ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2021, том 496, № 2, с. 211–214

ГЕОГРАФИЯ

УДК 551.89

ПОСТЛЕДНИКОВАЯ ИСТОРИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА ОКИНСКОГО ПЛАТО (ВОСТОЧНЫЙ САЯН, ЮЖНАЯ СИБИРЬ)

© 2021 г. Е. В. Безрукова[1,2,*], Н. В. Кулагина[3], Е. В. Волчатова[1], академик РАН М. И. Кузьмин[1]

Поступило 17.11.2020 г.
После доработки 19.11.2020 г.
Принято к публикации 23.11.2020 г.

Представлены первые результаты палинологического анализа донных отложений оз. Каскадное и реконструкции растительности и климата Окинского плато за последние 14.2 тыс. к.л. Показано, что ~14.2–12.9 тыс. к.л.н. (GI-1) региональный климат был достаточно теплым и влажным для развития травяно-кустарниковой тундры с участием ели, пихты. Похолодание ~12.9–11.5 тыс. к.л.н. (GS-1) привело к преобладанию в бассейне озера травяно-кустарниковых тундр. Сосна сибирская расселялась на Окинском плато в умеренно-холодном и влажном климате 11.5–9.0 тыс. к.л.н. Более теплый и сухой климат среднего голоцена, ~9.0–4.5 тыс. к.л.н., привел к отступлению темнохвойных лесов из бассейна оз. Каскадное. Распространение лиственницы и сосны сибирской совпало с наступлением неогляциальных условий позднего голоцена. Установлено, что условия природной среды на Окинском плато в позднеледниковое время и в голоцене контролировались взаимодействием западного атмосферного переноса и восточноазиатского летнего муссона, изменением температуры, обусловленным уровнем инсоляции, а также особенностями региональной атмосферной циркуляции.

Ключевые слова: палинологический анализ, история растительности, климат, позднеледниковое время – голоцен, Окинское плато, юг Восточной Сибири

DOI: 10.31857/S2686739721020043

Реакция континентальных экосистем северного полушария на климатические изменения после последнего оледенения меняется во времени и пространстве. Это можно объяснить воздействием глобальной инсоляции, сменой направлений господствующего атмосферного переноса, региональными ороклиматическими условиями. Ответ экосистем Восточной Сибири на изменения глобального климата пока трудно реконструировать из-за ограниченного числа датированных и непрерывных записей постледникового времени. В настоящее время для Восточного Саяна такие записи единичны, и все они моложе 11.2 тыс. лет [1]. Полученная нами пыльцевая запись является самой длительной, хорошо датированной, включающей историю растительности региона за последние 14.2 тыс. лет, в позднеледниковое время и в голоцене.

Оз. Каскадное расположено на высоте 2080 м над уровнем моря. Его максимальная глубина 7 м и площадь поверхности 2.5 км^2 (рис. 1). Озеро питается за счет атмосферных осадков и разгрузки подземных вод. Климат в районе континентальный со среднегодовой температурой – 4°С. За год выпадает около 400 мм осадков. Преобладает западный перенос воздушных масс [2]. Для водосбора озера характерен прерывистый растительный покров, в котором преобладают разнотравно-злаковые группировки, кустарниковая береза *Betula nana*, редкие островки лиственницы *Larix sibirica*, ивы *Salix* sp., пихты *Abies sibirica* стелющейся формы.

Разрез озерных отложений длиной 150 см был вскрыт полностью с захватом подстилающих ледниковых отложений. В литологии разреза выделяются два основных слоя: нижний (144–150 см) – серая алевритистая глина, верхний (0–144 см) – биогенно-терригенный ил. Возрастная модель керна опубликована [3]. Она базируется на семи радиоуглеродных датах, полученных с применением ускорительной масс-спектрометрии в г. Познань (Польша). Далее в тексте все значения возраста выражены в тысячах калиброванных лет назад от нашего времени (тыс. к.л.н.).

[1] *Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия*
[2] *Иркутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия*
[3] *Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия*
**E-mail: bezrukova@igc.irk.ru*

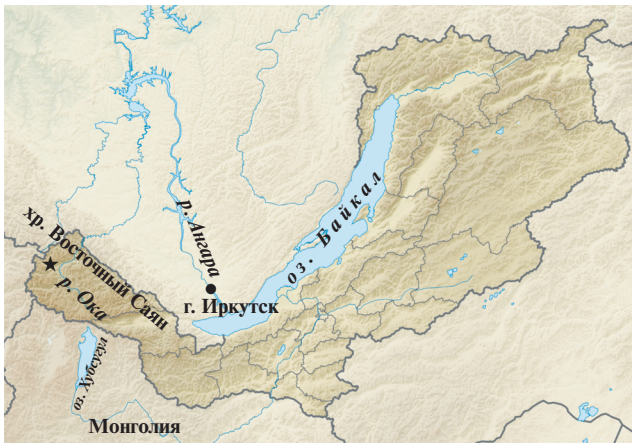

Рис. 1. Схема района исследований. Звездочка – местоположение оз. Каскадное.

Локальные пыльцевые зоны (рис. 2) выделены с использованием стратиграфически ограниченного кластерного анализа CONISS [4].

Палинозона 5 включает две подзоны (рис. 2). В спорово-пыльцевых спектрах (СПС) подзоны Кск-5б (~14.2–13.77 тыс. к.л.н.) преобладает *Betula nana*-type, пыльца трав – полыней *Artemisia sp.*, маревых Chenopodiaceae, осок Cyperaceae, есть пыльца ели *Picea obovata* и *Larix*. Состав СПС характеризует неоднородный характер растительности с преобладанием кустарниковой тундры с елово-лиственничными группировками, участками степей. Согласно хроностратиграфии изменений глобального климата из ледовых кернов Гренландии [5] такая растительность существовала в бассейне оз. Каскадное в начале интерстадиала GI-1 (Аллеред) и способствовала поступлению в озерные осадки значительного объема органического вещества (рис. 2).

Подзона Кск-5а (~13.77–12.9 тыс. к.л.н.) отличается повышением обилия пыльцы ели, пихты, сосны сибирской *Pinus sibirica* и скоростей аккумуляции пыльцы (САП), означая расширение в бассейне озера древесной темнохвойной растительности в умеренно-холодном и влажном климате с высоким снежным покровом. Такие условия наступили в финале GI-1.

Снижение обилия пыльцы ели, пихты, повышение – маревых, гвоздичных в СПС зоны Кск-4 (~12.9–11.5 тыс. к.л.н.) предполагает более сухой, чем ранее, климат, соответствующий похолоданию в стадиал GS-1 (Поздний Дриас). Однако высокие значения САП и ППП свидетельствуют об относительно густом растительном покрове в бассейне оз. Каскадное.

Снижение обилия пыльцы древесных растений, самые высокие САП, подъем кривых сосны

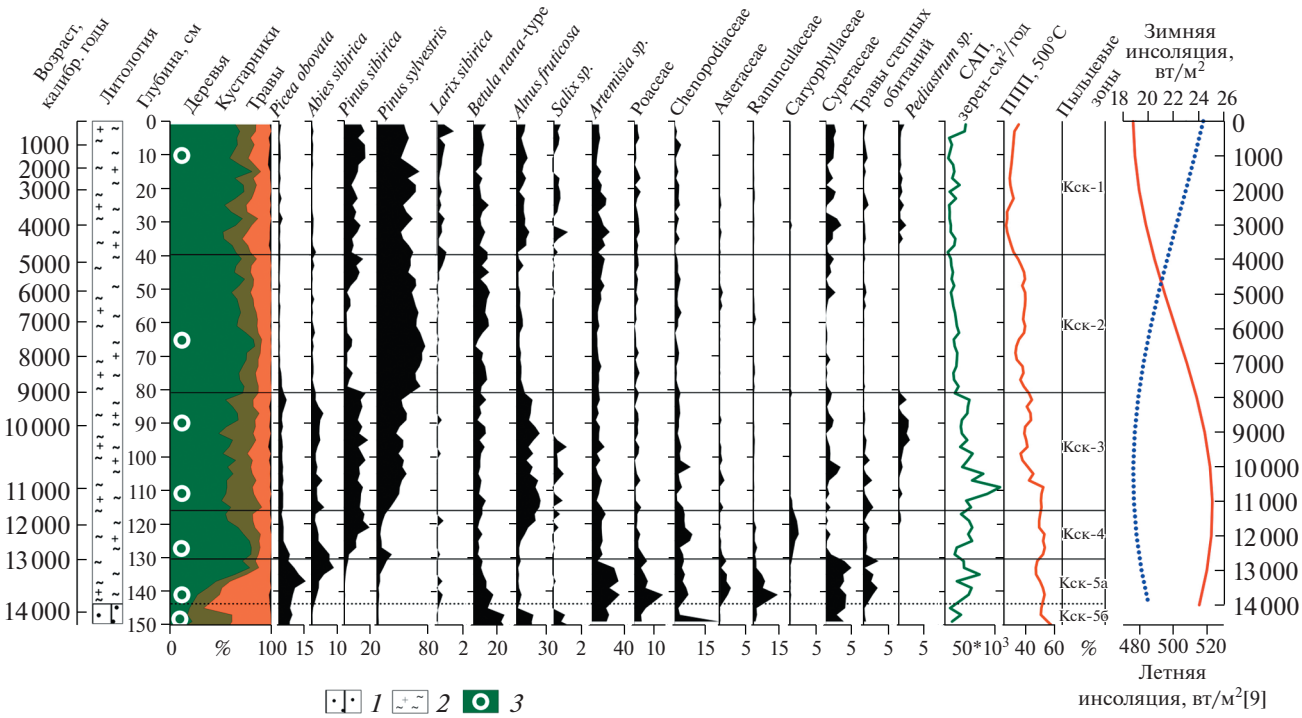

Рис. 2. Палинологическая диаграмма донных отложений оз. Каскадное. *1* – ледниковые глины; *2* – биогенно-терригенные илы с диатомовыми водорослями; *3* – места отбора проб для УМС^{14}С-датирования; САП – скорость аккумуляции пыльцы (зерен в год на см^2); ППП – потери при прокаливании как показатель изменения органического вещества. Динамика летней инсоляции – красная линия, зимней – синяя пунктирная.

сибирской и обыкновенной в спектрах Кск-3 (~11.5–9.0 тыс. к.л.н.) означают повышение в горах верхней границы сосен и приближение их к бассейну озера. В самом бассейне оз. Каскадное существовала кустарниковая тундра с редкой пихтой. Последняя предпочитает высокую весенне-летнюю влажность почвы и глубокий уровень залегания многолетней мерзлоты. Появление водорослей *Pediastrum*, вероятно, указывает на повышение летних температур. Эти данные согласуются с другими региональными палеоклиматическими реконструкциями, свидетельствующими о повышенных атмосферных осадках и росте летних температур [6]. Вероятно, в этот период увеличение поверхностной температуры в северной части Атлантического океана и активный летний восточноазиатский муссон [7] способствовали развитию интенсивной облачности летом, что приводило к влажным летним сезонам. Однако в бассейне оз. Каскадное теплые летние сезоны, обусловленные высокой инсоляцией в среднем голоцене [8], могли приводить к повышенному испарению и дефициту влаги, которой стало недостаточно для ели и пихты.

Низкие значения САП и ППП в спектрах Кск-2 (~9.0–4.5 тыс. к.л.н.) предполагают преимущественно безлесный ландшафт кустарниковой тундры в бассейне оз. Каскадное. Максимальное содержание пыльцы сосны обыкновенной может отражать прогрессирующее повышение верхней границы леса в горах Восточного Саяна, как и во многих регионах Северной Азии [6]. Расширение региональной лесной растительности и одновременно ее отступление из бассейна оз. Каскадное указывают на местные различия в топографии, характере бассейна озера, доступности влаги.

В последние ~4.5 тыс. лет (Кск-1, рис. 2) в бассейне оз. Каскадное повысилась роль лиственницы и сосны сибирской (рис. 2). Предполагается, что снижение летней инсоляции привело к более прохладному климату в северном полушарии [9], понижению поверхностной температуры в северной части Атлантического океана. Одновременное повышение зимней инсоляции и снижение объема глобального льда [10] могли быть причинами ослабления Сибирского антициклона, что позволило влажным атлантическим воздушным массам проникать дальше на восток. Вероятно, в ответ на летнее похолодание и повышение атмосферных осадков в бассейне оз. Каскадное расширилась древесно-кустарниковая растительность.

Таким образом, нами получена первая непрерывная, самая длительная и датированная запись изменения природной среды Окинского плато, отражающая динамику климата и растительности в горах Восточного Саяна, где хранятся значительные запасы пресной воды Сибири. Эта запись позволила установить, что бассейн оз. Каскадное был свободен от льда уже ~14.2 тыс. к.л.н., и в районе начался процесс лимногенеза. Умеренно-холодный и влажный климат начала позднеледникового времени был благоприятен для развития в бассейне озера тундрово-степной растительности с участием ели, пихты и лиственницы. Позднее, снижение общей увлажненности района в стадиал GS-1 привело к деградации ели и пихты. Более теплые и сухие, чем ранее, летние сезоны стали причиной локального сокращения лесной растительности в бассейне оз. Каскадное ~11.6–9.0 тыс. к.л.н., но способствовали расширению сосны обыкновенной в низкогорном поясе, которое продолжилось позднее, ~9.0–4.7 тыс. к.л.н. Снижение летней инсоляции, а вслед за ней летних температур на широте Окинского плато привело к расширению в бассейне оз. Каскадное-1 лиственницы и сосны сибирской в последние ~4.5 тыс. лет.

Бассейн оз. Каскадное находится в высокогорной зоне, характеризуется сложной топографией, и это сильно влияет на климат и растительность на мезо- и микромасштабном уровне. В новой записи из оз. Каскадное ясно видны факторы, влияющие на климат в масштабе полушария, но именно высокогорное положение района, его топографическая неоднородность привели к пространственным и временным различиям в ответах природной среды Окинского плато на глобальные изменения климата. Полученные результаты подчеркивают важность субрегиональных палеогеографических исследований и потребность в репрезентативном наборе хорошо датированных записей из донных отложений озер Восточного Саяна с высоким разрешением для лучшего понимания изменений природной среды этого региона, являющегося “водонапорной башней” юга Восточной Сибири.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 19-05-00328) и в соответствии с государственным заданием Института геохимии СО РАН (проект № 0350-2017-0026).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mackay A.W., Bezrukova E.V., Leng M., et al.* Aquatic Ecosystem Responses to Holocene Climate Change and Biome Development in Boreal, Central Asia // Quat. Sci. Rev. 2012. V. 41. P. 119–131.
2. *Lydolph P.E.* Eastern Siberia. In: Climates of the Soviet Union. World Survey of Climatology 7. Elsevier, Amsterdam. P. 91–115.
3. *Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K.* Late Glacial to Holocene volcanism of Jom-Bolok Valley

(East Sayan Mountains, Siberia) recorded by microtephra layers of the Lake Kaskadnoe-1 sediments // Journal of Asian Earth Sciences. 2019. V. 173. P. 291–303.

4. *Grimm E.C.* TGVIEW 2.0.2 (Computer Software). I. Illinois State Museum, Research and Collections Center, Springfield, 2004.
5. *Rasmussen S.O., Bigler M., Blockley S.P., et al.* Stratigraphic Framework for Abrupt Climatic Changes during the Last Glacial Period Based on Three Synchronized Greenland Ice-core Records: Refining and Extending the INTIMATE Event Stratigraphy // Quat. Sci. Rev. 2014. V. 106. P. 14–28.
6. *Zhang D., Feng Z.* Holocene Climate Variations in the Altai Mountains and the Surrounding Areas: A Synthesis of Pollen Records // Earth-Science Reviews. 2018. V. 185. P. 847–869.
7. *Zhang S., Yang Z., Cioppa M.T., et al.* A High-resolution Holocene Record of the East Asian Summer Monsoon Variability in Sediments from Mountain Ganhai Lake, North China // Palaeogeog. Palaeoclim. Palaeoecol. 2018. V. 508. P. 17–34.
8. *Berger A., Loutre M.F.* Insolation Values for the Climate of the Last 10 Million Years // Quat. Sci. Rev. 1991. V. 10. P. 297–317.
9. *Tian F., Cao X., Dallmeyer A., et al.* Biome Changes and Their Inferred Climatic Drivers in Northern and Eastern Continental Asia at Selected Times Since 40 cal ka BP // Vegetation History and Archaeobotany. 2018. V. 27. P. 365–379.
10. *Yokoyama Y., Kido Y., Tada R., et al.* Japan Sea Oxygen Isotope Stratigraphy and Global Sea-level Changes for the Last 50 000 Years Recorded in Sediment Cores from the Oki Ridge // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2007. V. 247. P. 5–17.

POSTGLACIAL VEGETATION AND CLIMATE HISTORY OF OKA PLATEAU (EAST SAYAN MOUNTAINS, SOUTH SIBERIA)

E. V. Bezrukova[a,b,#], N. V. Kulagina[c], E. V. Volchatova[a], and Academician of the RAS M. I. Kuzmin[a]

[a] *A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

[b] *Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

[c] *Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

[#] *E-mail: bezrukova@igc.irk.ru*

The article presents the first results of palynological analysis of Lake Kaskadnoe sediments and reconstruction of vegetation and climate on the Oka plateau over the last 14.2 ky. It is shown that ~14.2–12.9 cal. kyBP (GI-1) the regional climate was warm and humid enough for supporting forb-shrub tundra with spruce and larch stands. Cooling at ~12.9–11.5 cal. ky BP (GS-1) led to the predominance of forb-shrub tundra in the lake basin. Siberian pine arrived on the Oka Plateau at ~11.5–9.0 cal. ky BP. The warmer and drier than during the previous stage climate of the Middle Holocene, ~9.0–4.5 cal. ky BP, resulted in the retreat of dark-coniferous forests from the lake basin. The spread of larch and Siberian pine coincided with the onset of Neoglacial cooling in the Late Holocene. It was found, that the environmental conditions on the Oka plateau in the Lateglacial and Holocene were controlled mainly by the interplay of the western atmospheric transport and the East Asian summer monsoon, temperature variations caused by changing insolation, as well as the regional atmospheric circulation features.

Keywords: palynological analysis, vegetation history, climate, Lateglacial–Holocene, Oka plateau, south of Eastern Siberia