

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РАЙОНА ОЗЕРА ЦАГА-3 (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ) В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

¹Васильева А.В., ¹Савельева Л.А., ²Толстобров Д.С., ¹Петров А.Ю.

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

Представлены результаты спорово-пыльцевого анализа, геохимических исследований и радиоуглеродного датирования голоценовых донных отложений оз. Цага-3 (Кольский п-ов). Данные анализов и результаты реконструкции биомов показывают господство тундр в пребореальном периоде, распространение березовых лесов на протяжении бореального времени, развитие березово-сосновых таежных лесов в атлантическом периоде; в суббореальное – субатлантическое время растительность района была представлена березово-сосновыми и березово-еловыми лесами. Пик биопродуктивности озера связывается с суббореальным периодом.

Ключевые слова: *растительность, спорово-пыльцевой анализ, биом, геохимический анализ, радиоуглеродное датирование*

Эволюция природной среды Кольского региона на протяжении голоценового периода характеризуется неоднородностью и сложностью. Мозаичность растительного покрова полуострова [Лебедева, 1984] предопределяли такие факторы, как деградация ледникового покрова преимущественно в западном направлении [Евзеров, 2015] и, следовательно, субмеридиональное простираие природных зон на ранних этапах развития растительности, сохранение массивов мертвого льда вплоть до атлантического времени [Греков, Суббето, 2015; Николаева и др., 2015], изменение уровня моря на протяжении голоценового периода и влияние теплых течений [Лебедева, 1984], проникновение более южных сообществ в северные природные зоны по понижениям рельефа и речным долинам [Казакова, 1972], высотная поясность и азональное развитие болотных массивов. Экстенсивное изучение озерных и болотных отложений имеет принципиальное значение для создания новых реконструкций развития растительности и климата, детализации и уточнения существующих моделей. С этих позиций в настоящей работе представлены результаты совместных палинологических, геохимических и геохронометрических (¹⁴C-датирование) исследований отложений оз. Цага-3 (Кольский п-ов).

В рамках полевых работ, проводимых ГИ КНЦ РАН летом 2019 г., была отобрана колонка донных отложений оз. Цага-3, расположенного в западной части Кольского п-ва (Рис. 1), в пределах современной природной зоны тайги [Геоботаническое районирование..., 1989] (Рис. 1А). Бурение производилось в точке с координатами 67°33'58.2" с.ш., 35°07'38.4" в.д. (Рис. 1Б), урез воды составил приблизительно 172 м. Снизу вверх в керне мощностью 5,5 м вскрыты (отметки глубин от уреза воды): 8,50-8,45 – алеврит с песком и единичными зернами гравия; 8,45-7,52 – алеврит с органикой; 7,52-6,60 – гиттия слоистая; 6,60-6,25 – торф; 6,25-3,00 – гиттия неслоистая (Рис. 2).

В научной лаборатории «Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана» СПбГУ были выполнены: 1) спорово-пыльцевой анализ 81 пробы (пробоподготовка по методу Фаегри-Иверсена [Faegri, Iversen, 1989]; определение микрофитофоссилий с использованием светового микроскопа Лабомед-3 вариант 2 при увеличении 400 раз); 2) радиоуглеродное датирование 3 образцов из средней части разреза (по стандартной методике [Арсланов, 1987]; расчёт календарного возраста с использованием калибровочной программы «OxCal 4.4.2» [Bronk Ramsey, 2020]); 3) анализ потери массы при прокаливании [Dean, 1974] – для

73 проб. Результаты геохимических исследований (выполнены для 51 образца) были предоставлены ГИ КНЦ РАН. На основе результатов спорово-пыльцевого анализа проведена биомизация проб по методу, описанному Йеном Прентисом с соавторами [Prentice et al., 1996].

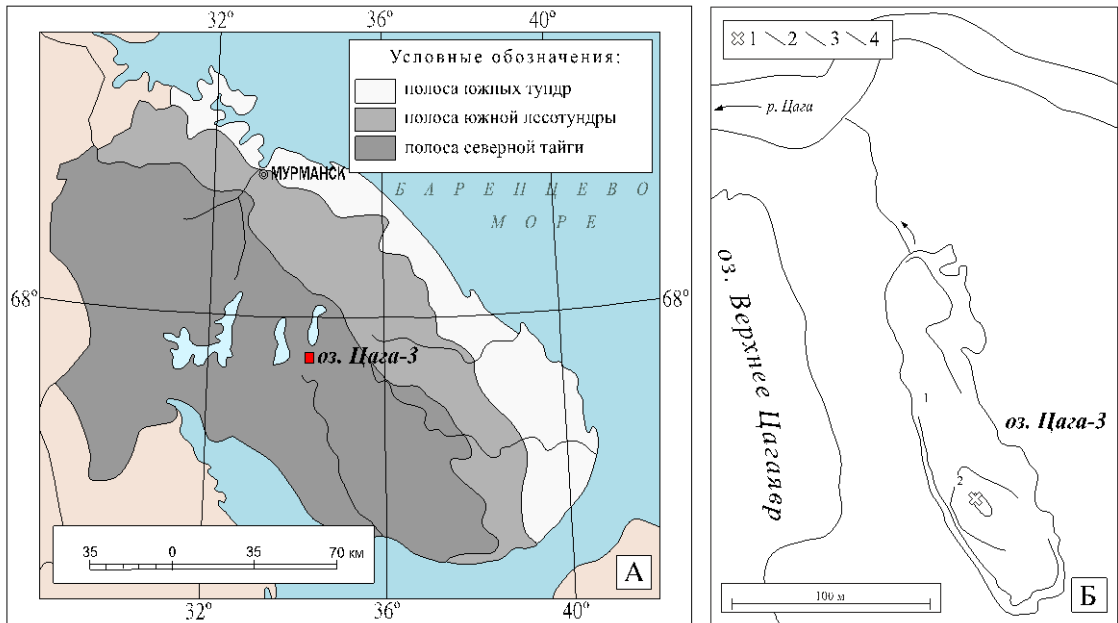


Рис. 1. Местоположение оз. Цага-3 (А, Б) и геоботаническое районирование Кольского п-ва (А) [Геоботаническое районирование..., 1989]. 1 – место бурения; 2 – очертания водных объектов; 3 – ручей; 4 – изобаты (проведены через 1 м).

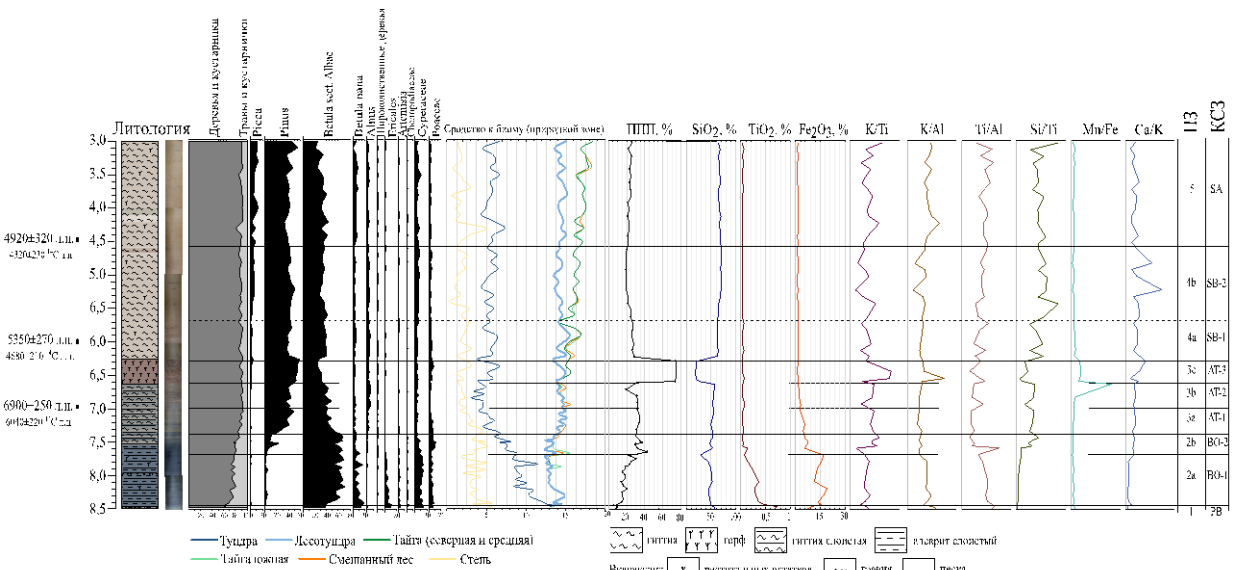


Рис. 2. Результаты исследований колонки оз. Цага-3: данные радиоуглеродного датирования, литологическая колонка, результаты спорово-пыльцевого анализа для отдельных таксонов, биомизация, анализ потери массы при прокаливании (ППП), геохимические исследования. ПЗ – палинологические зоны, КСЗ – климатостратиграфические зоны. Глубина указана в метрах от уреза воды.

Результаты исследований представлены на Рис. 2. На диаграмме совмещены результаты анализа потери массы при прокаливании, данные геохимических исследований в виде концентраций оксидов основных элементов и наиболее значимые пыльцевые таксоны древесных пород и трав. На основе изменения состава спорово-пыльцевых спектров было выделено 9 пыльцевых зон и подзон (ПЗ). Пыльцевые зоны

пронумерованы, соответствующие им биостратиграфические зоны (БЗ) названы по доминантам и субдоминантам пыльцевых спектров, полученные результаты сопоставлены с климатостратиграфической схемой Блитта-Сернандера, которая была адаптирована для Севера Евразии [Хотинский, 1987]. Результаты биомизации также даны на Рис. 2.

Таким образом, совокупность результатов комплексных исследований позволяет нам произвести реконструкцию природной среды района оз. Цага-3 в голоценовое время (табл. 1).

Таблица 1. Биостратиграфические зоны, литология и реконструкция растительности по данным изучения оз.Цага-3.

Глубина, м	ПЗ	КСЗ	Название зоны	Литология	Реконструкция
8,50-8,45	1	PB	<i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> – <i>Betula nana</i> – <i>Salix</i> – <i>Cyperaceae</i>	Алеврит слоистый с песком и единичными зернами гравия	Ерниковые, ивняковые, вересковые, полярные тундры
8,45-7,62	2a	BO-1	<i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> – <i>Betula nana</i> – <i>Salix</i> – <i>Cyperaceae</i>	Алеврит слоистый	Березовые лесотундры
7,62-7,39	2b	BO-2	<i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> – <i>Pinus</i> – <i>Poaceae</i>	Алеврит слоистый, гиттия слоистая	
7,39-6,99	3a	AT-1	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> – <i>Cyperaceae</i>	Гиттия слоистая	Березово-сосновые леса
6,99-6,60	3b	AT-2	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> – <i>Alnus</i> – <i>Cyperaceae</i>	Гиттия слоистая	Березово-сосновые леса с ольхой
6,60-6,26	3c	AT-3	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> – <i>Picea</i> – <i>Cyperaceae</i>	Торф	Березово-сосновые леса с елью
6,26-5,68	4a	SB-1	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> – <i>Alnus</i> – <i>Cyperaceae</i>	Гиттия	Березово-сосновые леса и березово-еловые леса с ольхой
5,68-4,58	4b	SB-2	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> – <i>Picea</i> – <i>Cyperaceae</i>	Гиттия	Березово-сосновые и березово-еловые леса
4,58-3,00	5	SA	<i>Pinus</i> – <i>Picea</i> – <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> – <i>Betula nana</i> – <i>Cyperaceae</i>	Гиттия	Березово-сосновые и березово-еловые леса, ерниковые и ивняковые болота

Пребореальный период. Низкое содержание пыльцы древесной растительности, наличие максимумов пыльцы *Betula nana*, *Salix*, *Ericales*, *Cyperaceae* – типичных обитателей тундр и лесотундр [Геоботаническое районирование..., 1989] – и *Chenopodiaceae* и *Artemisia* – растений-индикаторов открытых пространств [Малясова, 1974] – указывают на развитие тундровой или лесотундровой растительности. Результаты биомизации показывают преобладание лесотундровых сообществ. Однако, характерные для этой части Кольского п-ва более суровые современные климатические условия [Атлас Мурманской области, 1971] и присутствие в этом районе остатков массивов мертвого льда дольше, чем на окружающей территории [Величко и др., 2017], а также высокие значения привноса терригенного материала в озеро (см. ниже), указывающие на разреженный растительный покров района, говорят о развитии скорее тундровых ландшафтов. Накопление слоистых алевритов с песком и единичными зернами гравия в интервале глубин 8,50-8,45 м (на протяжении всего периода), по-видимому, связано с дегляциацией территории – ее освобождением от массивов мертвого льда [Величко и др., 2017; Евзеров, 2015]. Геохимические индикаторы K/Al и Ti/Al показывают высокие значения привноса аллохтонного материала [Kylander et al., 2011] в условиях восстановительной среды (соотношение Mn/Fe [Boyle, 2002]) и практически нулевой биопродуктивности (индикатор Si/Ti [Melles et al., 2012]).

В пребореальное время на окружающей озеро территории были развиты ерниковые, ивняковые, вересковые, разнотравные и полярные тундры. В районе оз. Цага-3 располагались массивы погребенного льда. Климат был суровее современного.

Бореальный период. Постепенное повышение доли древесной пыльцы и максимальные содержания пыльцы *Betula sect. Albae* свидетельствуют о стабильном улучшении климата и распространении сообществ с доминированием березы. При этом, относительно высокое содержание пыльцы *Salix*, *Ericales*, *Artemisia* и *Chenopodiaceae* позволяют предполагать относительно широкое распространение лесотундровых растительных сообществ. Распространение формаций такого типа подтверждает и метод биомов. Пики содержания пыльцы термофильных древесных пород (*Fraxinus*, *Carpinus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Quercus*) в зоне 2b также свидетельствует о нарастающем потеплении; однако, в формировании древостоя широколиственные породы не участвуют [Малясова, 1974]. В зоне 2b наблюдается понижение доли пыльцы *Betula nana*, *Salix* и *Cyperaceae*, повышение доли пыльцы *Pinus*, что может указывать на увеличение облесенности территории и постепенном потеплении. Происходит накопление слоистых алевритов. Геохимические индикаторы привноса материала (K/Al, Ti/Al) показывают снижение его количества – это может происходить за счет развития более сомкнутого растительного покрова. Слоистость алеврита может объясняться отсутствием биотурбации (что согласуется с низкими показателями биопродуктивности водоема – индикатор Si/Ti). Вверх по разрезу слоистые алевриты сменяются слоистой гиттией. Наблюдается небольшое повышение биопродуктивности.

В бореальное время в районе озера широкое распространение получают березовые лесотундровые заросли. К концу периода начинает распространяться сосна. Заметна тенденция к постепенному и стабильному потеплению.

Атлантический период. Доминирующую роль в спектрах занимает пыльца *Pinus* – это характерный признак атлантического периода; полученная радиоуглеродная датировка 6900 ± 250 кал. л.н. (ЛУ-9794, глубина 6,94-7,00 м) подтверждает этот вывод. Доли пыльцы *Pinus* и *Betula sect. Albae* примерно равны. Так, в этот период реконструируются березово-сосновые леса. Судя по набору пыльцы трав и спор, леса, скорее, имеют северотаежный или среднетаежный облик. Пики содержания пыльцы ольхи и широколиственных пород в зоне 3b говорят о наиболее благоприятном климате в период АТ-2; но присутствие широколиственных пород в лесах маловероятно, однако, появляется ольха. В зоне 3с фиксируется значительная доля пыльцы ели. Идет накопление слоистой гиттии, которое прерывается прослоем торфа. Восстановительные условия резко сменяются на окислительные перед началом торфонакопления (индикатор Mn/Fe); это указывает на насыщение глубинных вод кислородом при снижении уровня воды в водоеме. Биопродуктивность (индикатор Si/Ti) остается на стабильно невысоком уровне. Продолжается накопление слоистых осадков, что может быть связано с отсутствием биотурбации в водоеме.

Растительность атлантического периода представляет собой северотаежные (среднетаежные) березово-сосновые леса. Для лесов середины периода характерна примесь ольхи, а для конца периода – примесь ели. В конце атлантического времени уровень озера сильно и резко снижается, начинается зарастание водоема. Климат благоприятнее современного.

Суббореальный период. Особенностью спорово-пыльцевых спектров является преобладание пыльцы *Pinus* и возрастающая роль пыльцы *Picea*. Для образца на глубине 5,96-6,02 м получен радиоуглеродный возраст 5350 ± 270 кал. л. н. (ЛУ-9793). В районе озера в это время произрастают березово-сосновые и березово-еловые леса; для лесов первой половины периода характерна примесь ольхи. Разнообразие пыльцы трав и спор становится беднее; лесные формации можно отнести к подтипу северной тайги. Метод биомизации это подтверждает. Интервал представлен массивной гиттией. Данные геохимического анализа говорят о резком повышении биопродуктивности водоема (индикатор Si/Ti) – причем пик продуцирования биогенного кремния связывается именно с суббореальным периодом; придонные части озера находятся в условиях плохой циркуляции (Mn/Fe).

Растительность суббореального периода представлена березово-сосновыми и березово-еловыми лесами. В начале периода в качестве примеси в лесах присутствует ольха. Леса второй половины периода уже имеют значительное сходство с современными. Климатические условия прохладнее и влажнее современных.

Субатлантический период. Спорово-пыльцевые спектры существенно не меняются. Незначительно возрастает доля пыльцы *Betula nana*, *Salix*, *Ericales*, что может свидетельствовать о росте заболоченности и является общей чертой субатлантической растительности Кольского п-ва [Лебедева, 1984]. Однако, радиоуглеродная датировка 4920 ± 320 кал. л.н. (ЛУ-9792), на глубине 4,44-4,50 м плохо согласуется с палиностратиграфией и, по-видимому, удревнена. В этот период продолжают накапливаться гиттии. Геохимические показатели существенно не меняются.

В субатлантическое время на окружающей озеро территории произрастают березово-сосновые и березово-еловые леса с островками заболоченных пространств с карликовой березкой и ивой. Такой состав растительности хорошо согласуется с доминантами и субдоминантами древесно-кустарниковой группы современного растительного покрова территории оз. Цага-3.

Реконструированные этапы развития растительности и климата голоцена позволили уточнить данные, полученные для центральной части Кольского п-ва в ходе предыдущих исследований [Величко и др., 2017; Лебедева, 1984; Павлова и др., 2011].

Часть работ выполнена в рамках темы НИР ГИ КНЦ РАН АААА-А19-119100290145-3.

ЛИТЕРАТУРА

Арсланов Х.А. Радиоуглерод. Геохимия и геохронология. – Л.: Изд. Ленинградского университета, 1987. – 300 с.

Атлас Мурманской области. М.: ГУГК НИГЭИ ЛГУ, 1971. 33 с.

Величко А.А., Фаустова М.А., Писарева В.В., Карпугина Н.В. История Скандинавского ледникового покрова и окружающих ландшафтов в валдайскую ледниковую эпоху и начале голоцена // Лёд и Снег. 2017. №57(3). С. 391–416. doi: 10.15356/2076-6734-2017-3-391-416

Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Под ред. В.Д. Александровой, Т.К. Юрковской. Л.: Наука, 1989.

Евзеров В.Я. Геология четвертичных отложений Кольского региона. Апатиты: К&М, 2015. 196 с.

Лебедева Р.М. История развития растительности северо-востока Балтийского щита в антропогене // Природа и хозяйство Севера. 1984. № 12. С. 25–29.

Малясова Е.С., Ельчанинова Е.М., Вишневская Е.М. Пыльца и споры из донных осадков озер центральной части Кольского полуострова и некоторые вопросы палеогеографии голоцена этой территории // Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Л.: Наука, 1974. С. 244–263.

Николаева С.Б., Лаврова Н.Б., Толстобров Д.С., Денисов Д.Б. Реконструкция палеогеографических обстановок голоцена в районе озера Имандра (Кольский регион): результаты палеолимнологических исследований // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 5. С. 34–47. doi: 10.17076/lim49

Павлова Е.Ю., Дорожкина М.В., Девятова Э.И. Природная среда и климат Верхнепонойской депрессии (Кольский п-ов) в позднем неоплейстоцене – голоцене (по данным палинологического анализа донных отложений оз. Чурозеро) // Тезисы докладов VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода: Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. 2011. Т. 2. С. 128–131.

Хотинский Н.А. Радиоуглеродная хронология и корреляция природных и антропогенных рубежей голоцена // Новые данные по геохронологии четвертичного периода. М.: Наука, 1987. С. 39–45.

Boyle J.F. Inorganic geochemical methods in palaeolimnology // Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Physical and Geochemical Methods. Dordrecht: Springer, 2002. P. 83–141. doi: 10.1007/0-306-47670-3_5

Bronk Ramsey C. OxCal 4.4.2 [Электронный ресурс]. 2020. URL: <http://c14.arch.ox.ac.uk> (дата обращения: 6.05.2021).

Dean W.E.Jr. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods // Journal of Sedimentary Petrology. 1974. Vol. 44. Is. 1. P. 242–248. doi: 10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D

Faegri K.S., Iversen J. Textbook of Pollen Analysis. Chichester: John Wiley, 1989. 328 с.

Prentice C., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka // Climate Dynamics. 1996. Vol. 12. Is. 3. P. 185–194. doi: 10.1007/BF00211617

RECONSTRUCTION OF THE NATURAL ENVIRONMENT OF THE TSAGA-3 LAKE REGION (KOLA PENINSULA) IN HOLOCENE ACCORDING TO INTEGRATED INVESTIGATIONS

¹Vasilyeva A.V., ¹Savel'eva L.A., ²Tolstobrov D.S., ¹Petrov A.Yu.

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Geological Institute of the KSC RAS, Apatity, Russia

The Holocene bottom sediments of the Tsaga-3 Lake (Kola Peninsula) are studied by means of spore-pollen analysis, geochemical analysis and radiocarbon dating. The results of the studies as well as biome reconstruction suggest the dominance of tundra in the preboreal period. Birch forests propagated in the boreal time. Birch-pine taiga forests developed within the studied territory in the Atlantic period. In the subboreal/subatlantic time, the vegetation of the region was characterized by birch-pine and birch-spruce forests. The highest values of the lake's bioproductivity are associated with the subboreal period.

Keywords: *vegetation, spore-pollen analysis, biome, geochemical analysis, radiocarbon dating*