz.2021.5.3.287-304>.

#### Acknowledgements and Funding

Authors are grateful to the staff of the Pacific Geographical Institute FEB RAS, who took part in the field works. The work was performed within the framework of the state assignments of the Pacific Geographical Institute FEB RAS no. АААА-А19-119030790003-1 and the Institute of Water and Ecology Problems FEB RAS no. 121021500060-4.

Authors are grateful to Natalya S. Bolikhovskaya and the anonymous Reviewer for careful reading of the manuscript and constructive remarks.

и др., 2018б; Короткий, 2002; Микишин и др., 2007, 2008] и предгорьев Сихотэ-Алиня [Белянин, Белянина, 2018; Разжигаева и др., 2019а]. Высокорастворяющие реконструкции, выполненные по отложениям палеозер на горных плато юга Сихотэ-Алиня, позволили выделить периоды разной увлажненности в среднегорье в позднем голоцене [Разжигаева и др., 2016, 2019б]. Для Центрального Сихотэ-Алиня такие реконструкции сделаны по оз. Изюбриные Солонцы [Разжигаева и др., 2017], одному из группы Солонцовских (Шандуйских) озер, образованных за счет крупных оползней на склонах древнего вулкана. Авторами получены материалы по оз. Нижнее, расположенному около наиболее крупного озера Большое Солонцовое (Царское). Цель настоящей статьи – выделить этапы развития оз. Нижнее, провести корреляцию с данными по оз. Изюбриные Солонцы и на основе их динамики восстановить изменение увлажнения в среднегорье в позднем голоцене.

## Краткая характеристика района

Солонцовские озера расположены на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня около палеовулкана Солонцовского [Ветренников, 1976], возраст которого оценивается около 61–56 млн лет [Паничев и др., 2012]. Группа включает 10 озер, образованных после схода крупных оползней, перегородивших русла водотоков. Озеро Нижнее (100 × 50 м), расположенное на абс. высоте 565 м в 200 м к юго-востоку от оз. Большое Солонцовое (Царское), находится в пределах пояса кедровых и кедрово-еловых лесов (400–700 м) и входит в территорию Сихотэ-Алинского биосферного заповедника [Васильев, Матюшкин (ред.), 1982]. Озеро Изюбриные Солонцы (190 × 100 м) находится на абс. высоте 750 м в поясе пихтово-еловых лесов (700–1200 м).

С учетом регионального вертикального градиента [Марченко, 1991] среднегодовая температура в горах на высоте 500–600 м составляет +1.5 °С, температура января –18.3 °С, августа +11.8 °С. Количество осадков – 940 мм/год, наибольшее количество выпадает в августе–сентябре. Безморозный период длится 120 дней [Растительный... , 1982]. Высота снежного покрова в снежные зимы может достигать 1 м [Паничев и др., 2012].

Гидрологический режим озер сильно различается. В случае, когда подстилающие отложения представлены плохо проницаемыми суглинистыми отложениями, уровень озера мало меняется в течение года (оз. Верхнее, или Круглое). Уровень оз. Большое Солонцовое существенно колеблется в разные сезоны вплоть до

полного исчезновения воды в начале лета и зависит от количества выпавших атмосферных осадков. Наполнение озерной чаши водой происходит в конце августа – в сентябре, в сезон тайфунов. Скорее всего, ложе озерной котловины сложено более проницаемыми отложениями. Малые озера, такие как Изюбриные Солонцы и Нижнее, почти полностью заросшие. Озерные котловины заполнены торфом и большую часть года представляют собой топи. Открытая вода появляется здесь после сильных ливней.

По краям озер растет лиственница Каяндера (*Larix cajanderi*). В краевой части котловины оз. Нижнего дернина состоит из остатков трав с преобладанием пушицы Шейхцера и влажлищной (*Eriophorum scheuchzeri*, *E. vaginatum*) и осок скрытоплодной и Миддендорфа (*Carex cryptocarpa*, *C. middendorffii*), встречен очеретник белый (*Rynchospora alba*), камыш озерный (*Schoenoplectus tabernaemontanii*), единично ирис, папоротник щитовник болотный (*Dryopteris thelypteris*), в небольшом количестве присутствуют сфагновые мхи (10–35 %) эвтрофные топяные *Sphagnum denticulatum* и *S. subsecundum*, а также гигрофит *S. divinum*, характерный для олиготрофно-мезотрофных сильно обводненных болот, единично – зеленый мох. Болото относится к переходному типу.

## Материалы и методы

Реконструкции основаны на данных изучения разреза (0317, 45°25′23.56″ с.ш., 136°30′58.54″ в.д.), пробуренного в краевой части оз. Нижнее (рис. 1). Вскрыто 3.25 м плотно-го торфа. Отбор проб проводился с шагом 5 см.



**Рис. 1.** Район работ, Солонцовские озера, Сихотэ-Алинь. (а) схема расположения Солонцовских озер и положение изученных разрезов; (б) оз. Большое Солонцовое, фаза обводнения, весна; (с) там же, фаза осушения, лето; (д) оз. Нижнее; (е) оз. Изюбриные Солонцы. Фото А.М. Паничева

**Fig. 1.** Studied area, Solontsovskie Lakes, Sikhote-Alin. (a) Solontsovskie Lakes location and position of studied sections; (b) Bolshoe Solontsovoye Lake, inundation phase, spring; (c) Bolshoe Solontsovoye Lake, dry phase, summer; (d) Nizhnee Lake; (e) Izyubrynye Solontsi Lake. Photo by A.M. Panichev

Ботанический состав торфа определяли согласно Г.Г. Куликовой [1974]. В препаратах отмечали наличие углей, зеленых водорослей, кладоцер и раковинных амеб. Раковинные амебы определяли по [Мазей, Цыганов, 2006]. Определена зольность торфа.

Подготовка материала для диатомового анализа проводилась по общепринятой методике [Глезер и др., 1974], диатомеи определяли в постоянных препаратах с помощью микроскопа «Ахиоскор», при увеличении  $\times 1000$ . При эколого-географической характеристике диатомей использовались [Барина и др., 2008; Давыдова, 1985; Харитонов, 2010; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1991a, b]. Проведен подсчет содержания створок диатомей в 1 грамме воздушно-сухого осадка для выявления продуктивности диатомовой флоры в зависимости от экологического состояния палеоводоёма на разных этапах его развития.

Радиоуглеродное датирование образцов торфа выполнено в Институте наук о Земле СПбГУ (г. Санкт-Петербург). Калибровка радиоуглеродных дат сделана с помощью программы OxCal 4.4 с использованием калибровочной кривой «IntCal 20» [Ramsey, 2017; Reimer, 2020]. При определении хронологии изменений озерно-болотных обстановок использован калиброванный возраст, определенный по модели в программе Bacon 2 и с программной оболочкой R [Blaauw, Christen, 2011].

## Результаты

**Возрастная модель**, созданная на по результатам  $^{14}\text{C}$  датирования шести образцов (табл. 1), показала, что скорости торфонакопления в котловине оз. Нижнее были достаточно равномерными (рис. 2). На начальном этапе торф накапливался со скоростью 0.8–1 мм/год. Около 1290 кал. л.н. скорости возросли до 1.6–1.7 мм/год, несколько снизились в интервале 980–620 кал. л.н. (до 1.4 мм/год), возросли около 620–320 кал. л.н. (1.6–1.7 мм/год)

и уменьшились в завершающий этап (до 1.2–1.4 мм/год). Временное разрешение реконструкций составляет 50–60 лет, а для последних 1290 кал. л. – 30–40 лет.

В целом, скорости торфонакопления ниже, чем в оз. Изюбриные Солонцы (до 1.9 мм/год) [Разжигаева и др., 2017], но общие тенденции хорошо прослеживаются. Резкое увеличение скоростей происходило около 1280 кал. л.н., в конце малого оптимума голоцена и начале малого ледникового периода скорости снизились, возросли около 500–400 кал. л.н. и понизились в последние 400 лет.

### Ботанический состав и зольность торфа.

Заболачивание началось в понижении в теле оползня, занятом лиственничным лесом. Во влажных, прохладных условиях (2640–2590 кал. л.н.) начал накапливаться травяно-зеленомошный торф (рис. 3). Встречены остатки 5 видов зеленых мхов: *Aulacomnium palustre*, *Helodium blandovii*, *Mnium punctatum*, *Meesia trifaria* и *Drepanocladus* sp. Травянистые растения представлены осоками, пушицей, встречены камыш, ирис. Сфагновый по-

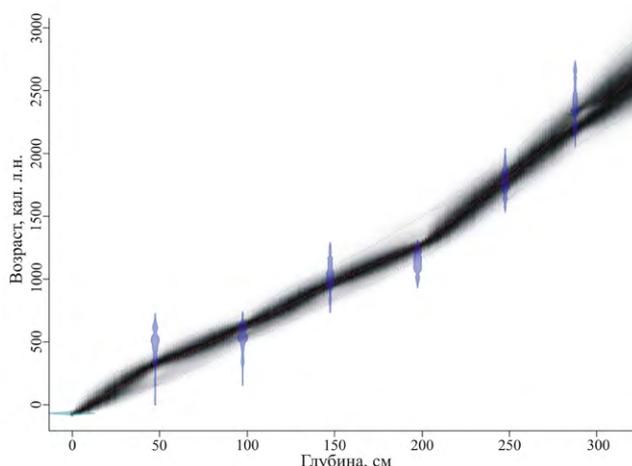


Рис. 2. Возрастная модель накопления отложений оз. Нижнее.

Fig. 2. Age model of accumulation of the sediments of Nizhnee Lake.

Таблица 1. Радиоуглеродный, календарный возраст и скорости накопления отложений оз. Нижнее

Table 1. Radiocarbon, calendar age and accumulation rates of the deposits of Nizhnee Lake

Лаб. номер, ЛУ-	Номер образца	Интервал, см	Радиоуглеродный возраст, лет	Календарный возраст, лет (2σ)	Моделированный возраст, кал. лет	Скорость торфонакопления по моделированному возрасту (интервал), мм/год
8838	10/0317	45–50	470 ± 100	480 ± 100	285–320	1.2–1.4
8839	20/0317	95–100	530 ± 90	550 ± 80	591–622	1.6–1.7
8840	30/0317	145–150	1100 ± 80	1030 ± 90	944–980	1.4–1.5
8841	40/0317	195–200	1220 ± 60	1150 ± 70	1258–1289	1.6–1.7
8842	50/0317	245–250	1850 ± 70	1780 ± 90	1671–1814	1–1.2
8843	58/0317	285–290	2330 ± 70	2380 ± 130	2220–2279	0.8–1

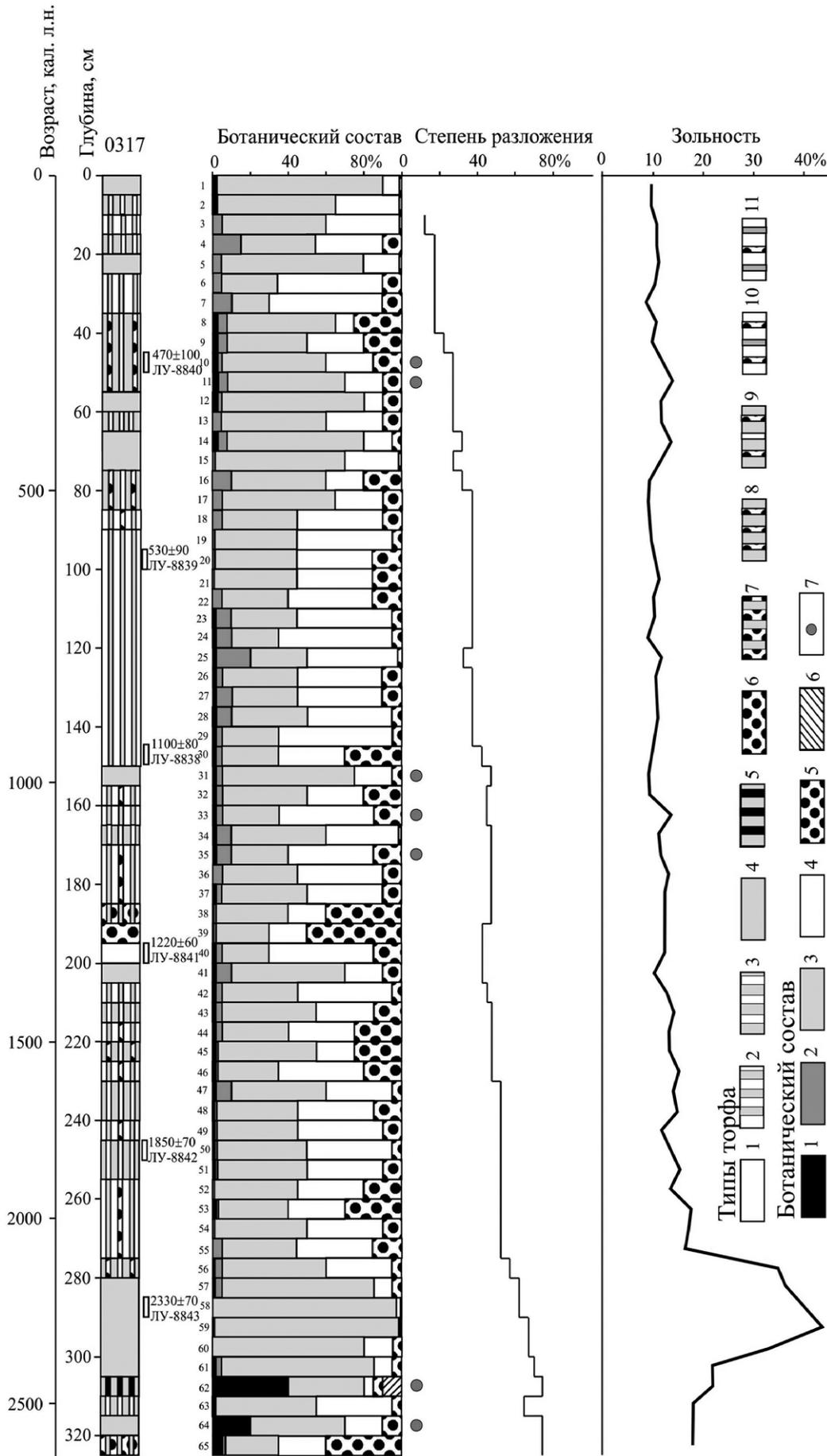


Рис. 3. Ботанический состав и характеристики торфа, оз. Нижнее.

Типы торфа: 1 – сфагновый, 2 – травяно-сфагновый, 3 – сфагново-травяной, 4 – травяной, 5 – древесно-травяной, 6 – зеленомошный, 7 – травяно-зеленомошный, 8 – зеленомошно-травяной, 9 – мохово-травяной, 10–11 – травяно-моховый. Ботанический состав: 1 – древесные, 2 – кустарнички, 3 – травы, 4 – сфагновые мхи, 5 – зеленые мхи, 6–7 – угли.

Fig. 3. Botanical composition and characteristics of peat, Nizhnee Lake.

Peat types: 1 – *Sphagnum*, 2 – herb-*Sphagnum*, 3 – *Sphagnum*-herb, 4 – herb, 5 – woody-herb, 6 – green moss, 7 – herb-green moss, 8 – green-moss-herb, 9 – moss-herb, 10–11 – herb-moss. Botanical composition: 1 – woody, 2 – shrubs, 3 – herb, 4 – *Sphagnum*, 5 – green moss, 6–7 – charcoal.

кров включал гигрофиты *Sphagnum jensenii*, *S. divinum*, *S. fallax*. Лиственничник с участием березы был развит по обрамлению болота до 2430 кал. л.н., формировался низинный сфагново-травяной и древесно-травяной торф (инт. 305–325 см). Наличие большого количества обгоревших веточек и углей свидетельствует о частых пожарах. Появились кладоцеры *Chydorus sphaericus* – вид, широко распространенный в эвтрофных пресных неглубоких водоемах. В интервале 2590–2430 кал. л.н. периодически происходили масштабные пожары, уничтожавшие и болотную растительность, о чем говорит наличие углей и зеленого мха *Aulacomnium palustre* – индикатора пирогенных смен [Копотева, Купцова, 2011].

Около 2430–2160 кал. л.н. начал накапливаться низинный травяной торф (инт. 280–305 см), в основном пушицево-осоковый со значительным присутствием гидрофитов, в том числе камыша озерного, хвоща приречного (*Equisetum fluviatil*) и кувшинки белой (*Nymphaea alba*). Кустарниковый ярус был слабо развит, встречены остатки кустарниковой березы. Практически исчезли сфагновые и зеленые мхи (2330–2220 кал. л.н.). Степень разложения материала уменьшилась. Торф, образованный около 2380–2110 кал. л.н., имеет повышенную зольность (до 43.5 %).

Моховой покров стал более развит около 2160–1290 кал. л.н. – остатки сфагновых мхов составляют до 50 % торфа, зеленые мхи – до 25 % (инт. 200–280 см). Среди трав преобладают пушицы и осоки, найдены остатки сабельника, лобелии, камыша, стало много ириса. В обилии появилась клюква болотная (*Oxycoccus palustris*). Степень разложения стала ниже. Присутствие кладоцер указывает на переувлажнение.

Наибольший расцвет сфагновых мхов (*Sphagnum jensenii*) был около 1290–1260 кал. л.н. (инт. 195–200 см). В составе трав появился пухонос (*Baeothryon* sp.). Вспышка развития зеленого мха эвтрофного гидрогидрофита *Limprichtia revolvens* (инт. 185–195 см) указывает на застойный режим 1260–1200 кал. л.н.

Травяно-моховый торф (инт. 155–185 см) формировался 1200–1010 кал. л.н. Наряду со *Sphagnum jensenii* с 1100 кал. л.н. увеличилась роль *S. divinum*. Встречаются редкие угольки, за исключением инт. 160–165 см (1080–1040 кал. л.н.)

Количество сфагновых и гипновых мхов снижается около 1010–980 кал. л.н., начал формировался травяной торф (150–155 см) с оби-

лием остатков пушицы, что может быть результатом частых пожаров.

Травяно-сфагновый торф (85–150 см) довольно однородного состав накапливался около 980–560 кал. л.н. Зеленые мхи представлены *Limprichtia revolvens*, *Meesia trifaria*. В обилии росла клюква, в торфе встречено много хвой лиственницы. Обилие кладоцер *Alonopsis elongate* говорит о переувлажнении.

Роль травянистых растений увеличилась 560–210 кал. л.н. (инт. 35–85 см). Среди сфагновых мхов появились мезотрофный *Sphagnum lindbergii* и эвтрофный гидрогигрофит *S. subsecundum*. Около 440 кал. л.н. практически исчезли кладоцеры – стало суше. Травяной торф формировался около 380–350 кал. л.н. Около 320–210 кал. л.н. увеличилось количество и разнообразие зеленых мхов (*Limprichtia revolvens*, *Scorpidium scorpioides*, *Calliergonella cuspidata*).

Ярус из сфагновых мхов стал более развит 210–130 кал. л.н. (инт. 25–35 см). Около 130–90 кал. л.н. существовало пушицево-осоковое болото. Роль сфагновых мхов возросла последние десятилетия, но поверхностная дернина сложена преимущественно травами.

В торфе, образованном 1870–500 кал. л.н. (инт. 80–255 см), в больших количествах присутствуют раковинные амебы: гидрофилы *Heleopera petricola*, *Archerella flavum* [Курьина, 2011] и гигрофилы-сфагнофилы *Hyalosphenia papilio*, изредка *H. elegans*, характерные для переходных болот [Мазей и др., 2013]. Два последних вида имеют оптимум уровня болотных вод 20–21 см, толерантны при колебаниях 5–15 см [Цыганов и др., 2017]. В торфе моложе 2220 кал. л.н. (с глубины 285 см) в большом количестве встречаются *Centropyxis aculeata*, *C. constricta* и *C. laevigata*, типичные для сильно обводненных местообитаний и тяготеющие к мезотрофным условиям среды [Курьина, 2011].

**Диатомовый анализ.** В отложениях разреза было определено 144 таксона диатомовых водорослей: преобладают виды обрастаний (69) и донные формы (64), планктонных и временно планктонных – 11 видов. На фоне преобладания космополитов встречено 11 бореальных и 22 арктобореальных видов. Отношение к галобности известно для 128 видов, все они олигогалобы, доминируют индифференты (78), обнаружены галофобы (39) и галофилы (11). По отношению к pH преобладают циркумнейтральные виды (66), ацидофилов – 40 видов, алкалофилов – 24. Выделено 10 комплексов диатомей (рис. 4).

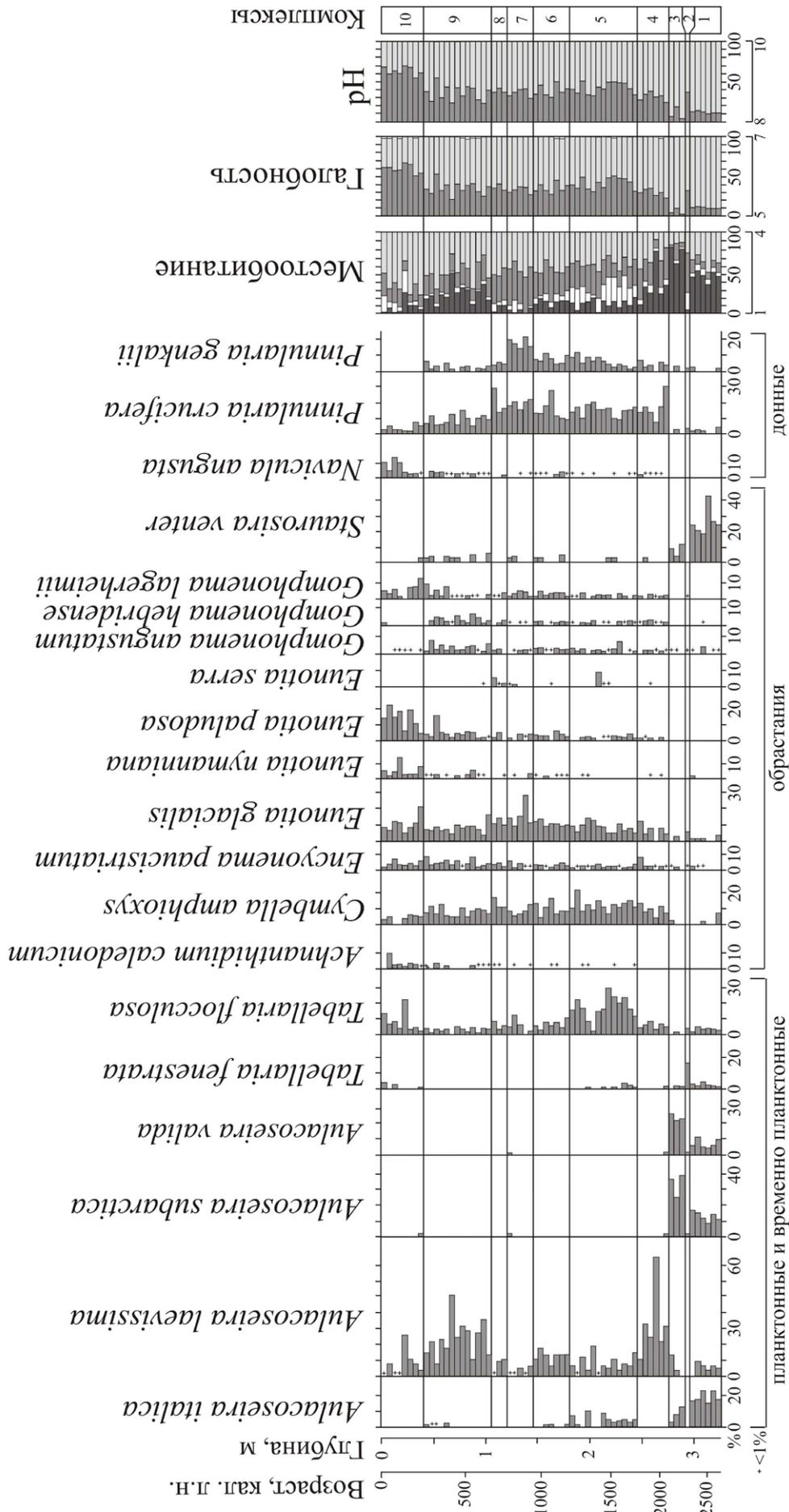


Рис. 4. Распределение диатомей в разрезе отложений оз. Нижнее.

Местообитание: 1 – планктонные, 2 – временно планктонные, 3 – донные, 4 – обрасания; галобность: 5 – галофобы, 6 – индифференты, 7 – галофилы, 8 – ацидофилы, 9 – циркумнейтральные, 10 – алкалофилы.

Fig. 4. Distribution of diatoms in the sediments section of Nizhnee Lake.

Habitat: 1 – planktonic, 2 – temporarily planktonic, 3 – bottom, 4 – epiiphytes; halobility: 1 – halophobes, 2 – indifferent, 3 – halophiles, 4 – circumneutral, 5 – acidophiles, 6 – indifferent, 7 – halophobes, 8 – acidophiles, 9 – circumneutral, 10 – alkaliphiles.

На начальном этапе (2640–2330 кал. л.н., инт. 295–325 см) в котловине существовало озеро с развитой литоральной зоной, заросшей водной растительностью. В диатомовом комплексе 1 ведущее положение занимают планктонные виды. Доминируют планктонные *Aulacoseira italica*, характерный для мезотрофно-эвтрофных вод, и *Aulacoseira subarctica*, а из обрастаний – *Staurosira venter*, типичный для олиготрофно-мезотрофных условий [Krammer, Lange-Bertalot, 1991a]. По отношению к галобности преобладают индифференты, по отношению к рН – циркумнейтральные виды и алкалифилы. Содержание арктобореальных видов колеблется от 2.1 до 8.3 %. Концентрация створок диатомей достигает 46.9 млн/г сухого осадка.

Кратковременное снижение уровня озера произошло в похолодание 2330–2280 кал. л.н. (инт. 290–295 см). Диатомовый комплекс 2 характеризуется высоким содержанием донной флоры. Доминируют широко распространенные в слабоминерализованных олиготрофно-мезотрофных мелководных водоемах временно планктонный космополит *Tabellaria fenestrata*, арктобореальный *Fragilariforma nitzschiioides*, предпочитающий олиготрофно-дистрофные воды, и донный *Hantzschia amphioxys* (13.2 %), который может обитать и в почвах. Субдоминантами являются характерные для олиготрофных водоемов северных регионов донный *Pinnularia crucifera* и обитатель болот *Eunotia glacialis*. Увеличивается содержание галофобов (до 41.3 %), ацидофилов (до 36 %) и арктобореальных видов (до 15.5 %). Озеро стало ближе к олиготрофному, температурные условия, по-видимому, стали более холодными. Обилие створок снижается до 2.9 млн/г. Территория начала заболачиваться, а местами, вероятно, образовались осушки.

Последующее обводнение озерной чаши (2280–2110 кал. л.н., инт. 275–290 см) привело к преобладанию планктонных видов (до 79.6 %) (комплекс 3). Доминируют *Aulacoseira subarctica* и *A. valida* – космополит, распространенный в олиготрофно-мезотрофных водоемах северных и горных регионов. Субдоминантом является *Staurosira venter*. Доли ацидофилов и галофобов снижаются. Содержание арктобореальных видов  $\leq 8,1$  %. Концентрация створок составляет 31–70 млн/г. Состав диатомей указывает на существование

олиготрофно-мезотрофного озера с зарослями макрофитов.

Комплекс 4 отражает значительное снижение уровня и заболачивание озера 2110–1760 кал. л.н. (инт. 245–275 см). Доминирующим становится *Aulacoseira laevissima*, характерный для олиготрофных водоемов. Этот вид встречается в мелководных ледниковых озерах (глубина  $\sim 1$  м) в субальпийском и альпийском поясах [Buczko et al., 2010; Krammer, Lange-Bertalot, 1991]. Повышается содержание донных видов, особенно *Pinnularia crucifera*. Субдоминантами являются обрастатели олиготрофных и олиготрофно-дистрофных водоемов: арктобореальный *Symbella amphioxys*, космополиты *Eunotia glacialis* и *Tabellaria flocculosa*, появляются характерные для сфагновых местообитаний арктобореальные *Eunotia lapponica*, *Eunotia serra*. Увеличилось содержание ацидофилов (до 25.2 %) и галофобов (до 26.4 %), характерных для болотных обстановок, и арктобореальных диатомей (12–25.5 %). Концентрация створок снижается (1.4–9.3 млн/г).

Комплекс 5 (1760–1130 кал. л.н., инт. 180–245 см) свидетельствует, что гидрологический режим олиготрофно-дистрофного водоема был неустойчивым. Содержание планктонных видов сильно варьирует, наряду с *Aulacoseira laevissima* найдены *A. italica*, *A. crenulata*, *A. subarctica*. Существенно увеличивается содержание *Tabellaria flocculosa*, типичного для торфяных болот. Значительно повышается участие галофобов и ацидофилов. Постоянными компонентами флоры становятся *Eunotia serra* и *E. lapponica*, оптимально развивающиеся при рН 4.9 [Барина и др., 2006]. Максимальное содержание (до 10.8 %) этих видов найдено в интервале 2.15–2.20 м (1500–1440 кал. л.н.). Здесь резко (до 1 %) сокращается участие планктонных видов. Возможно, на короткий период озеро сильно зарастало. Доля арктобореальных диатомей в этом слое осадков повышается до 33 %, тогда как в подстилающих и перекрывающих осадках их участие составляет 15–26.7 %. Обилие створок не превышает 2.5 млн/г.

Комплекс 6 отражает снижение уровня озера около 1130–910 кал. л.н. (инт. 140–180 см). Среди доминант повысилась роль *Pinnularia crucifera*. В составе субдоминантов появляется донный *Pinnularia genkalii*. Увеличивается

содержание болотных видов рода *Eunotia* (до 27 %), включая *E. paludosa*, типичный для болот с участием сфагнома и толерантный к временному обезвоживанию [Dam et al., 1994]. Концентрация створок колеблется в пределах 0.7–1.8 млн/г.

Значительное снижение уровня озера в результате дальнейшего зарастания было около 910–760 кал. л.н. (комплекс 7, инт. 120–140 см). Содержание планктонных диатомей уменьшается, преобладают донные виды и обрастатели. Увеличивается доля видов родов *Eunotia* (до 35.5 %) и *Pinnularia* (до 45.8 %), среди которых доминируют виды, характерные для околонеутральных или слабокислых вод олиготрофных водоемов (*Eunotia glacialis*, *Pinnularia crucifera*, *P. genkalii*). Субдоминантами являются *Symbella amphioxys* и *Tabellaria flocculosa*. В отдельные периоды 910–870; 840–800 кал. л.н. (инт. 135–140 и 125–130 см) фиксируется полное зарастание озера. Концентрация створок снижается до 0.2 млн/г.

Комплекс 8 (инт. 105–120 см) отражает незначительное обводнение озерной чаши около 760–660 кал. л.н. Увеличилось содержание *Aulacoseira laevissima* и снизилась доля донных видов. Климатические условия были холодными – содержание арктобореальных видов достигает 29.5 %, в том числе выросло участие *Eunotia serra*. Концентрация створок повышается до 2.1 млн/г.

Более сильное обводнение зафиксировано около 660–250 кал. л.н. (инт. 40–105 см) (комплекс 9). Доля планктонных видов увеличивается до 49.7 %. Климатические условия оставались холодными, содержание арктобореальных видов составляет 29 %. Концентрация створок колеблется в пределах 1–4.7 млн/г. Кратковременное обмеление озера фиксируется 380–350 кал. л.н. (инт. 55–60 см). Здесь содержание планктонных видов снижается до 8.1 %, растет участие *Eunotia paludosa*, *E. nymanniana*, способных обитать при незначительном увлажнении [Dam et al., 1994].

Последующее развитие озера происходило в условиях прогрессирующего обмеления. В комплексе 10 (инт. 0–40 см) преобладают виды обрастаний (до 77 %), доминируют *Eunotia paludosa*, *E. glacialis*, субдоминантами являются *Eunotia nymanniana*, *Encyonema paucistriatum*, что может свидетельствовать о слабом увлажнении. В кровле повышается

содержание донного *Navicula angusta*, распространенного преимущественно в олиготрофных водах и моховом дерне горных районов [Krammer, Lange-Bertalot, 1986]. Значительное обводнение озера фиксируется в первой половине XIX в. – содержание планктонных видов (*Aulacoseira laevissima*, *A. italica*, *A. subarctica*, *A. crenulata*) повышается до 25.4 %. Также значительно повышается содержание *Tabellaria flocculosa*. Менее сильное обводнение озера проявилось в первой половине XX в. – доля планктонных диатомей в инт. 10–15 см составляет 6.3 %. Доля планктонных видов снижается до 1.2 % в кровле, что указывает на полное зарастание озера. В торфе, образованном в фазы обводнения, концентрация створок достигает 3.5 млн/г., в остальных слоях не более 2 млн/г. В целом, в комплексе преобладают ацидофилы и галофобы. Содержание арктобореальных видов снижается от 32.7 до 10 % в кровле.

### Обсуждение результатов

Изучение двух разрезов органических отложений в озерных котловинах показало, что оползни на склонах Солонцовского палеовулкана были многофазными образованиями, малые озера имеют разный возраст. Озеро Изюбрины Солонцы (4.4 тыс. кал. л.н.) более древнее, чем оз. Нижнее (2.6 тыс. кал. л.н.), ход их развития был метахронным, скорее всего за счет разного высотного положения, но тенденции довольно близкие и отражают климатическую ритмику в позднем голоцене в среднегорье Центрального Сихотэ-Алиня (рис. 5). Главным фактором, определяющим развитие озер и особенности осадконакопления, являлось изменение увлажнения, которое контролировалось количеством атмосферных осадков. Растительный покров болот и микрофлора в водоемах сильно нарушались из-за изменения обводненности, о чем свидетельствует частая смена низших растений-торфообразователей, имеющих разные трофические предпочтения, и диатомовых комплексов с доминированием видов, предпочитающих разные местообитания и реагирующих на геохимическую обстановку. Покров сосудистых растений на болотах очень слабо реагировал на климатические смены: на протяжении формирования всего разреза господствовали 2–3 вида осок и пушиц

с гидрофитами. Вследствие весьма значительных сезонных колебаний уровня болотных вод, присущих данному региону, переувлажнение периодически менялось от застойного, сопро-

вождавшегося вспышкой развития гипновых мхов, до слабо проточного, на что указывает периодически появляющийся терригенный материал.

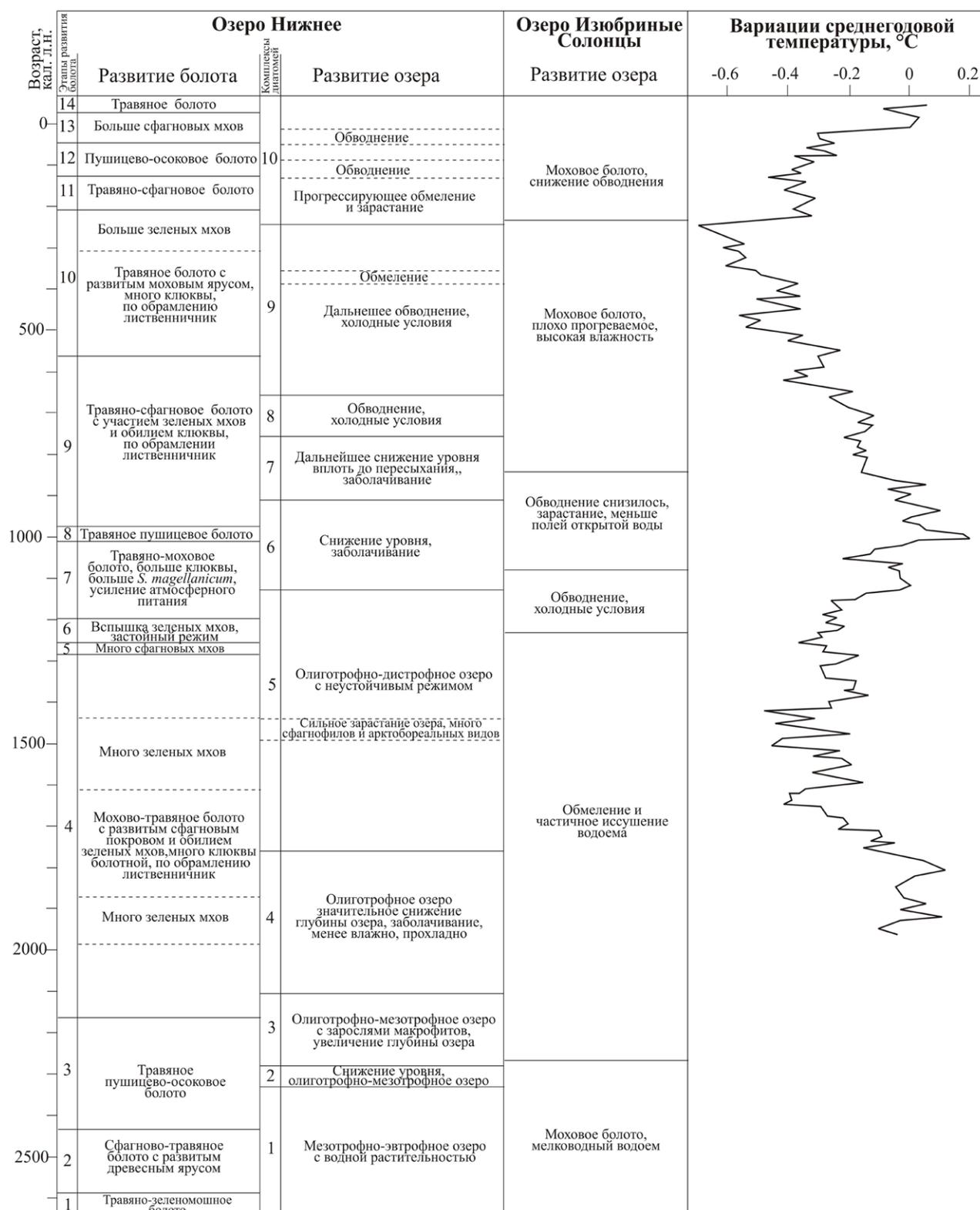


Рис. 5. Развитие Солонцовских озер в позднем голоцене. Вариации среднегодовой температуры для северного полушария (90–30 °C с.ш.) приведены по [Ljungqvist, 2010].

Fig. 5. Development of Solontsovskie Lakes in the Late Holocene. Annual temperature variations for Northern Hemisphere (90–30 °C N) according to [Ljungqvist, 2010].

Образование оз. Нижнее и начало торфонакопления происходило в похолодание, имевшее глобальный масштаб (2.8–2.6 тыс. кал. л.н.) и сопровождавшееся в Азии снижением увлажнения [Wanner et al., 2011]. Для Северо-Восточного Китая установлено, что в это время был ослаблен летний муссон [Li et al., 2011; Chen et al., 2015; Stebich et al., 2015]. В Нижнем Приамурье особенно засушливыми были условия около 2570 кал. л.н. [Базарова и др., 2018a]. Горные озера и болота на юге Сихотэ-Алиня по-разному развивались в похолодание. Снижение увлажнения 2735–2040 кал. л.н. отмечено на болотном массиве урочища Мута (абс. высота 570 м), расположенном на главном водоразделе [Razjigaeva et al., 2019]. Прогрессирующее уменьшение глубины отмечено 3010–2630 кал. л.н. для палеоозера, существовавшего на месте Ларченкова болота, Шкотовское плато (абс. высота 730 м) [Разжигаета и др., 2016]. На Сергеевском плато (абс. высота около 900 м) торфяники на месте палеоозера развивались в холодных влажных условиях [Разжигаета и др., 2019б].

На начальном этапе оз. Нижнее представляло собой мезотрофно-эвтрофный водоем, более обводненный, чем оз. Изюбриные Солонцы. Обводнение котловины здесь обусловлено локальными геоморфологическими причинами. Вода в озере была слабощелочной, что, по-видимому, связано с составом грунтов. В сухие сезоны происходили масштабные пожары (2590–2430 кал. л.н.). Активизация пожаров в это время отмечена и для бассейна р. Бикин, и на южном Сихотэ-Алине [Базарова и др., 2017; Разжигаета и др., 2019б].

Снижение уровня оз. Нижнее зафиксировано в кратковременное похолодание 2330–2280 кал. л.н. Изменилась геохимическая обстановка – величина рН понизилась. Снизилась продуктивность диатомей. Резкое повышение роли галофобов свидетельствует об усилении атмосферного питания. Около 2270 кал. л.н. началось падение уровня и зарастание оз. Изюбриные Солонцы, где по его обрамлению шло накопление древесного торфа [Разжигаета и др., 2017]. В это время в диатомовой флоре широкое развитие получили виды, способные обитать при незначительном увлажнении: донный *Pinnularia borealis*, а из обрамлений ацидофил *Eunotia praerupta*. По оценкам, сделанным для побережья (бухта Лангоу I),

температуры достигали минимума (около 1 °С ниже современного) около 2280 кал. л.н. [Назарова и др., 2021]. Сильные морозы и снегопады в IV–III вв. до н.э. отмечены в летописях Китая [Клименко, 2009].

Максимальное обводнение оз. Нижнее было около 2280–2110 кал. л.н., что совпадает с небольшим потеплением [Микишин и др., 2008]. В озере была вспышка развития диатомовых водорослей, особенно планктона. Показатели рН были близки к нейтральным. На болоте исчезли сфагновые и зеленые мхи. Шло накопление травяного торфа. Минерализация торфа, возможно, повысилась за счет усиления плоскостного смыва. Обводнение около 2370–2150 кал. л.н. отмечалось на марях западного макросклона Центрального Сихотэ-Алиня (бассейн р. Бикин) и южнее на марях Сергеевского плато (2380–2130 кал. л.н.) [Разжигаета и др., 2019 а, б].

Постепенное снижение уровня озера около 2110–1760 кал. л.н. происходило в более прохладных условиях. В обилии появились кладоцеры. Пик содержания планктонных диатомей позволяет выделить кратковременную фазу обводнения на фоне потепления около 1990–1930 кал. л.н. В это же время на болоте широкое развитие получили зеленые мхи *Limprichtia revolvens*, *Scorpidium scorpioides*, последний вид приурочен к всегда обводненным участкам болот [Игнатов, Игнатова, 2004]. С 1870 кал. л.н. на болоте в обилии развивались раковинные амебы, характерные для сильно обводненных условий, в том числе сфагнофилы. На Сергеевском плато 2130–1820 кал. л.н. существовало хорошо обводненное болото, насыщенное гуминовыми кислотами [Разжигаета и др., 2019б].

В отличие от оз. Изюбриные Солонцы, которое было относительно стабильным 2270–1230 кал. л.н. с тенденцией обмеления и иссушения, оз. Нижнее 1761–1133 кал. л.н. имело нестабильный режим (рис. 5). Около 1710 кал. л.н. изменилась геохимическая обстановка – снизилась величина рН (до 4.9). На холодные условия указывает развитие устойчивого сфагнового покрова (1870–1550, 1390–1340 кал. л.н.). Начало этого этапа совпало с похолоданием, которое наблюдалось в других регионах мира около 1750 кал. л.н. [Wanner et al., 2008]. Пик похолодания в районе Солонцовских озер, сопровождавшийся

существенным сокращением количества атмосферных осадков и вызвавший короткий период сильного зарастания озера около 1500–1440 кал. л.н., сопоставляется с окончанием глобального холодного события (1650–1450 кал. л.н.), сопровождавшегося в Азии иссушением [Клименко, 2009; Wanner et al., 2008, 2011]. В это время (1600–1300 кал. л.н.) зафиксировано ослабление летнего муссона [Li et al., 2011]. Некоторые авторы границы этого похолодания рассматривают в более широком диапазоне – 1750–1350 кал. л.н. [Ljungqvist, 2010]. Похолодание проявилось в Приморье [Микишин и др., 2008] и на Сахалине [Микишин, Гвоздева, 2016; Leire et al., 2015], на Японских островах выделена холодная стадия Кофун (1760–1220 кал. л.н.) [Sakaguchi, 1983].

Последующее развитие оз. Нижнее отражает сложную климатическую ритмику при переходе к малому оптимуму голоцена. Кратковременное похолодание около 1290–1260 кал. л.н. привело к расцвету сфагновых мхов. Возможно, за счет этого возросли и скорости торфонакопления. Снижение уровня озера 1260–1200 кал. л.н. привело к вспышке развития по обрамлению озера зеленого мха *Limprichtia revolvens* и формированию гипнового торфа. В это время (1230 кал. л.н.) отмечена фаза обводнения оз. Изюбриные Солонцы [Разжигаета и др., 2017]. Около 1260 кал. л.н. начался длительный период с обильным речным стоком и сильными наводнениями в бассейне р. Бикин [Разжигаета и др., 2019а].

Потепление, которое сопоставляется с малым оптимумом голоцена, выделяется по данным спорово-пыльцевого анализа отложений оз. Изюбриные Солонцы около 1080–810 кал. л.н. Около 1130–910 кал. л.н. уровень оз. Нижнее снизился, оно стало активно зарастать. На болоте увеличилась роль травяного яруса. Среди мхов стало больше *Sphagnum divinum*, характерного для мезотрофных болот. Около 1010–980 кал. л.н. резко снижается количество зеленых мхов. Для этого периода отмечаются признаки пожаров на окружающих территориях (1130–1100, 1070–1040, 1010–980 кал. л.н.). Сильные пожары в малый оптимум голоцена были и на юге Сихотэ-Алиня [Разжигаета и др., 2019б], что, возможно, связано с активным освоением территории в средние века.

Снижение уровня и активное зарастание оз. Нижнее около 910–760 кал. л.н., вероятно, произошло при уменьшении температурного фона. Возможно, 910–870; 840–800 кал. л.н. озеро полностью зарастало. Снижение обводнения оз. Изюбриные Солонцы происходило 960–840 кал. л.н. Здесь выделяется холодный эпизод около 840–810 кал. л.н., в районе озера произошел небольшой пожар.

Обводнение оз. Нижнее началось при смене климатического режима 760–660 кал. л.н. и особенно в малый ледниковый период 660–250 кал. л.н. По-видимому, в это время происходило усиление циклонической активности. В диатомовой флоре повышалось участие арктобореальных видов. Условия были холодные и влажные, на болоте большое развитие получают сфагновые мхи, почти исчезает *S. divinum*. Развитие зеленого мха *Meesia trifaria* также указывает на усиление грунтового питания. В Центральном Сихотэ-Алине условия в первой половине периода были более холодными, как и в других континентальных районах юга Дальнего Востока [Базарова и др., 2014; Разжигаета и др., 2019 а, б].

Понижение доли арктобореальных видов позволяет выделить несколько кратковременных более теплых эпизодов 660–620, 530–500, 440–410 кал. л.н. Как правило, в это время увеличивалась доля фитопланктона. Пики содержания арктобореальных диатомей (690–660, 590–560, 470–440 кал. л.н.), по-видимому, отвечают трем минимумам солнечной активности, в том числе Вольфа, Шперера [Fagan, 2000].

С 590 кал. л.н. резко сокращается количество кладоцер, при дальнейшем заболачивании и зарастании озера они исчезают. На западном макросклоне 645–550, 490–420 кал. л.н. наблюдалось обводнение долин и усиление частоты наводнений, холодная сухая фаза выделяется около 420–220 кал. л.н. [Разжигаета и др., 2019а]. Кратковременное обмеление оз. Нижнее фиксируется 380–350 кал. л.н., возросло участие арктобореальных диатомей, большее развитие получил травяной ярус, участие сфагновых мхов резко сократилось. В это время на глобальных записях выделяется холодный эпизод [Fagan, 2000; Ljungqvist, 2010]. Около 350–290 кал. л.н. около озера произошел пожар. Несколько повысилась минерализация торфа. На болоте стало суше.

Прогрессирующее обмеление озера в последние 250 кал. л. обусловлено эндогенным развитием. Гидрологический режим в котловине был неустойчивым, снизилась величина рН. Уменьшение обводнения и рост содержания арктобореальных диатомей около 240–210 кал. л.н. позволяет предположить, что здесь проявился минимум Маундера (1645–1710 гг.). На болоте увеличилось количество и разнообразие зеленых мхов. После обмеления зафиксировано обводнение в первой половине XIX в. и менее значительное – в начале XX в.

### Заключение

Отложения Солонцовских озер являются природными высокоразрешающими архивами, позволяющими восстанавливать детальную летопись палеоклиматических событий в позднем голоцене. Сравнение данных по малым озерам показало, что оз. Нижнее более чутко реагировало на изменение гидроклиматических условий и показало высокую палеоклиматическую изменчивость. Озеро Изюбриные Солонцы было более стабильным, но развитие водоемов имело общие тенденции. Нестабильность климата в последние 2,6 тыс. кал. л. обусловила особенности гидрологического режи-

ма оз. Нижнее, что выразилось в частых сменах комплексов диатомей и торфообразующих растений. Прослежена последовательная смена трофности водоема. Озеро с мезотрофно-эвтрофным режимом становится олиготрофно-мезотрофным около 2330 кал. л.н., максимальную глубину и продуктивность оно имело около 2280–2110 кал. л.н.; стало олиготрофным около 2110 кал. л.н., а с 1760 кал. л.н. – олиготрофно-дистрофным. Длительный период условия были неустойчивыми, выделяются этапы обводнения и осушения вплоть до кратковременных эпизодов полного зарастания. Значительное снижение уровня озера наблюдалось в последнее тысячелетие. Заболачивание водоема особенно усилилось в последние 250 кал. л., снизились величины рН, по обрамлению развивается обводненное олиготрофно-дистрофное болото. Растительный покров болота также часто нарушался из-за изменения обводненности, о чем свидетельствует частая смена сфагновых мхов разных секций, имеющих разные трофические предпочтения. Фазы иссушения, как правило, соответствовали похолоданиям, исключением является малый ледниковый период, который характеризовался высоким увлажнением за счет роста атмосферных осадков.

### Список литературы

1. Базарова В.Б., Гребенникова Т.А., Орлова Л.А. **2014**. Динамика природной среды бассейна Амура в малый ледниковый период. *География и природные ресурсы*, 3: 124–132.
2. Базарова В.Б., Климин М.А., Копотева Т.А. **2018a**. Голоценовая динамика восточноазиатского муссона в Нижнем Приамурье (юг Дальнего Востока). *География и природные ресурсы*, 3: 124–133. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3\(124-133\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(124-133))
3. Базарова В.Б., Лящевская М.С., Макарова Т.Р., Орлова Л.А. **2018b**. Обстановки осадконакопления на поймах рек Приханкайской равнины в среднем-позднем голоцене (юг Дальнего Востока). *Тихоокеанская геология*, 37(1): 94–105. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2018-37-1-94-105>
4. Базарова В.Б., Разжигаяева Н.Г., Ганзей Л.А., Копотева Т.А., Мохова Л.М., Паничев А.М., Климин М.А. **2017**. Пирогенные события на юге Дальнего Востока в позднем плейстоцене–голоцене. *География и природные ресурсы*, 4: 122–132.
5. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. **2006**. *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды*. Тель-Авив: Pilies Studio, 498 с.
6. Белянин П.С., Белянина Н.И. **2018**. Эволюция долинных экосистем нижнего течения р. Бикин в позднем плейстоцене–голоцене. *География и природные ресурсы*, 4: 139–149. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4\(139-149\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-4(139-149))
7. Васильев Н.Г., Матюшкин Е.Н. (ред.) **1982**. *Растительный и животный мир Сихотэ-Алинского заповедника*. М.: Наука, 304 с.
8. Ветренников В.В. **1976**. *Геологическое строение Сихотэ-Алинского государственного заповедника и Центрального Сихотэ-Алия*. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 168 с.
9. Глезер З.И., Жузе А.П., Макарова И.В., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова-Порецкая В.С. (ред.) **1974**. *Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные)*. Т. 1. Л.: Наука, 403 с.
10. Давыдова И.Н. **1985**. *Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене*. Л.: Наука, 244 с.

11. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. **2004.** *Флора мхов средней части Европейской России. Fontinalaceae – Amblystegiaceae.* М.: КМК Scientific Press Ltd, т. 2: 609–944.
12. Клименко В.В. **2009.** *Климат: непрочитанная глава истории.* М.: МЭИ, 408 с.
13. Копотева Т.А., Купцова В.А. **2011.** Пирогенный фактор на маревых болотах Приамурья. *Вестник СВНЦ ДВО РАН*, 3: 37–41.
14. Короткий А.М. **2002.** Палинологические характеристики и радиоуглеродные датировки верхне-четвертичных отложений российского Дальнего Востока (низовья р. Амур, Приморье, о. Сахалин, Курильские острова). В кн.: *Позднечетвертичные растительность и климаты Сибири и российского Дальнего Востока (палинологическая и радиоуглеродная база данных).* Магадан: СВНЦ ДВО РАН, с. 257–369.
15. Куликова Г.Г. **1974.** *Краткое пособие к ботаническому анализу торфа.* М.: Изд-во МГУ, 94 с.
16. Курьина И.В. **2011.** Экология раковинных амёб олиготрофных болот южной тайги Западной Сибири как индикаторов водного режима. *Изв. Пензенского гос. пед. ун-та*, 25: 368–375.
17. Мазей Ю.А., Цыганов А.Н. **2006.** *Пресноводные раковинные амёбы.* М.: КМК, 300 с.
18. Мазей Ю.А., Цыганов А.Н., Митяева О.А., Бабешко К.В. **2013.** Раковинные амёбы в сфагновых болотах (по материалам заповедника «Приволжская степь»). *Изв. высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*, 3: 4–18.
19. Марченко Н.А. **1991.** Вертикальные градиенты метеоэлементов в Приморском крае и возможности экстраполяции данных метеостанций. *География и природные ресурсы*, 3: 138–143.
20. Назарова Л.Б., Разжигаева Н.Г., Головатюк Л.В., Бискаборн Б.К., Гребенникова Т.А., Ганзей Л.А., Мохова Л.М., Дикман Б. **2021.** Развитие экологических условий позднего голоцена в Восточном Приморье (Дальний Восток, Россия). *Сибирский экологический журнал*, 3: 274–290.
21. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. **2016.** Поздний субатлантик Южного Сахалина. *Успехи современного естествознания*, 9: 137–142.
22. Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Попов А.Н., Орлова Л.А. **2007.** Палеогеография озера Ханка в позднем голоцене. *Научное обозрение*, 2: 7–13.
23. Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Гвоздева И.Г., Попов А.Н., Кузьмин Я.В., Раков В.А., Горбаренко С.А. **2008.** Голоцен побережья Юго-Западного Приморья. *Научное обозрение*, 1: 8–27.
24. Паничев А.М., Попов В.К., Чекрыжов И.Ю., Голохваст К.С., Середкин И.В. **2012.** Кудуры Солонцовского палеовулкана в бассейне реки Таежная, Восточный Сихотэ-Алинь. *Успехи наук о жизни*, 5: 7–28.
25. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Мохова Л.М., Макарова Т.Р., Паничев А.М., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Старикова А.А. **2016.** Развитие ландшафтов Шкотовского плато Сихотэ-Алиня в позднем голоцене. *Изв. РАН. Серия геогр.*, 3: 65–80. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-3-65-80>
26. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Копотева Т.А., Мохова Л.М., Паничев А.М., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю., Климин М.А. **2017.** Изменения природной среды в позднем голоцене, зафиксированные в отложениях озера Изюбриные Солонцы, Сихотэ-Алинь. *Сибирский экологический журнал*, 4: 512–527. <https://doi.org/10.15372/SEJ20170411>
27. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Копотева Т.А., Климин М.А., Паничев А.М., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. **2019а.** Летопись речных паводков в предгорьях Сихотэ-Алиня за последние 2.2 тысячи лет. *Изв. РАН. Серия геогр.*, 2: 85–99. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019285-99>
28. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Копотева Т.А., Кудрявцева Е.П., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю., Климин М.А. **2019б.** Развитие природной среды среднегорья Южного Сихотэ-Алиня, запечатленное в разрезах торфяников Сергеевского плато. *Тихоокеанская геология*, 38(1): 13–31. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2019-38-1-13-31>
29. Разжигаева Н.Г., Гребенникова Т.А., Ганзей Л.А., Горбунов А.О., Пономарев В.И., Климин М.А., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. **2020.** Реконструкция палеотайфунов и повторяемости экстремальных паводков на юге острова Сахалин в среднем–позднем голоцене. *Геосистемы переходных зон*, 4(1): 46–70. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2020.4.1.046-070>
30. Харитонов В.Г. **2010.** *Конспект флоры диатомовых водорослей (Bacillariophyceae) Северного Охотоморья.* Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 189 с.
31. Цыганов А.Н., Бабешко К.В., Новенко Е.Ю., Малышева Е.А., Пейн Р.Д., Мазей Ю.А. **2017.** Количественная реконструкция гидрологического режима болот по ископаемым сообществам раковинных амёб. *Экология*, 2: 147–155. <https://doi.org/10.7868/S0367059717020081>
32. Blaauw M., Christen J.A. **2011.** Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6: 457–474. <https://doi.org/10.1214/11-BA618.30>
33. Buczkó K., Ognjanova-Rumenova N., Magyari E. **2010.** Taxonomy, morphology and distribution of some *Aulacoseira* taxa in glacial lakes in the South Carpathian region. *Polish Botanical J.*, 55(1): 149–163.

34. Chen R., Shen J., Li C., Zhang E., Sun W., Ji M. **2015**. Mid- to late-Holocene East Asian summer monsoon variability recorded in lacustrine sediments from Jingpo Lake, Northeastern China. *The Holocene*, 25: 454–468. <https://doi.org/10.1177/0959683614561888>
35. Dam H., van, Mertens A., Sinkeldam J. **1994**. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands J. of Aquatic Ecology*, 28: 117–133. <https://doi.org/10.1007/bf02334251>
36. Fagan B. **2000**. *The Little Ice Age. How climate made history 1300–1850*. New-York: Basic Books, 146 p.
37. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1986**. *Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae, in Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 876 p.
38. Krammer K., Lange-Bertalot H., **1991a**. *Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 576 p.
39. Krammer K., Lange-Bertalot H., **1991b**. *Bacillariophyceae. Teil 4: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 437 p.
40. Leipe C., Nakagawa T., Gotanda K., Müller S., Tarasov P. **2015**. Late Quaternary 731 vegetation and climate dynamics at the northern limit of the East Asian summer monsoon and 732 its regional and global-scale controls. *Quaternary Science Reviews*, 116: 57–17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.012>
41. Li C., Wu Ya., Hou X. **2011**. Holocene vegetation and climate in Northeast China revealed from Jingbo Lake sediment. *Quaternary International*, 229: 67–73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.015>
42. Lim J., Yang D-Y., Lee J-Y., Hong S-S., Um I.K. **2015**. Middle Holocene environmental change in central Korea and its linkage to summer and winter monsoon changes. *Quaternary Research*, 82(1): 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2015.04.003>
43. Ljungqvist F.C. **2010**. A new reconstruction of temperature variability in the extratropical Northern Hemisphere during the last two millennia. *Geografiska Annaler*, 92A: 339–351. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-0459.2010.00399.x>
44. Ramsey B.C. **2017**. Methods for summarizing radiocarbon datasets. *Radiocarbon*, 59(2), 1809–1833. <https://doi.org/10.1017/RDC.2017.108>
45. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Makarova T.R., Kudryavtseva E.P., Panichev A.M., Arslanov Kh.A. **2019**. Climate and human impact on vegetation in the upper part of the Ussuri River basin in Late Holocene, Russian Far East. *Geography, Environment, Sustainability*, 2(12): 162–172. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-44>
46. Reimer P. **2020**. Letter from the Guest Editor. *Radiocarbon*, 62(4): v–vii. <https://doi.org/10.1017/rdc.2020.99>
47. Sakaguchi Y. **1983**. Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation. *Bull. of the Department of Geography of the University of Tokyo*, 15: 1–31.
48. Stebich M., Rehfeld K., Schlütz F., Tarasov P.E., Liu J., Mingam J. **2015**. Holocene vegetation and climate dynamic of NE China based on the pollen record from Sihailongwan Maar Lake. *Quaternary Science Reviews*, 124: 275–289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.07.021>
49. Wanner H., Beer J., Bütikofer J., Crowley T.J., Cubasch U., Flückiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J.O., Küttel M., Müller S.A., Prentice I.C., Solomina O., Stocker T.F., Tarasov P., Wagner M., Widmann M. **2008**. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27: 1791–1828. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>
50. Wanner H., Solomina O., Grosjean M., Ritz S.P., Jetel M. **2011**. Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, 30: 3109–3123. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.07.010>

## References

1. Bazarova V.B., Grebennikova T.A., Orlova L.A. **2014**. Natural-environment dynamics within the Amur basin during the Neoglacial. *Geography and Natural Resources*, 35(3): 275–283. <https://doi.org/10.1134/s1875372814030111>
2. Bazarova V.B., Klimin M.A., Kopoteva T.A. **2018a**. Holocene dynamic of Eastern-Asia Monsoon in Lower Amur Area. *Geography and Natural Resources*, 39(3): 239–247. <https://doi.org/10.1134/s1875372818030071>
3. Bazarova V.B., Lyashchevskaya M.S., Makarova T.R., Orlova L.A. **2018b**. Environments of the middle-late Holocene sedimentation in the river flood-plains of the Prikhanka Plain (southern Far East). *Tikhookeanskaya Geologiya*, 37(1): 94–105. (In Russ.). <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2018-37-1-94-105>
4. Bazarova V.B., Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Kopoteva T.A., Mokhova L.M., Panichev A.M., Klimin M.A. **2017**. Pyrogenic events in the south of the Far East in the Late Pleistocene–Holocene. *Geography and Natural Resources*, 4: 122–132. (In Russ.). [https://doi.org/10.21782/gipr0206-1619-2017-4\(122-132\)](https://doi.org/10.21782/gipr0206-1619-2017-4(122-132))
5. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. **2006**. [*Biodiversity of the algae serving as environment indicators*]. Tel'-Aviv: Pilies Studio, 498 p.

6. Belyanin P.S., Belyanina N.I. **2018**. Evolution of the valley ecosystems in the Lower reach of the Bikin River in the Late Pleistocene and Holocene. *Geography and Natural Resources*, 39(4): 365–374. <https://doi.org/10.1134/S1875372818040108>
7. Vasil'ev N.G., Matyushkin E.N. (eds) **1982**. [*Flora and fauna of the Sikhote-Alin nature reserve*]. Moscow: Nauka, 304 p. (In Russ.).
8. Vetretnikov V.V. **1976**. [*Geological structure of the Sikhote-Alin state nature reserve and the Central Sikhote-Alin*]. Vladivostok: Dal'nevost. kn. izd-vo, 168 p.
9. Gleser S.I., Jousè A.P., Makarova I.V., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova-Poretzkaja V.S. (eds) **1974**. *Diatoms of the USSR (fossil and modern)*. Vol. 1. Leningrad: Nauka, 403 p.
10. Davydova I.N. **1985**. *Diatoms as indicators of environmental conditions in the Holocene water bodies*. Leningrad: Nauka, 244 p.
11. Ignatov M.S., Ignatova E.A. **2004**. *Moss flora of the Middle European Russia*. Vol. 2: *Fontinalaceae – Amblystegiaceae*. Moscow: KMK Scientific Press Ltd, p. 609–944.
12. Klimenko V.V. **2009**. *Klimat: neprochitannaya glava istorii [Climate: unread chapter of history]*. Moscow: MEI, 408 p.
13. Kopoteva T.A., Kuptsova V.A. **2011**. Fire in waterlogged open larch forests in the Amur r. Area. *Bull. of the North-East Scientific Center of FEB RAS*, 3: 37–41. (In Russ.).
14. Korotkiy A.M. **2002**. Palinologicheskie kharakteristiki i radiouglerodnye datirovki verkhnechetvertichnykh otlozheniy Rossiyskogo Dal'nego Vostoka (nizov'ya r. Amur, Primor'e, o. Sakhalin, Kuril'skie ostrova) [Palynological characteristics and radiocarbon dates of the Upper Quaternary deposits of the Russian Far East (the Lower Amur, Primorye, Sakhalin Island, Kuril Islands)]. In: *Pozdnechetvertichnye rastitel'nost' i klimaty Sibiri i Rossiyskogo Dal'nego Vostoka (palinologicheskaya i radiouglerodnaya baza dannykh) [The Late Quaternary vegetation and climate of Siberia and the Russian Far East (palynological and radiocarbon database)]*. Magadan: SVNTs DVO RAN, p. 257–369.
15. Kulikova G.G. **1974**. *Kratkoe posobie k botanicheskomu analizu torfa [A short guide to botanical analysis of peat]*. Moscow: Izd-vo MGU, 94 p. (In Russ.).
16. Kur'ina I.V. **2011**. Ecology of testate amoebae as hydrological regime indicators in oligotrophic peatlands in the southern taiga of Western Siberia. *Izv. Penz. gos. pedagog. univ. im. V.G. Belinskogo*, 25: 368–375. (In Russ.).
17. Mazey Yu.A., Tsyganov A.N. **2006**. [*Freshwater testate amoebae*]. Moscow: KMK, 300 p. (In Russ.).
18. Mazey Yu.A., Tsyganov A.N., Mityaeva O.A., Babeshko K.V. **2013**. [Sphagnum-dwelling testate amoebae (according to the materials of “The Volga steppe nature reserve”)]. *Izv. vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki*, 3: 4–18. (In Russ.).
19. Marchenko N.A. **1991**. [Vertical gradients of meteorological elements in Primorye and possibilities of extrapolating the weather stations data]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 3: 138–143. (In Russ.).
20. Nazarova L.B., Razjigaeva N.G., Golovatyuk L.V., Biskaborn B.C., Grebennikova T.A., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Diekmann B. **2021**. Reconstruction of environmental conditions in the eastern part of Primorsky Krai (Russian Far East) in the Late Holocene. *Contemporary Problems of Ecology*, 14(3): 218–230. <https://doi.org/10.1134/S1995425521030094>
21. Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G. **2016**. Late Subatlantic in the south of Sakhalin Island. *Advances in Current Natural Sciences*, 9: 137–142. (In Russ.).
22. Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Popov A.N., Orlova L.A. **2007**. [Paleogeography of Khanka Lake in the Late Holocene]. *Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]*, 2: 7–13. (In Russ.).
23. Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Gvozdeva I.G., Popov A.N., Kuz'min Ya.V., Rakov V.A., Gorbarenko S.A. **2008**. [Holocene of the Southwestern Primorye coast]. *Nauchnoe obozrenie [Scientific Review]*, 1: 8–27. (In Russ.).
24. Panichev A.M., Popov V.K., Cherkrijov I.Yu., Golokhvast K.S., Seryodkin I.V. **2012**. Kudurs of paleovolcano solontsoviy in the Tayojnaya river basin, East Sikhote-Alin. *Achievements in the Life Sciences*, 5: 7–28. (In Russ.).
25. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Makarova T.R., Panichev A.M., Kudryavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Starikoiva A.A. **2016**. The Development of Landscapes of the Shkotovo Plateau of Sikhote-Alin in the Late Holocene. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 3: 65–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-3-65-80>
26. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Kopoteva T.A., Mokhova L.M., Panichev A.M., Kudryavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu., Klimin M.A. **2017**. Environmental changes recorded in deposits of the Izyubrynye Solontsi Lake, Sikhote-Alin. *Contemporary Problems of Ecology*, 4: 441–453. <https://doi.org/10.1134/S1995425517040096>
27. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Kopoteva T.A., Klimin M.A., Panichev A.M., Kudryavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu. **2019a**. Paleoflood Records within Sikhote-Alin foothills during Last 2.2 ka. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 2: 85–99. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019285-99>

28. Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Mokhova L.M., Kopoteva T.A., Kudryavtseva E.P., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu., Klimin M.A. **2019b**. Development of the natural environment of midlands of the Southern Sikhote-Alin recorded in the Sergeev Plateau peat bogs. *Russian J. of Pacific Geology*, 13(1): 11–28. <https://doi.org/10.1134/S1819714019010056>
29. Razjigaeva N.G., Grebennikova T.A., Ganzey L.A., Gorbunov A.O., Ponomarev V.I., Klimin M.A., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu. **2020**. Reconstruction of paleotyphoons and recurrence of extreme floods in south Sakhalin Island in Middle–Late Holocene. *Geosistemy peredodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 4(1): 46–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2020.4.1.046-070>
30. Kharitonov V.G. **2010**. [Summary of diatom (*Bacillariophyceae*) flora of the northern coast of the Sea of Okhotsk]. Magadan: SVNTs DVO RAN, 189 p. (In Russ.).
31. Tsyganov A.N., Babeshko K.V., Malysheva E.A., Payne R.J., Mazei Y.A., Novenko E.Yu. **2017**. Quantitative reconstruction of peatland hydrological regime with fossil testate amoebae communities. *Russian J. of Ecology*, 48(2): 191–198. <https://doi.org/10.1134/S1067413617020084>
32. Blaauw M., Christen J.A. **2011**. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 6: 457–474. <https://doi.org/10.1214/11-BA618.30>
33. Buczkó K., Ognjanova-Rumenova N., Magyari E. **2010**. Taxonomy, morphology and distribution of some *Aulacoseira* taxa in glacial lakes in the South Carpathian region. *Polish Botanical J.*, 55(1): 149–163.
34. Chen R., Shen J., Li C., Zhang E., Sun W., Ji M. **2015**. Mid- to late-Holocene East Asian summer monsoon variability recorded in lacustrine sediments from Jingpo Lake, Northeastern China. *The Holocene*, 25: 454–468. <https://doi.org/10.1177/0959683614561888>
35. Dam H., van, Mertens A., Sinkeldam J. **1994**. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands J. of Aquatic Ecology*, 28: 117–133. <https://doi.org/10.1007/bf02334251>
36. Fagan B. **2000**. *The Little Ice Age. How climate made history 1300–1850*. New-York: Basic Books, 146 p.
37. Krammer K., Lange-Bertalot H. **1986**. *Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae, in Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 876 p.
38. Krammer K., Lange-Bertalot H., **1991a**. *Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 576 p.
39. Krammer K., Lange-Bertalot H., **1991b**. *Bacillariophyceae. Teil 4: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 437 p.
40. Leipe C., Nakagawa T., Gotanda K., Müller S., Tarasov P. **2015**. Late Quaternary 731 vegetation and climate dynamics at the northern limit of the East Asian summer monsoon and 732 its regional and global-scale controls. *Quaternary Science Reviews*, 116: 57–17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.012>
41. Li C., Wu Ya., Hou X. **2011**. Holocene vegetation and climate in Northeast China revealed from Jingbo Lake sediment. *Quaternary International*, 229: 67–73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.015>
42. Lim J., Yang D-Y., Lee J-Y., Hong S-S., Um I.K. **2015**. Middle Holocene environmental change in central Korea and its linkage to summer and winter monsoon changes. *Quaternary Research*, 82(1): 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2015.04.003>
43. Ljungqvist F.C. **2010**. A new reconstruction of temperature variability in the extratropical Northern Hemisphere during the last two millennia. *Geografiska Annaler*, 92A: 339–351. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-0459.2010.00399.x>
44. Ramsey B.C. **2017**. Methods for summarizing radiocarbon datasets. *Radiocarbon*, 59(2): 1809–1833. <https://doi.org/10.1017/RDC.2017.108>
45. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Makarova T.R., Kudryavtseva E.P., Panichev A.M., Arslanov Kh.A. **2019**. Climate and human impact on vegetation in the upper part of the Ussuri River basin in Late Holocene, Russian Far East. *Geography, Environment, Sustainability*, 2(12): 162–172. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2018-44>
46. Reimer P. **2020**. Letter from the Guest Editor. *Radiocarbon*, 62(4): v–vii. <https://doi.org/10.1017/rdc.2020.99>
47. Sakaguchi Y. **1983**. Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation. *Bull. of the Department of Geography of the University of Tokyo*, 15: 1–31.
48. Stebich M., Rehfeld K., Schlütz F., Tarasov P.E., Liu J., Mingam J. **2015**. Holocene vegetation and climate dynamic of NE China based on the pollen record from Sihailongwan Maar Lake. *Quaternary Science Reviews*, 124: 275–289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.07.021>
49. Wanner H., Beer J., Bütikofer J., Crowley T.J., Cubasch U., Flückiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J.O., Küttel M., Müller S.A., Prentice I.C., Solomina O., Stocker T.F., Tarasov P., Wagner M., Widmann M. **2008**. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27: 1791–1828. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.06.013>
50. Wanner H., Solomina O., Grosjean M., Ritz S.P., Jetel M. **2011**. Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, 30: 3109–3123. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.07.010>

**Об авторах**

РАЗЖИГАЕВА Надежда Глебовна (ORCID 0000-0001-7936-1797), доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, nadyar@tigdvo.ru

ГАНЗЕЙ Лариса Анатольевна (ORCID 0000-0002-2538-6603), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, lganzey@mail.ru

ГРЕБЕННИКОВА Татьяна Афанасьевна (ORCID 0000-0002-5805-391X), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, tagrebennikova@mail.ru

КОПОТЕВА Татьяна Андреевна (ORCID 0000-0003-4824-9959), кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ресурсов болот и леса, Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, kopoteva@ivep.as.khb.ru

КЛИМИН Михаил Анатольевич (ORCID 0000-0003-1329-5437), кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии почв, Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, m\_klimin@bk.ru

ЛЯШЕВСКАЯ Марина Сергеевна (ORCID 0000-0002-5624-3015), кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории палеогеографии и геоморфологии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, lyshevskay@mail.ru

ПАНИЧЕВ Александр Михайлович (ORCID 0000-0001-5223-443X), доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и охраны животных, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, sikhote@mail.ru

АРСЛАНОВ Хикматулла Адиевич (ORCID 0000-0002-2302-8175), доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Геоморфологические и палеогеографические исследования полярных регионов и Мирового океана», Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, arslanovkh@mail.ru

МАКСИМОВ Федор Евгеньевич (ORCID 0000-0002-9429-3216), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Геоморфологические и палеогеографические исследования полярных регионов и Мирового океана», Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, maksimov-fedor@yandex.ru

ПЕТРОВ Алексей Юрьевич (ORCID 0000-0002-7577-9114), инженер лаборатории «Геоморфологические и палеогеографические исследования полярных регионов и Мирового океана», Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, petrovalexey1987@gmail.com

**About the Authors**

RAZJIGAEVA Nadezhda G. (ORCID 0000-0001-7936-1797), Doctor of Geography, Principal Researcher, Laboratory of paleogeography and geomorphology, Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, nadyar@tigdvo.ru

GANZEY Larisa A. (ORCID 0000-0002-2538-6603), Cand. Sci. (Geography), Leading Researcher, Laboratory of paleogeography and geomorphology, Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, lganzey@mail.ru

GREBENNIKOVA Tatiana A. (ORCID 0000-0002-5805-391X), Cand. Sci. (Geography), Leading Researcher, Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, tagrebennikova@mail.ru

KOPOTEVA Tatiana A. (ORCID 0000-0003-4824-9959), Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of swamp and forest resources, Institute of Water and Ecology Problems, FEB RAS, Khabarovsk, kopoteva@ivep.as.khb.ru

KLIMIN Mikhail A. (ORCID 0000-0003-1329-5437), Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Soil Ecology, Institute of Water and Ecology Problems, FEB RAS, Khabarovsk, m\_klimin@bk.ru

LYASHCHEVSKAYA Marina S. (ORCID 0000-0002-5624-3015), Cand. Sci. (Geography), Leading Researcher, Laboratory of paleogeography and geomorphology, Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, lyshevskay@mail.ru

PANICHEV Alexander M. (ORCID 0000-0001-5223-443X), Doctor of Biology, Leading Researcher, Laboratory of animal ecology and protection, Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, sikhote@mail.ru

ARSLANOV Khikmatulla A. (ORCID 0000-0002-2302-8175), Doctor of Geology and Mineralogy, Leading Researcher, Laboratory "Geomorphology and quaternary palaeogeography of Polar Regions", Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, arslanovkh@mail.ru

MAKSIMOV Fedor E. (ORCID 0000-0002-9429-3216), Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Senior Researcher, Laboratory "Geomorphology and quaternary palaeogeography of Polar Regions", Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, maksimov-fedor@yandex.ru

PETROV Alexey Yu. (ORCID 0000-0002-7577-9114), Engineer, Laboratory "Geomorphology and quaternary palaeogeography of Polar Regions", Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, petrovalexey1987@gmail.com