

Эволюция климата и природной среды Камчатки в голоцене по данным изучения озерных отложений

В.Г. Дирксен

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: dirksenvg@kscnet.ru

Представлены результаты комплексного изучения донных отложений трех озер Камчатки. Обобщение данных выявило наиболее значимые региональные климатические тренды в голоцене и связанные с ними изменения природной среды. Особое внимание уделено событиям нашей эры (последние ~2000 лет). Тренд к потеплению климата после ~1800-1900 гг. н.э., установленный по палеоданным, подтвержден современными мониторинговыми данными.

Изменение климата, зафиксированное на глобальном уровне в последние десятилетия, вызывает особый интерес к палеоданным как основе для понимания текущих процессов и прогноза ожидаемых изменений природной среды в будущем. Об этом интересе свидетельствует значительный рост количества соответствующих публикаций в последние годы, и их широкое международное обсуждение. Однако привлечь к этому обсуждению имеющиеся палеоданные по Камчатке очень сложно, поскольку большая их часть была получена в 60-х - 80-х годах прошлого века, и они мало соответствуют современному уровню требований. Кроме того, в этих исследованиях не всегда учитывалось возможное искажение палеосигналов из-за воздействия вулканогенного фактора, а в индустриальную эпоху (последние 100-150 лет) - из-за антропогенного влияния. Чтобы восполнить существующий недостаток достоверных и высококачественных региональных палеоданных, были отобраны колонки донных отложений нескольких озер Камчатки; по трем из них обработка материалов завершена. Это два крупных постгляциальных озера Двухюрточное [8, 11] и Сокоч [6, 10], и одно небольшое подпрудное озеро с условным названием Зигрид [9, 12]; все озера расположены в центральной части полуострова.

Методы изучения

Комплексное изучение озерных отложений было основано на применении мультидисциплинарного подхода [2], с использованием методов и подходов различных научных дисциплин. Были использованы следующие группы методов:

(1) Палеоэкологические методы: палинологический анализ; диатомовый анализ; анализ микрофоссилий (NPP: остатки грибов, водорослей, беспозвоночных животных и др.); анализ фауны хирономид; анализ углей;

(2) Седиментологические и геохимические методы: изотопный анализ ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$); элементный анализ (С и N); содержание биогенного опала; минералогический анализ; рентгенофлуоресцентная спектрометрия (РФА); микронзондовый анализ вулканического стекла;

(3) Геохронологические методы: радиоуглеродный анализ (^{14}C); тефрохронологический анализ. Все хронологические данные были откалиброваны в формат календарного летоисчисления в виде л.н. (календарных лет назад) или г.н.э. (год нашей эры).

Результаты

Озеро Сокоч расположено в горном обрамлении Центрально-Камчатской депрессии (ЦКД), ее южной оконечности. Возраст изученной колонки осадков составил 9600 лет. На основании полученных данных, выделены и охарактеризованы основные

этапы эволюции климата и природной среды в голоцене: холодный экскурс ~8000-7600 л.н., имеющий глобальное значение; Термальный Максимум голоцена (Holocene Thermal Maximum, далее НТМ) с кульминацией между 7400 и 5100 л.н., соответствующей максимуму биологической продуктивности озерных и наземных экосистем; похолодание Неогляциала (Neoglacial) после ~5100 л.н.; усиление континентальности климата после ~3500 л.н.; второй (малый) климатический оптимум ~2200-1700 л.н.; Малая Ледниковая эпоха (Little Ice Age, далее LIA) после ~1300 л.н. и современное потепление климата в последние ~200 лет. Выявленные эпохи похолодания хорошо согласуются с периодами подвижек горных ледников в ЦКД, установленными по записям кернов лиственниц и льдов [15]. Тейфхронологический анализ зафиксировал эффект "тонущих пеплов" [7] в озерных сапропелях. Однако некоторые пеплы остались в состоянии *in situ*, и в этих случаях удалось установить, что инициированная ими динамика локальных экосистем была краткосрочной (менее десяти лет).

Изменения климата и динамика экосистем северной части ЦКД были реконструированы по данным изучения донных отложений озера Двухюрточное в Срединном хребте, возрастом около 7000 лет. Обобщенные результаты выявили два основных климатических периода. Первый из них, между ~7000 и 5000 л.н. характеризовался очень влажным и теплым климатом океанического типа (период НТМ). Последующий период был более холодным и сухим, что обусловило общее снижение биологической продуктивности экосистем. Начало этого периода отмечено резким похолоданием Неогляциала (~5000-3500 л.н.). Второе похолодание между ~1000 и 200 л.н. соответствует событию LIA.

Озеро Зигрид расположено на восточном склоне Срединного хребта. Возраст колонки отложений составил 2800 лет. Биоклиматическое моделирование, основанное на калиброванном ряде данных по фауне современных хирономид Дальнего Востока [13], позволило реконструировать показатели среднемесячной температуры воздуха в июле, а также изменения глубины озера. Относительно низкие температуры июля (11-12 °С) были установлены для периодов 1700-1500 л.н. и 1200-150 л.н. (LIA). Умеренно теплые периоды (средняя температура июля равна или выше современной) выделены между 2700 и 1800 л.н., 1500 и 1300 л.н. и после 150 л.н. (1800 г. н.э., период современного потепления).

Обсуждение результатов

Обобщение результатов изучения колонок отложений трех озер Камчатки, а также других палеозаписей из озерных и наземных отложений Северной Пацифики [1, 4, 5 и др.], выявило наиболее значимые региональные климатические тренды в голоцене. Согласованность глобальных изменений природной среды на достаточно обширной территории связана с конфигурацией и взаимодействием основных региональных климатических систем, Сибирского Максимума и Алеутского Минимума. В то же время, кратковременные различия, по-видимому, обусловлены локальной динамикой атмосферных колебаний, их проявлениями в конкретных условиях, а также наличием/отсутствием вулканического воздействия и его характера.

Самый теплый период голоцена (НТМ) между ~7400 и 5000 л.н. был очень влажным, он характеризовался максимальным распространением лесов и высокой биологической продуктивностью озерных экосистем. Глобальная перестройка климатической системы произошла около 5000 л.н., когда длительный период мягкого климата океанического типа был прерван похолоданием Неогляциала. Это событие было представлено серией кратковременных и очень резких холодных пульсов между ~5000 и 3500 л.н. Последующий период позднего голоцена характеризовался более

прохладным и континентальным климатом. В этих условиях отмечен второй (малый) максимум распространения лесов (~2200-1700 л.н.), который произошел в умеренно теплый интервал на фоне общего усиления континентальности климата после ~3500 л.н. В целом, долговременный тренд ухудшения климатических условий был вызван общим уменьшением солнечной инсоляции и усилением влияния Сибирского Максимум (антициклона). На этом фоне кратковременные климатические экскурсы и обусловленные ими изменения природной среды региона были связаны с локальными климатическими осцилляциями, контролирующими направление потоков воздушных масс, их температуру и влажность. Среди таких кратковременных экскурсов четко выделяется интервал мягкого и влажного климата океанического типа между ~1700 и 1500 л.н.; этот интервал также был отмечен в других палеозаписях из Центральной Камчатки, и соответствует времени начала распространения ели из рефугиумов в ЦКД [5]. Реконструкция температурных показателей по колонке озера Зигрид позволяет уточнить, что это был прохладный период, и его можно сопоставить со стадией похолодания Kofun в Японии [14]. Для большинства записей из озерных колонок похолодание LIA интерпретировано в широком временном диапазоне, между ~800 и 1900 гг. н.э. Скорее всего, этот диапазон объединяет два климатических события: (1) холодный экскурс около 900 г. н.э. или стадия FMA (First Millennium Advance) подвижки ледников на Аляске; (2) собственно интервал LIA, зафиксированный на Камчатке сигналами независимых друг от друга климатических прокси между ~1200 и 1900 гг., с максимумом похолодания в конце XIX - начале XX веков н.э. [3, 4, 15]. "Слияние" двух холодных интервалов в озерных записях, по-видимому, связано с отсутствием четко выраженных сигналов Средневекового потепления (Medieval Climate Anomaly, далее MCA). Этот период, уверенно выделяемый для Евразийского континента, на Камчатке был зафиксирован лишь в нескольких записях [1]. Одной из возможных причин отсутствия ясных сигналов MCA является влияние вулканического фактора: кратковременное влияние вулканических пеплов на локальные экосистемы в этот период могло создавать эффект "ухудшения" условий, не связанный с естественным климатическим трендом.

Необходимо отметить, что новые данные комплексного изучения озерных колонок подтверждают современный тренд к потеплению климата после ~1800-1900 гг. н.э. Впервые этот тренд был зафиксирован на полуострове в записи из колонки торфяника на западе Камчатки с высоким временным разрешением [4]. Палеоданные хорошо согласуются с нашими предварительными результатами дендрохронологических исследований и мониторинговых наблюдений в ЦКД в 2013-2016 гг., свидетельствующими о деградации мерзлоты в горах и повышении верхней границы горных лиственничников и ельников в последние ~80-50 лет.

Работа была поддержана проектами KALMAR, BMBF 03G0640, РФФИ 12-05-00631, 15-05-05505 и 15-05-05622.

Список литературы

1. Дирксен В.Г. Изменение климата и эволюция торфяников Камчатки в последнее тысячелетие // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога. Вулканизм и связанные с ним процессы. Петропавловск-Камчатский: 2013. С. 73-74.
2. Дирксен В.Г. Применение мультидисциплинарного подхода к изучению торфяных и озерных отложений Камчатки для палеоэкологических и палеоклиматических реконструкций // Тез. докл. палинологической школы-конференции. Методы палеоэкологических исследований. Москва: МГУ, 2014. С. 23-24.
3. Barr I.D., Solomina O. Reprint of "Pleistocene and Holocene glacier fluctuation upon the Kamchatka Peninsula" // Global and Planetary Change. 2015. Vol. 134. P. 155-165.

4. *Cleary K., Hunt S., Yu Z. et al.* Responses of Regional Vegetation and Peatland Ecosystems to Climate Change Over the Last Millennium from the Western Lowlands of Kamchatka, Russia // Abstract for AGU Fall Meeting. San-Francisco: 2013.
5. *Dirksen V., Dirksen O., Diekmann B.* Holocene Vegetation Dynamics and Climate Change in Kamchatka Peninsula, Russian Far East // Review of Palaeobotany and Palynology. 2013. Vol. 190. P. 48-65.
6. *Dirksen V., Dirksen O., van den Bogaard C., Diekmann B.* Holocene pollen record from Lake Sokoch, interior Kamchatka (Russia), and its palaeobotanical and paleoclimatic interpretation // Global and Planetary Change. 2015. Vol. 134. P. 129-141.
7. *Dirksen O., van den Boogard C., Danhara T., Diekmann B.* Tephrochronological investigation at Dvuh-yurtochnoe lake area, Kamchatka: numerous landslides and lake tsunami, and their environmental impacts // Quaternary International. 2011. Vol. 246. P. 298-311.
8. *Hoff U., Biskaborn B., Dirksen V.G. et al.* Holocene environment of Central Kamchatka, Russia: Implication from a multi-proxy record of Two-Yurts Lake // Global and Planetary Change. 2015. Vol. 134. P. 101-117.
9. *Hoff U., Dirksen O., Dirksen V. et al.* Late Holocene diatom assemblages in a lake-sediment core from Central Kamchatka, Russia // Journal of Paleolimnology. 2012. Vol. 47(4). P. 549-560.
10. *Hoff U., Dirksen O., Dirksen V. et al.* Holocene freshwater diatoms: palaeoenvironmental implications from south Kamchatka, Russia // Boreas. 2014. Vol. 43. P. 22-41.
11. *Nazarova L., de Hoog V., Hoff U. et al.* Late Holocene climate and environmental changes in Kamchatka inferred from the subfossil chironomid record // Quaternary Science Reviews. 2013. Vol. 67. P. 81-92.
12. *Nazarova L., Bleibtreu A., Hoff U., Dirksen V. et al.* Reconstruction of late Holocene environmental changes in Central Kamchatka based on chironomid analysis of sediments from a small mountain lake // Quaternary International. (In press.)
13. *Nazarova L., Self A., Brooks S.J. et al.* Northern Russian chironomid-based modern summer temperature data set and inference models // Global and Planetary Change. 2015. Vol. 134. P. 10-25.
14. *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. Vol. 15. P. 1-31.
15. *Solomina O., Wiles G., Shiraiwa T., D'Arrigo R.* Multiproxy records of climate variability for Kamchatka for the past 400 years // Climate of the Past. 2007. Vol. 3. P. 119-128.