

ПРОЯВЛЕНИЕ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГОЛОЦЕНА В ГОРАХ ОСТРОВА ИТУРУП: СВЯЗЬ С ГЛОБАЛЬНЫМИ И РЕГИОНАЛЬНЫМИ СОБЫТИЯМИ

Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Макарова Т.Р., Мохова Л.М., Гребенникова Т.А.,
Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

Аннотация. На основе комплексного изучения разрезов озерно-болотных отложений в горах Центрального Итурупа получена летопись мультидекадных палеоклиматических событий в голоцене, включая плохо изученные рубежи раннего голоцена. На развитие малых озер и болотных массивов большое влияние оказывало изменение количества атмосферных осадков, в том числе зимних. Выделены особенности развития ландшафтов в оптимум голоцена. Наиболее холодными условия были 2900–2600 и 1500–1300 кал. л.н. Выделенные потепления и похолодания сопоставлены с глобальными событиями, проявившимися в северном полушарии. Показана связь с региональными особенностями, влияющих на климат островов.

Ключевые слова: торфяник, диатомовый анализ, спорово-пыльцевой анализ, тephростратиграфия, циклогенез, Курильские острова

HOLOCENE SHORT- TERM CLIMATIC CHANGES IN THE MOUNTAINS OF ITURUP ISLAND: RELATION TO GLOBAL AND REGIONAL EVENTS

Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Makarova T.R., Mokhova L.M., Grebennikova T.A.
Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok

Abstract. Multi-proxy study of lacustrine and peat bog sequences in the mountains of Central Iturup, aimed at the reconstruction of multidecadal paleoclimatic events in the Holocene, including poorly studied early Holocene, has been obtained. The development of small lakes and peatlands was greatly influenced by changes in the atmospheric precipitation, including snowfall. The peculiarities of landscape development during the Holocene thermal maximum were highlighted. The coldest conditions were 2900-2600 and 1500-1300 cal. yr BP. The identified warmings and coolings were compared with global events manifested in the Northern Hemisphere. The connection with regional peculiarities affecting the climate of the islands is shown.

Keywords: peat bog, diatom analysis, pollen analysis, tephrostratigraphy, cyclogenesis, Kuril islands

Введение. Особую ценность для палеоклиматических реконструкций представляют разрезы, расположенные в глубине островов, в горных районах, где нет влияния колебаний уровня моря на положение грунтовых вод и можно более корректно выйти на изменение поступления атмосферных осадков в разные периоды голоцена. В отличие от побережья [1, 8, 11] палеогеографических записей развития ландшафтов во внутренних частях Курильских островов мало. Такие исследования были проведены для горного плато в центральной части о. Итуруп [2]. Целью работы является: 1) восстановление короткопериодных разнонаправленных климатических изменений на основе изучения долинного торфяника у подножья влк. Баранского, 2) анализ причин изменения увлажнения и связи с климатоформирующими процессами в Тихоокеанском регионе. Задачи включали: выделение этапов развития озерно-болотных обстановок, восстановление фаз развития болотной и лесной растительности, оценку влияния азональных факторов на развитие локальных ландшафтов.

Материалы и методы. Палеоклиматические реконструкции проведены на основе комплексного изучения разреза долинного торфяника в нижней части постройки влк. Баранского (абс. отметка ~400 м н.у.м.) (рис. 1). Выполнены диатомовый и спорово-пыльцевой анализы по стандартным методикам. Изучен химический состав вулканического стекла из прослоев тефры. Возраст событий определен на основе модели «глубина-возраст» по программе Васон 4.4.2 с функцией «slump» [3], построенную с использованием 11^{14}C -датировок. Радиоуглеродное датирование проведено в Институте наук о Земле СПбГУ.

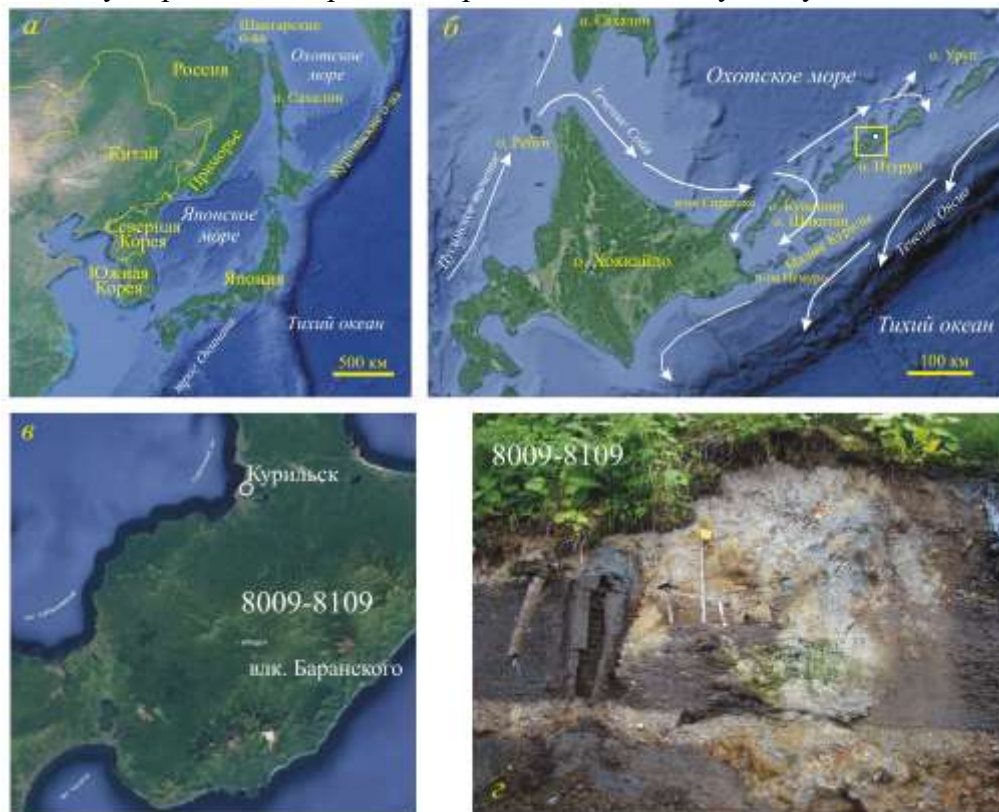


Рис. 1. Район работ: а-в – положение о. Итуруп и изученного разреза, г – фото нижней части изученного разреза торфяника, включающей отложения двух лахаров.

Результаты и обсуждение. Согласно возрастной модели торф начал накапливаться около 9670 кал. л.н. в условиях потепления и нарастающего увлажнения. Скорости торфообразования менялись от 0.11 до 0.72 мм/год, максимальные были на завершающей стадии после 2620 кал. л.н. Торфяник был дважды перекрыт отложениями лахаров (возраст 6020 и 4170 кал. л.н.), после второго лахара перерыв в торфяникосложении достигал ~450 лет. В разрезе обнаружено 13 прослоев тефры андезитового и андезитобазальтового состава близлежащих вулканов, верхняя часть торфяника перекрыта слоем (до 65 см) переработанной тефры влк. Баранского. Возраст подстилающего торфа оценивается 1090 кал. лет.

По данным диатомового анализа установлено 15 стадий развития озерно-болотных обстановок с чередованием болот с разным увлажнением вплоть до образования небольших озерных водоемов (7810–5210, 2640–2090 кал. л.н.). Большую роль в обводнении котловины играли сильные снегопады с образованием снежников, которые служили источником питания заболоченной котловины весной-начале лета. Свидетельства об активизации снегопадов в среднем голоцене найдены и в разрезе палеоозера на юге о. Кунашир.

Холодноводный водоем, образовавшийся ~2640 кал. л.н., также развивался в условиях интенсивных снегопадов. В палиноспектрах увеличилось количество пыльцы кедрового стланика (рис. 2), для развития которого нужен устойчивый снежный покров, поэтому его пыльца рассматривается, как индикатор обильных снегопадов [6]. Для этого времени отмечено увеличение активности зимнего циклогенеза на Курилах. Одним из факторов увеличения обводнения болота были повторяющиеся вулканические пеплопады.

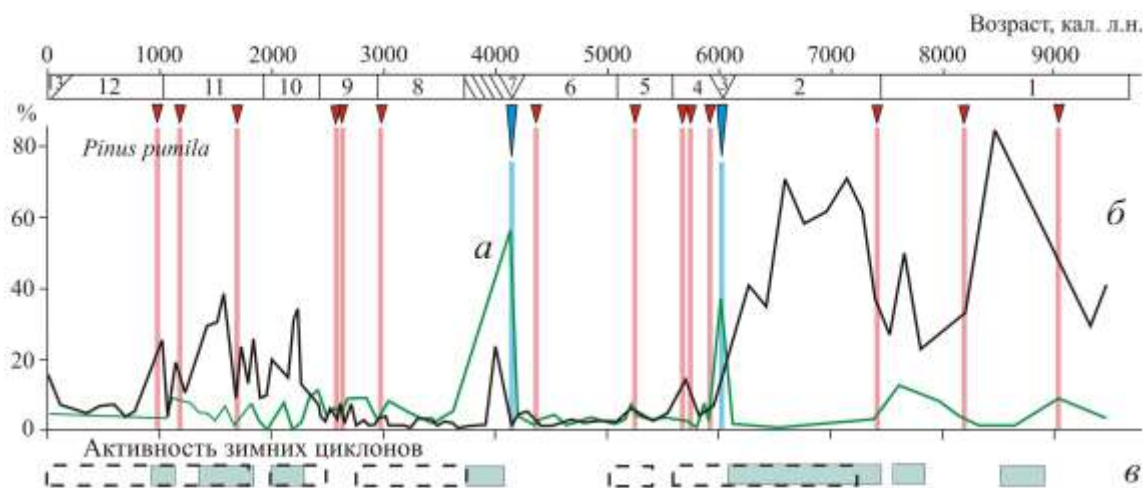


Рис. 2. Распределение пыльцы кедрового стланика (*Pinus pumila*) в разрезе долинного торфяника (а), на плато (б) [2], активность зимних циклонов, Курильские о-ва: Южные Курилы – заштрихованные прямоугольники, Центральные и Северные Курилы – пунктир (в) [12]; красные треугольники и полосы – вулканические пеплопады, синие – лахары.

Палиноспектры показали, что пояс каменноберезняков в горной части о. Итуруп был устойчивым при климатических изменениях в голоцене, менялась лишь залесенность склонов и состав кустарникового яруса. В потепление около 7410–6020 лесная растительность стала более сомкнутой, в подлеске каменноберезняков был широко распространен падуб (*Ilex* – до 11.5%). Более разреженной растительность на склонах становилась после серии извержений.

Локальная болотная растительность была более чувствительной к климатическим изменениям. В группе трав преобладает пыльца осоковых (Cyperaceae), а также встречены другие таксоны, характерные для болот: Iridaceae, Ranunculaceae, Ericaceae, *Sanguisorba*, *Drosera*, *Lysichiton* и др. В отдельных палинозонах отмечено много пыльцы злаков (Poaceae), что отражает широкое развитие бамбучников в подлеске и на открытых склонах.

Темнохвойных лесов в этой части острова на отметках выше 400 м не было, пыльца ели и пихты являлась аллохтонной (рис. 3) и могла заноситься с нижних частей склонов, где они были распространены до 6200 кал л.н. [2] и с юга острова или соседних южных островов.

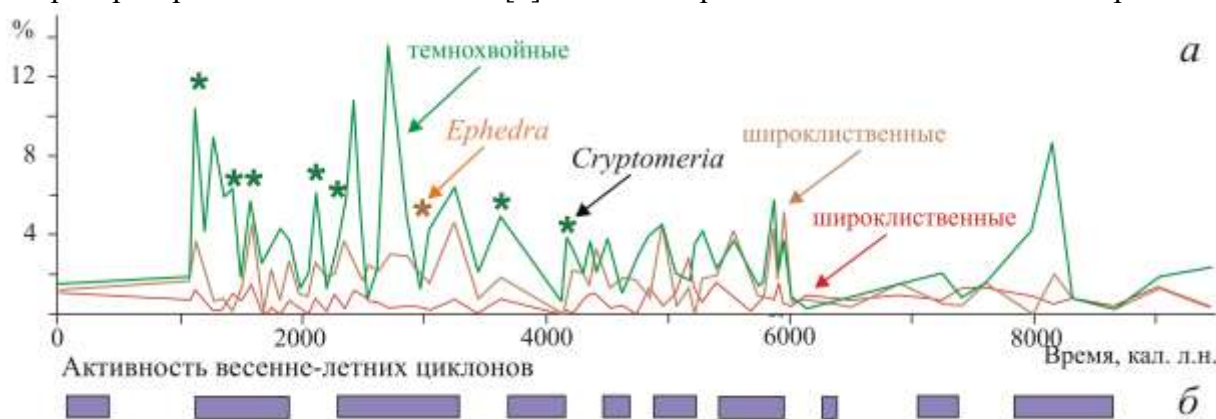


Рис. 3. Аллохтонная пыльца в разрезе долинного торфяника: широколиственные ближнего разноса – коричневым, дальнего разноса – красным (а); активность циклонов (б) [12].

Пыльца широколиственных (*Quercus*, *Tilia*, *Juglans*, *Carpinus*, *Corylus*, *Fraxinus*, *Phellodendron* и *Ulmus*), встреченная в небольших количествах, также является аллохтонной. Пыльца дуба, ильма и бархата могла заноситься с побережья, где широколиственные леса были широко представлены в среднем голоцене и их реликты сохранились до настоящего времени [1, 11]. Но основным источником пыльцы широколиственных являлись острова на юге Курил и Японские о-ва. Экзотической пылью является *Cryptomeria japonica*, ареал

которой ограничен севером о. Хонсю и югом о. Хоккайдо [16], и пыльца хвойника (*Ephedra*). Последняя была найдена в торфе, образованном ~2900 кал. л.н. в начале похолодания и могла заноситься только с материка, предположительно с пыльными бурями при смещении струйного течения на север, что установлено для этого временного интервала [10].

В заполнителе лахаров преобладает диатомовая флора с обилием планктона и пыльца с верхнего пояса гор (кедровый стланик, вересковые кустарники и т.п.), что позволяет связать их образование с неоднократным спуском кратерного озера влк. Баранского во время сильных землетрясений.

Биостратиграфическое изучение показало, что долинный торфяник является природным архивом, чувствительным к короткопериодным изменениям климата. Большую роль в развитии биотических компонентов играли также вулканические пеплопады и перекрытие долины лахарами. Формирование нового субстрата оказывало влияние на формирование пионерных сообществ, исчезновение и восстановление мохового покрова, обнаружены признаки изменения гидрохимического режима. Наиболее существенная экологическая перестройка была вызвана сходом второго более мощного лахара.

Наибольшие изменения при воздействии климата и других внешних факторов происходили в составе диатомовой флоры. По изменению в содержании арктобореальных видов диатомей и космополитов, характерных для северных регионов, которые некоторые авторы относят к арктобореальным, восстановлена смена теплых и холодных периодов (рис. 4).

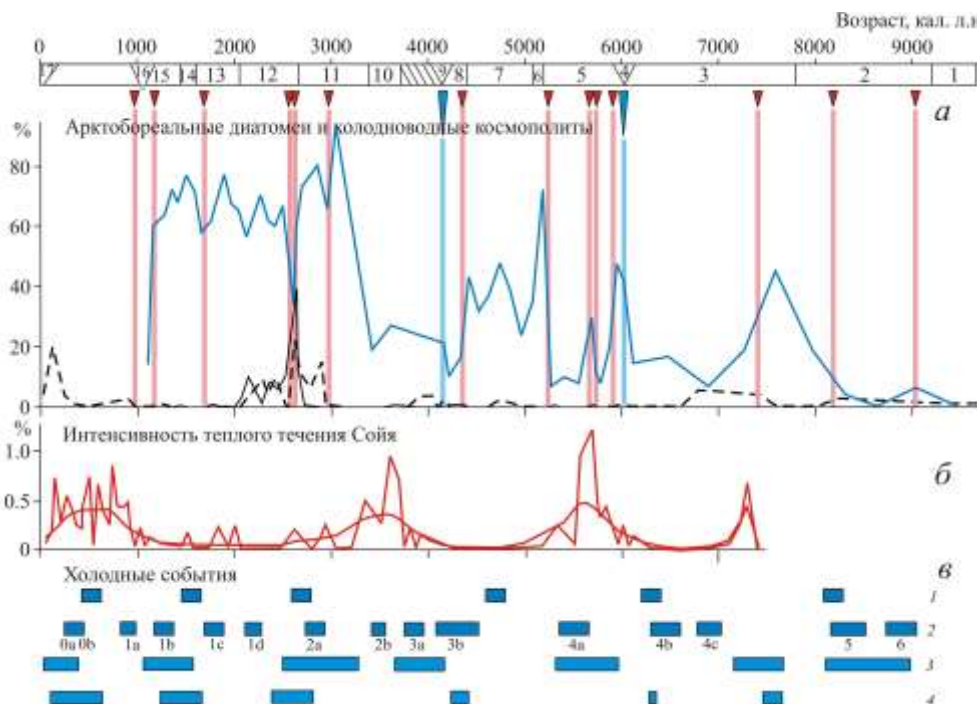


Рис. 4. (а) Распределение арктобореальных диатомей (черным – долинный торфяник, пунктир – разрез на плато) и холодноводных в разрезе долинного торфяника; (б) распределение *Fragilariopsis dolious* в отложениях юго-западной части Охотского моря, как показатель интенсивности теплого течения Сойя [14]; (в) холодные события: 1 – глобальные [17]; 2 – северное полушарие [5]; 3 – Охотское море [4]; 4 – Япония [13].

С 9230 кал. л.н. в условиях прогрессирующего похолодания зафиксировано уменьшение увлажнения. В среднем голоцене наиболее холодным был период 8200–7800 кал. л.н. (рис. 4), близкий по возрасту к глобальному событию ~8200 кал. л.н. [5, 17]. Прохладные были условия и 7810–7410 кал. л.н. Примерно в это время наблюдались холодные события в Охотском море [4] и на Японских о-вах [13]. Два сухих эпизода в развитии озерно-болотных обстановок 5910–5740 и 5480–5220 кал. л.н. совпадали с началом и концом похолодания в Охотском море [4]. Появление арктобореальных диатомей свидетельствует о похолодании 4360–4170 кал. л.н. В

долине развивался сырой луг с осоковыми сообществами, вероятно, равномерно увлажненный в разные сезоны. В конце периода начался занос пыльцы *Cryptomeria* с о. Хонсю. Увеличение содержания арктобореальных диатомей в долинном торфянике и разрезе на плато показывает, что в позднем голоцене наиболее холодным климат был 2900–2600 кал. л.н. Похолодание фиксируется во всех записях региона [4, 13] и близко по временным рамкам к глобальному событию [17]. В похолодание Кофун [13] самым холодным был период 1470–1320 кал. л.н. На горных склонах стал распространён ольховник, на открытых пространствах были развиты сырые разнотравные луга. В северном полушарии выделено холодное событие 1b, падение температур было обусловлено снижением потока солнечной радиации [5]. При всех похолоданиях на болоте отмечены вспышки развития сфагновых мхов.

Периоды выделенных короткопериодных похолоданий хорошо совпадают с минимумами солнечной активности [15], как правило в это время уменьшалась интенсивность летнего муссона [5, 17]. Уменьшение увлажнения на островах были не столь контрастным, как на материке, что было связано с изменением интенсивности циклогенеза в разные периоды голоцена.

Судя по увеличению доли аллохтонной пыльцы активность циклогенеза повысилась во второй половине позднего голоцена. Нестабильные условия в позднем голоцене были вызваны и увеличением повторяемости и интенсивности Эль-Ниньо [9] и продвижением к северу теплых течений [14]. Следы периодических наводнений, проходивших с 1420 кал. л.н. были выделены на о-вах Зеленый и Кунашир. Ливни и сильные наводнения были частыми на о. Хоккайдо [7].

С 7410 кал. л.н. зафиксированы контрастные изменения увлажнения: наряду с обводнением котловины в сухие сезоны образовывались осушки, о наличии которых можно судить по высокому содержанию почвенных диатомей (до 33%). Начало этой фазы совпало с сухим эпизодом на плато (7380–7120 кал. л.н.). Увлажнение болот и небольших озер, расположенных на более низких уровнях рельефа, снижалось [8]. Летний циклогенез не был активным, на что указывает снижение количества аллохтонной пыльцы, поступавшей с юга (рис. 3). В то же время появление диатомей, характерных для текущих вод и переотложенных морских видов свидетельствует о прохождении редких сильных тайфунов. Минимум содержания холодноводных диатомей отмечен 7100–6710 кал. л.н., что отвечает термическому максимуму голоцена на Курилах [1, 11]. Обводнение котловины 5740–5480 л.н. происходило при усилении интенсивности теплого течения Соя [14], в тропической зоне увеличивалась температура поверхностных вод океана, что могло способствовать увеличению летних осадков. После перерыва, вызванного сходом лахара, развитие болотной экосистемы 3720–3360 кал. л.н. происходило в более теплых условиях. Восстановившееся болото было низкообводненным, скорее всего, за счет высокого испарения. Тренд на потепление и снижением увлажнения наблюдался также при переходе к малому оптимуму голоцена 1170–1090 кал. л.н.

Заключение.

Восстановлена короткопериодная ритмика климатических изменений и показана реакция на них биоты в горной части Центрального Итурупа. В отличие от низких уровней рельефа изменения увлажнения в горах во многом контролировались количеством зимних осадков. Определена хронология мультидекадных изменения климата, которые хорошо сопоставляются с изменением солнечной активности и проявлением палеоклиматических событий в регионе и в северном полушарии. Изменение увлажненности было тесно связано с процессами, контролировавшими циклогенез в северо-западной части Тихого океана.

Благодарность. Исследование выполнено при поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024). При подготовке и просмотре проб использовалась инфраструктура ТИГ ДВО РАН в рамках темы государственного задания № 125021302113-3

Литература

1. Короткий А.М., Разжигаева Н.Г., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Базарова В.Б., Сулержицкий Л.Д., Лутаенко К.А. Осадконакопление и палеоландшафты позднего плейстоцена-голоцена бассейна р. Курилки (о. Итуруп, Курильские острова) // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 5. С. 61–77.
2. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Дегтерев А.В., Ежкин А.К., Рыбин А.В., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. Запись изменений природной среды в озерно-болотных отложениях горной части острова Итуруп с позднеледникового // Тихоокеанская геология. 2022. Т. 41. № 2. С. 59–74.
3. Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. 2011. V. 6. P. 457–474.
4. Gorbarenko S.A., Artemova A.V., Goldberg E.L., Vasilenko Yu.P. The response of the Okhotsk Sea environment to the orbital-millennium global climate changes during the Last Glacial Maximum, deglaciation and Holocene // Glob. and Planet. Change. 2014. V. 116. P. 76–90.
5. Gorbarenko S.A., Shi X., Liu Y., Bosin A.A., Vasilenko Y.P., Artemova A.V., Yanchenko E.A., Zou J., Yao Z., Kirichenko I.S. Reconstructing Holocene centennial cooling events: synthesized temperature changes, chronology, and forcing in the Northern Hemisphere // Front. Earth Sci. 2024 V. 12. P. 1415180.
6. Hammarlund D., Klimaschewski A., Amour N.A.S., Andrén E., Self A.E., Solovieva N., Andreev A.A., Barnekow L., Thomas W.D., Edwards T.W.D. Late Holocene expansion of Siberian dwarf pine (*Pinus pumila*) in Kamchatka in response to increased snow cover as inferred from lacustrine oxygen-isotope records // Glob. and Planet. Change. 2015. V. 134. P. 91–100.
7. Ishii Y., Hori K., Momohara A. Middle to late-Holocene flood activity estimated from loss on ignition of peat in the Ishikari lowland, northern Japan // Glob. and Planet. Change. 2017. V. 153. P. 1–15.
8. Lozhkin A., Minyuk P., Cherepanova M., Anderson P., Finney B. Holocene environments of central Iturup Island, southern Kuril archipelago, Russian Far East // Quater. Res. 2017. V. 88. P. 23–38.
9. Moy C.M., Seltzer G.O., Rodbell D.T., Anderson D.M. Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch // Nature. 2002. V. 420 (6912). P. 162–165.
10. Nagashima K., Addison J., Irino T., Omori T., Yoshimura K., Harada, N. Aleutian Low variability for the last 7500 years and its relation to the Westerly Jet // Quater. Res. 2021. V. 108. P. 161–179.
11. Nazarova L., Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Makarova T.R., Lyashevskaya M.S., Biskaborn B.K., Hoelzmann P., Golovatyuk L.V., Diekmann B. The middle to Late Holocene environments on the Iturup Island (Kurils, North Western Pacific) // Quater. Intern. 2023. V. 644–645. P. 5–20.
12. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Ponomarev V.I., Mokhova L.M., Grebennikova T.A. Application bioaerosol records for recovery of atmospheric circulation anomalies over the Kuril islands in the Late Glacial-Holocene // Quaternary Science Review. 2025. V. 353. P. 109222.
13. Sakaguchi Y. Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation // Bulletin of the Department of Geography University of Tokyo. 1983. V. 15 P. 1–31.
14. Shimada C., Ikehara K., Tanimura Y., Hasegawa S. Millennial-scale variability of Holocene hydrography in the southwestern Okhotsk Sea: Diatom evidence // The Holocene. 2004. V. 14, N 5. P. 641–650.
15. Steinhilber F., Beer J., Fröhlich C. Total solar irradiance during the Holocene // Geophysical Research Lett. 2009. V. 36. P. L19704.
16. Takahara H., Ikeda Sh., Sasaki N., Hayashi R. Vegetation history of *Cryptomeria japonica* in Japan since the last Interglacial period // Ecological Res. 2022. V. 38, N 12. P. 49–63.
17. Wanner H., Solomina O., Grosjean M., Ritz S.P., Jetel M. Structure and origin of Holocene cold events // Quater. Sci. Rev. 2011. V. 30. P. 3109–3123.