

Coastal lakes of Southern Far East: climatic impact and natural hazards records



Razjigaeva N.G.* , Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Mokhova L.M., Makarova T.R.

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Radio St. 7, Vladivostok, 690041, Russia

ABSTRACT. The study of sediments of coastal lakes and palaeo-lakes in the southern Far East allowed us to identify several short-term paleoclimatic events in the transition “continent-ocean” zone. In the southern Kurils, palaeo-lakes that existed since the Late Glacial were found. Most of the lagoonal lakes were formed when sea level stabilized or declined slightly during the Holocene transgression. The most detailed data on hydroclimatic changes were obtained for the Middle-Late Holocene. The intensity of the summer monsoon and cyclogenesis activity associated with ocean and atmospheric anomalies in the Asia-Pacific region played a major role in the lake evolution. Sea water input to reservoirs occurred during extreme storms and tsunamis.

Keywords: lake evolution, hydroclimatic changes, volcanic ash falls, tsunami, extreme storms, Holocene

For citation: Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Mokhova L.M., Makarova T.R. Coastal lakes of Southern Far East: climatic impact and natural hazards records // *Limnology and Freshwater Biology*. 2024. - № 4. - P. 600-605. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-600

1. Introduction

Coastal lakes are widespread on the coast of the southern Far East. Their evolution is related to climatic changes, and sediments are among the most informative natural archives for environment reconstructions. The development of lakes on the marine coast is closely related to sea level fluctuations and lithodynamic processes in the coastal zone, as well as the manifestation of dangerous hydrological events: extreme storms and tsunamis. The identification of the connection between the evolution of coastal lakes and climatic changes on the basis of a multi-proxy study of lake sediments has been considered (Lozhkin et al., 2022; Nazarova et al., 2023, etc.). At the same time, the issues related to the Holocene atmospheric circulation anomalies near the northern limit of the East Asian monsoon are poorly developed. The aim of the present work is to provide new information on the relationship between the development of lakes on the sea coast of the southern Far East and hydroclimatic changes associated with the intensity of the summer monsoon and cyclogenesis activity, as well as to reveal the influence of catastrophic events (volcanic ash falls and paleotsunami) on the development of the lake ecosystems.

2. Materials and methods

The objects of study were sections of palaeo-lake sediments and peatlands around modern lakes in Primorye (9 sections) and in the Southern Kurils (Urup, Iturup, Kunashir, Shikotan, and Zeleny islands – 8 sections). Lithological, diatom, and pollen analyses were carried out. The chronology is based on radiocarbon dating performed at the Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University (St. Petersburg), and the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow), as well as tephrostratigraphy. Bayesian age models were constructed using the Bacon modeling program 4.2.2 in R. The tephra source was referenced to the chemical composition of volcanic glass determined at the V.G. Khlopin Radium Institute (St. Petersburg). The sections were studied along the profiles with leveling, and tsunami sediments were identified, the marine genesis of which was confirmed by diatom analysis.

3. Results and Discussion

Coastal barrier lakes in the southern Far East are the final stage of development of lagoons formed in different phases of the Holocene transgression. Palaeo-lakes are often found, the location of which is well

*Corresponding author.

E-mail address: nadyar@tigdvo.ru (N.G. Razjigaeva)

Received: June 01, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

Available online: August 26, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



expressed in the relief and occupied by bog communities. As a rule, organogenic sedimentation took place in such lakes. The development of accumulative forms occurred when sea level stabilized or declined slightly in the middle to late Holocene. On the Kuril Islands, lakes at the mouths of small rivers were formed by rapid overtopping of the watercourse mouths during extreme storms and did not pass through the lagoonal stage. Such a mid-Holocene palaeo-lakes were studied at the mouth of the Lesnaya River on Kunashir Island and on Aerodromnaya Bay, Shikotan Island. The lakes and surrounding vegetation were responsive to hydroclimatic changes, and events up to 80–100 years were highlighted, manifested in neighboring regions (Park et al., 2021). Short-time warming events were distinguished by decreases in arcto-boreal diatoms and an increased role of broadleaved species in forest vegetation. Highlighted events were compared to changes in solar radiation (Steinhilber et al., 2009) and Pacific Ocean surface temperature (SST) in the western tropical zone (Stott et al., 2004). One of the factors influencing hydroclimatic events was the activation of El Niño (Park et al., 2021).

In the south of Primorye, the stages of lake development were established and the factors determining their evolution were determined. The watering and depth of lakes were controlled, first of all, by the change of moistening associated with the amount of atmospheric precipitation. The lakes of the lagoon type underwent up to 6–8 stages of development closely related to sea level fluctuations. Thus, in the water body on the coast of the Krasnaya Bay (Russky Island), the highest salinity was recorded at the peak of the Holocene transgression, the brackish lake developed from ~5090 yr BP, and the reservoir became fresh ~4090 yr ago. Sedimentation rates decreased sharply ~3510 yr BP, that coincided with long dry period associated with weakening of the summer monsoon (Chen et al., 2015). Biogenic sedimentation began ~700 yr BP, and the reservoir became a marsh ~270 yr ago. Seawater invasions to the paleo-lake occurred during extreme storms and tsunamis. The palaeo-lakes on Peschany Peninsula and Shkot Island were formed due to the interlocking of two spits during the sea level decrease in the second half of the middle Holocene. On the Peschany Peninsula, the lake was formed during insignificant cooling ~6320 yr BP. It passed through 8 stages of development and existed until the middle of the late Holocene. Periods of cyclogenesis intensification, when terrigenous material was supplied to the reservoir, are distinguished. Redeposited freshwater diatoms from Cenozoic sub-basalt sediments were used as bioindicators of planar flushing activation during typhoons. Flushing was most active during the warm phases of the early Late Holocene. The drying phases of the reservoir coincided with cold events and were associated with a decrease in the intensity of the summer monsoon. Overgrowing of the palaeo-lake began ~5410 yr BP. The introduction of marine and brackish-water diatoms into the reservoir took place during extreme storms and tsunamis. Tsunami sands have been found only in sections of lacustrine sequences of Eastern Primorye.

In the south of the Kurils, two sections of palaeo-lakes sediments were found on the coast, which developed since the Late Glacial, when there was a land bridge connecting the Kurils and Hokkaido. On Kunashir Island, the palaeo-lake existed since 14 ka, and the water body passed through 14 stages of development. At the initial stage, diatomites were accumulated due to volcanic ash falls. Increased precipitation and wetter conditions were present from 10460–9690 yr BP. There was probably an increase in winter precipitation, as recorded in the growth of shrub pine pollen (*Pinus s/g Haploxylon*). The increase in river flow to the lake indicates more intensive cyclogenesis. On Zelenyi Island, the history of the coastal lake was reconstructed, the development of which was controlled not only by changes in hydration and sea level fluctuations, but also by tsunamis (Razjigaeva et al., 2022). The environmental conditions were influenced by neotectonic movements with a dipping trend and volcanic ash falls. The sources of tephra were Hokkaido volcanoes. The section includes some layers of tsunami sands. The lake formed ~13 ka ago and went through 12 stages of development. In the Younger Dryas, dry and wet phases are distinguished. The reservoir had its maximum depth at the beginning of the Holocene after the deposition of a thick tephra layer. Three phases of lake transformation into a lagoon have been identified, resulting from the destruction of the barrier landform during major tsunamis. Except for these cases, climate was the main factor leading to the sedimentary environment changes. An increase in humidification in the southern Kuril occurred around 5200–5100 yr BP and especially from 4340 yr BP, accompanying the beginning of a decreasing trend in SST in the western tropical Pacific (Stott et al., 2004). During this period, the role of the meridional atmospheric circulation and extratropical cyclogenesis in the northwestern part of the ocean and the Far East marginal seas increased.

4. Conclusions

The study of lake sediments has made it possible to identify a complex, short-time climatic rhythmic, that is important for understanding the interaction of factors determining climate in the transition zone “continent-ocean”. The lake records show that paleoclimatic wetting/drought anomalies on the islands were, in most cases, in antiphase with events in the continental part of the southern Far East. On the islands, the decrease in humidification occurred during periods of predominance of zonal types of atmospheric circulation. The increase of evaporation in warm periods resulted in more dry conditions. Cold periods with humidification anomalies of different signs were established on the islands and at the continental margin. It is assumed that the main cause was a change in the intensity and tracks of extratropical and tropical cyclones. The decrease in moisture content in the region is recorded in the global cooling of 2800–2500 yr BP; the Little Ice Age was wet both on the continental margin and on the islands. Lake sequences include interlayers of tsunami sands, which enabled the compilation of an event chronicle

for the past 3.5 ka in Primorye and 7 ka in the Southern Kurils. Sea water input during strong storms has been recorded.

Acknowledgements

The authors thank our colleagues for help in the field work. This research was performed in the framework of the state budget theme 122020900184-5 (Pacific Geographical Institute FEB RAS).

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

References

- Chen F., Xu Q., Chen J. et al. 2015. East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation. *Scientific Report* 5: 11186. DOI: [10.1038/srep11186](https://doi.org/10.1038/srep11186)
- Lozhkin A.V., Cherepanova M.V., Anderson P.M. et al. 2022. Glukhoye Lake: Middle to Late Holocene environments of Kunashir Island (Kuril Archipelago, Russian Far East). *Boreas* 51(2): 364–384. DOI: [10.1111/bor.12565](https://doi.org/10.1111/bor.12565)
- Nazarova L., Razjigaeva N.G., Ganzey L.A. et al. 2023. The Middle to Late Holocene environments on the Iturup Island (Kurils, North Western Pacific). *Quaternary International* 644–645: 5–20. DOI: [10.1016/j.quaint.2021.05.003](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.05.003)
- Park J., Park J., Yi S. et al. 2021. Holocene hydroclimate reconstruction based on pollen, XRF, and grain-size analysis and its implications for past societies of the Korean Peninsula. *The Holocene* 31(9): 1489–1500. DOI: [10.1177/09596836211019115](https://doi.org/10.1177/09596836211019115)
- Razhigaeva N.G., Grebennikova T.A., Ganzey L.A. et al. 2022. Response of the lake ecosystem of the Lesser Kuril Ridge to paleoclimatic and seismic Events. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics* 58(11): 1377–1397. DOI: [10.1134/S0001433822110068](https://doi.org/10.1134/S0001433822110068)
- Steinhilber F., Beer J., Fröhlich C. 2009. Total solar irradiance during the Holocene. *Geophysics Research Letters* 36(19): L19704. DOI: [10.1029/2009GL040142](https://doi.org/10.1029/2009GL040142)
- Stott L., Cannariato K., Thunell R. et al. 2004. Decline of surface temperature and salinity in the western tropical Pacific Ocean in the Holocene epoch. *Nature* 431: 56–59. DOI: [10.1038/nature02903](https://doi.org/10.1038/nature02903)

Береговые озера юга Дальнего Востока: воздействие климатических изменений и запись природных опасных событий



Разжигаева Н.Г.*, Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Макарова Т.Р.

Тихоокеанский институт географии ТИГ ДВО РАН, ул. Радио, 7, Владивосток, 690041, Россия

АННОТАЦИЯ. Изучение отложений береговых озер и палеоозер юга Дальнего Востока позволило выделить ряд короткопериодных палеоклиматических событий в переходной зоне. На юге Курил найдены палеоозера, которые существовали с позднеледниковья. Большинство озер имеет лагунное происхождение и образовалось при стабилизации уровня моря или его небольшом снижении в голоценовую трансгрессию. Наиболее детальные данные по изменению увлажнения получены для среднего-позднего голоцена. Большую роль в эволюции водоемов играли интенсивность летнего муссона и особенности циклогенеза, связанные с аномалиями в океане и атмосфере Азиатско-Тихоокеанского региона. Заплеск морской воды в водоемы происходил во время экстремальных штормов и цунами.

Ключевые слова: эволюция озер, гидроклиматические изменения, вулканические пеплопады, цунами, экстремальные шторма, голоцен

Для цитирования: Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Макарова Т.Р. Береговые озера юга Дальнего Востока: воздействие климатических изменений и запись природных опасных событий // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 600-605. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-600

1. Введение

Береговые озера широко распространены на побережье юга Дальнего Востока. Их эволюция связана с климатическими изменениями, а осадки являются одними из наиболее информативных палеоархивов для реконструкций развития природной среды. Развитие озер на побережье тесно связано с колебаниями уровня моря и литодинамическими процессами в береговой зоне, а также проявлением опасных гидрологических событий: экстремальных штормов и цунами. Выявление связи эволюции береговых озер с климатическими изменениями на основе комплексного изучения озерных осадков рассмотрено (Lozhkin et al., 2022; Nazarova et al., 2023 и др.). Вместе с тем вопросы, касающиеся аномалий атмосферной циркуляции в голоцене у северной границы распространения восточноазиатского муссона слабо разработаны. Цель настоящей работы – представить новую информацию о связи развития озер морского побережья юга Дальнего Востока с гидроклиматическими изменениями, связанными с интенсивностью летнего муссона и активностью циклогенеза, а также выяв-

ление влияния катастрофических событий (вулканические пеплопады и палеоцунами) на развитие озерных экосистем.

2. Материалы и методы

Объектами изучения были разрезы отложений палеоозер и болотных массивов в обрамлении современных озер в Приморье (9 разрезов) и на Южных Курилах (о-ва Уруп, Итуруп, Кунашир, Шикотан, Зеленый – 8 разрезов). Проведены литолого-фациальный диатомовый и спорово-пыльцевой анализы. Хронология основана на данных радиоуглеродного датирования, выполненного в Институте наук о Земле СПбГУ (г. Санкт-Петербург) и ГИН РАН (г. Москва), и тефростратиграфии. Возрастные модели построены по программе Vascon 4.2.2. Привязка источника тефры сделана по химическому составу вулканического стекла, определенному в Радиовом институте им. В.Г. Хлопина (г. Санкт-Петербург). Разрезы изучались по профилям с проведением нивелирования, с выделением отложений цунами, морской генезис которых подтверждался диатомовым анализом.

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: nadyar@tigdvo.ru (Н.Г. Разжигаева)

Поступила: 01 июня 2024; Принята: 08 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



3. Результаты и обсуждение

Береговые барьерные озера юга Дальнего Востока, являются завершающей стадией развития лагун, образованных в разные фазы голоценовой трансгрессии. Часто встречаются палеозера, местоположение которых хорошо выражено в рельефе и занято болотными сообществами. Как правило, в таких озерах шло органогенное осадконакопление. Развитие аккумулятивных форм происходило при стабилизации уровня моря или при его небольшом снижении в среднем-позднем голоцене. На Курильских островах в приустьевых частях низкопорядковых водотоков озера возникали за счет быстрого перекрытия устья водотоков во время экстремальных штормов и не проходили лагунной стадии. Такое среднеголоценовое палеозеро изучено в устье р. Лесная на о. Кунашир и на бух. Аэродромная, о. Шикотан. Озера и окружающая растительность чутко реагировали на гидроклиматические изменения, выделены события вплоть до 80–100-летнего масштаба, проявившиеся в соседних регионах (Park et al., 2021). Короткопериодные потепления выделялись по снижению содержания арктобореальных диатомей и увеличению роли широколиственных пород в лесной растительности. Выделенные события сопоставлены с изменением солнечной радиации (Steinilber et al., 2009) и температуры поверхности Тихого океана (ТПО) в тропической зоне (Stott et al., 2004). Одним из факторов, влияющих на гидроклиматические события, была активизация Эль-Ниньо (Park et al., 2021).

На юге Приморья установлены стадии развития озер и определены факторы, определяющие их эволюцию. Обводнение и глубина озер контролировалась, в первую очередь, изменением увлажнения, связанного с количеством атмосферных осадков. Озера лагунного типа прошли до 6–8 стадий развития тесно связанных с колебаниями уровня моря. Так в водоеме на побережье бух. Красной (о. Русский) наибольшая соленость отмечена на пике голоценовой трансгрессии, солоноватое озеро развивалось с ~5090 кал. л.н., водоем стал пресным ~4090 кал. л.н. Скорости осадконакопления резко снизились ~3510 л.н., что совпало с сухим периодом, связанным с уменьшением интенсивности летнего муссона (Chen et al., 2015). Биогенное осадконакопление началось ~700 л.н., водоем превратился в болото ~270 кал. л.н. Заплеск морской воды в палеозеро происходил во время экстремальных штормов и цунами. На п-ве Песчаный и о. Шкота палеозера образовались за счет смыкания кос с двусторонним питанием при снижении уровня моря во второй половине среднего голоцена. На п-ове Песчаный озеро образовалось при незначительном похолодании ~6320 л.н., прошло 8 этапов развития и существовало до середины позднего голоцена. Выделены периоды усиления циклогенеза, когда в водоем поставлялся терригенный материал. Переотложенные пресноводные диатомей из подбазальтовых отложений использовались, как биоиндикаторы активизации плоскостного смыва во время тайфунов. Наиболее активным плоскостной

смыв был в теплые фазы начала позднего голоцена. Фазы иссушения водоема совпадали с похолоданиями и связаны с снижением интенсивности летнего муссона. Заращение палеозера началось ~5410 л.н. Занос в водоем морских и солоноватоводных диатомей проходил в экстремальные шторма и цунами. Цунамигенные пески найдены только в разрезах озерных отложений Восточного Приморья.

На юге Курил на побережье обнаружены два разреза палеозер, которые развивались с позднеледниковья, когда существовал сухопутный мост, соединявший Курилы и Хоккайдо. На о. Кунашир палеозеро существовало 14 тыс. лет, водоем прошел 14 стадий развития. На начальном этапе накапливались диатомиты, что было связано с вулканическими пеплопадами. Рост количества атмосферных осадков и более влажные условия были 10460–9690 л.н. Вероятно, увеличивалось количество зимних осадков, зафиксированное в росте пыльцы кедрового стланика. Увеличение речного стока и проточности озера свидетельствует о более интенсивном циклогенезе. На о. Зеленый восстановлена история берегового озера, развитие которого контролировалось не только изменением увлажнения и колебаниями уровня моря, а также цунами (Разжигаева и др., 2022). На экологическую обстановку оказывали влияние неотектонические движения с тенденцией к погружению и вулканические пеплопады. Источниками тефры были вулканы Хоккайдо. Разрез включает прослой цунамигенных песков. Озеро образовалось около 13000 л.н. и прошло 12 стадий развития. В позднем дриасе выделяется сухая и влажная фазы. Максимальную глубину водоем имел в начале голоцена после выпадения большого объема тефры. Установлены три фазы, когда озеро превращалось в лагуну, вызванные разрушением пересыпи во время крупных цунами. За исключением этих случаев, основным фактором, приводящим к изменению обстановок, был климат. Рост увлажнения на юге Курил произошел около 5200–5100 л.н. и особенно с 4340 л.н., сопутствующий началу тренда уменьшения ТПО на западе тропической зоны Тихого океана (Stott et al., 2004). В этот период усиливалась роль меридиональной циркуляции атмосферы и внетропического циклогенеза в северо-западной части океана и дальневосточных окраинных морях.

4. Заключение

Изучение озерных отложений позволило выделить сложную короткопериодную климатическую ритмику, что важно для понимания сложного взаимодействия факторов, определяющих климат в переходной зоне. Озерные летописи показывают, что палеоклиматические аномалии увлажнения/засух на островах в большинстве случаев оказались в противофазе с событиями в континентальной части юга Дальнего Востока. На островах уменьшение увлажнения происходило в периоды преобладания зональных типов циркуляции атмосферы. Увеличение испарения в теплые периоды приво-

дило к более засушливым условиям. Установлены холодные периоды с аномалиями увлажнения разных знаков на островах и на окраине континента. Предполагается, что основной причиной было изменение интенсивности и траекторий перемещения внетропических и тропических циклонов. Снижением увлажнения в регионе зафиксировано в глобальное похолодание 2800–2500 л.н., малый ледниковый период был повсеместно влажным. Озерные разрезы включают прослойки цунамигенных песков, позволивших составить летопись событий в Приморье за последние 3.5 тыс. лет, а на Южных Курилах за 7 тыс. лет. Зафиксирован заплеск морской воды во время сильных штормов.

Благодарности

Авторы благодарят коллег, участвовавших в полевых работах. Исследование выполнено в рамках государственного задания ТИГ ДВО РАН 122020900184-5.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Разжигаева Н.Г., Гребенникова Т.А., Ганзей Л.А. и др. 2022. Отклик озерной экосистемы Малой Курильской гряды на палеоклиматические и сейсмические события. *Геофизические процессы и биосфера* 21(4): 53–73. DOI: [10.21455/GPB2022.4-4](https://doi.org/10.21455/GPB2022.4-4)

Chen F., Xu Q., Chen J. et al. 2015. East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation. *Scientific Report* 5: 11186. DOI: [10.1038/srep11186](https://doi.org/10.1038/srep11186)

Lozhkin A.V., Cherepanova M.V., Anderson P.M. et al. 2022. Glukhoye Lake: Middle to Late Holocene environments of Kunashir Island (Kuril Archipelago, Russian Far East). *Boreas* 51(2): 364–384. DOI: [10.1111/bor.12565](https://doi.org/10.1111/bor.12565)

Nazarova L., Razjigaeva N.G., Ganzey L.A. et al. 2023. The Middle to Late Holocene environments on the Iturup Island (Kurils, North Western Pacific). *Quaternary International* 644–645: 5–20. DOI: [10.1016/j.quaint.2021.05.003](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.05.003)

Park J., Park J., Yi S. et al. 2021. Holocene hydroclimate reconstruction based on pollen, XRF, and grain-size analysis and its implications for past societies of the Korean Peninsula. *The Holocene* 31(9): 1489–1500. DOI: [10.1177/09596836211019115](https://doi.org/10.1177/09596836211019115)

Steinhilber F., Beer J., Fröhlich C. 2009. Total solar irradiance during the Holocene. *Geophysics Research Letters* 36(19): L19704. DOI: [10.1029/2009GL040142](https://doi.org/10.1029/2009GL040142)

Stott L., Cannariato K., Thunell R. et al. 2004. Decline of surface temperature and salinity in the western tropical Pacific Ocean in the Holocene epoch. *Nature* 431: 56–59. DOI: [10.1038/nature02903](https://doi.org/10.1038/nature02903)