

Озеро Кучерлинское: варвохронология и геохимические индикаторы изменений климата позднего голоцена

Дарьин А.В.¹, Бабич В.В.¹, Новиков В.С.¹, Чу Г.²

¹ Институт геологии и минералогии им. В.Н. Соболева СО РАН, Новосибирск, avd@igm.nsc.ru

² Институт геологии и геофизики КАН, Китай

Аннотация. Ледниковое озеро Кучерлинское расположено в горах Алтая на высоте 1790 м над уровнем моря. Исследована верхняя часть (200 мм) керна, полученного в марте 2018 г. из самой глубокой части озера (45 м). В процессе отбора керна особое внимание было уделено сохранению верхних слоев донных отложений (граница вода–осадок). Донные отложения озера содержат визуальные слои толщиной 1–3 мм. Подсчет слоев проводился по фотографиям оптических шлифов, после чего проводилось сравнение с распределением интенсивности изотопов Cs-137 и Pb-210. Полученные данные используются для создания возрастной модели высокой точности и достоверности. Была построена возрастная модель для последнего столетия. Методом сканирующего рентгенофлуоресцентного анализа получены распределения породообразующих и микроэлементов по глубине керна. Сравнение с инструментальными метеонаблюдениями за временной интервал 1940–2016 гг. показало наличие устойчивой связи погодно-климатических параметров с составом датированных слоев донных осадков.

Ключевые слова: варвы, озерные отложения, хронология, изотопные исследования, сканирующий микроанализ, трансферные функции.

Lake Kucherlinskoe: varvechronology and geochemical indicators of the Late Holocene climate change

Darin A.V.¹, Babich V.V.¹, Novikov V.S.¹, Chu G.²

¹ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Russia

² Institute of Geology and Geophysics CAS, China

Abstract. The glacial Lake Kucherlinskoe is located in the Altai Mountains at an altitude of 1790 m above sea level. We use the upper part (200 mm) of the core obtained in March 2018 from the deepest part of the lake (45 m). In the process of coring, special attention was paid to the preservation of the upper layers of the bottom sediment (water - sediment boundary). Bottom sediments of the lake contain visual layers with a thickness of 1–3 mm. We count the layers using photographs of the optical sections. The counting the layers and comparing with the intensity distribution of the Cs-137 and Pb-210 isotopes show the annual (varve) nature of their origin. The data obtained is used to create an age model of high accuracy and reliability. An age scale of annual layer thickness over the past century was built. By the method of scanning X-ray powder diffraction, the distribution of rock-forming and trace elements along the core depth is obtained. Comparison with instrumental meteorological observations for the time interval 1940–2016 showed a stable relationship of weather and climate parameters with the composition of dated layers of bottom sediments.

Key words: varve, lake sediments, chronology, isotope studies, scanning microanalysis, transfer functions.

Введение

Ежегодно ламинированные осадочные последовательности рассматриваются мировым палеоклиматическим сообществом как один из важнейших палеоархивов (Ojala et al., 2012), поскольку в этом случае исследователи получают возможность точной временной привязки всех характеристик осадка. Отдельные годовые слои образуются сезонными поставками взвешенных частиц. В случае ледниковых озер источником вещества являются водные потоки таяния ледников. Как правило, основное количество вещества поступает в водоем в период весенне-летнего паводка. Слоистость в осадке обусловлена неравномерным осаждением терригенного материала. Более крупные частицы (алевритовые) осаждаются летом, мелкие частицы (глинистые) выпадают в осадок зимой. Таким образом, происходит формирование отдельных годовых слоев, состоящих из пары слоев алеврит–глина. Керн варвных отложений выглядят как набор ритмично повторяющихся слоев разного цвета.

Детальный подсчет годовых слоев позволяет создать точную возрастную модель (глубина керна – возраст слоя осадка) и оценить динамику изменения толщины слоев (скорость осадконакопления).

Использование методик непрерывного сканирующего микроанализа твердых образцов донных отложений (Дарьин, Ракшун, 2013; Дарьин и др., 2013) позволяет получить временные ряды изменения состава датированных слоев осадка на интервале последних десятилетий и провести сравнение с данными региональных инструментальных метеонаблюдений. Найденные зависимости можно использовать для построения и калибровки количественных функций, связывающих основные региональные метеопараметры с составом донных отложений.

Целью данной работы является построение точной и правильной возрастной шкалы современных донных осадков приледникового озера Кучерлинское (Алтай) и выявление количественных зависимостей состава донных отложений от внешних погодно-климатических условий.

Объект исследования

Озеро Кучерлинское расположено у подножия северного склона Катунского хребта в верховьях реки Кучерла на высоте 1790 м над уровнем моря. Озеро имеет ледниковое происхождение, и подпружено мощным конечно-моренным комплексом. Длина озера составляет 5 км, ширина – 1 км, максимальная глубина доходит до 45 м. Общая площадь 321 га. Озеро находится в труднодоступной местности (рис. 1) и подвержено минимальному антропогенному воздействию, что делает его перспективным объектом для палеоклиматических исследований.

Кучерлинское озеро расположено в котловине, которая замкнута с запада и востока вершинами высотой от 2700 до 3200 м, а с юга и севера – моренами различных этапов отступления Кучерлинского ледника (рис. 1).

Отбор керна и подготовка образцов

Керн донных осадков озера Кучерлинское был получен с использованием ударной трубки в марте 2018 г. Длина керна, отобранного в самой глубокой части озера с глубины 45 м, составила 115 см.



Рис. 1. Расположение озера Кучерлинское.

Fig. 1. Location of Lake Kucherlinskoye.



Рис. 2. В процессе пробоотбора особое внимание обращалось на сохранность верхней границы и ненарушенность границы вода–осадок.

Fig. 2. In the process of sampling, special attention was paid to the safety of the upper boundary and the integrity of the water–sediment boundary.

После отбора трубка с керном была плотно закрыта снизу и оставлена в вертикальном положении на несколько часов в теплом помещении. Затем вода из верхней части трубки была удалена и верх керна плотно закрыт пробкой без деформации (рис. 2). Керн был доставлен в лабораторию института геологии (Новосибирск) в вертикальном положении. Проведенные манипуляции позволили максимально сохранить верхнюю часть керна от повреждений.

В лабораторных условиях керн был вскрыт вдоль оси отбора. Половина керна была разрезана на дискретные образцы с шагом 10 мм. Вторая половина использована для изготовления твердых препаратов, пропитанных эпоксидной смолой. Подготовка твердых препаратов проводилась по методике, описанной в (Дарьин и др., 2013). Из твердых препаратов были изготовлены оптические шлифы, перекрывающие верхний интервал керна осадков от 0 до 170 мм.

Построение возрастной модели

Варвохронология

Фотографии оптических шлифов были сделаны в двух вариантах – в отраженном свете без увеличения (оптический сканер) и в проходящем свете в оптическом микроскопе с 2.5-кратным увеличением. Подсчет проводился по визуально выделяемым парам – светлый-темный слой. Пример подсчета для одного из шлифов представлен на рисунке 3.

Изотопные исследования

Распределение активности изотопов Cs-137 и Pb-210 для верхнего интервала керна 0–200 мм сделаны в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск) с использованием гамма-спектрометрии по методике (Бобров и др., 1999). Результаты представлены на рисунке 4.

Полученные изотопные данные позволяют оценить положение максимальной активности Cs-137 в 160-170 мм от границы вода–осадок. Это соответствует времени глобальных выпадения после испытаний 1961-62 гг. (Appleby, 1997). На рисунке 5 представлены варианты подсчета слоев,

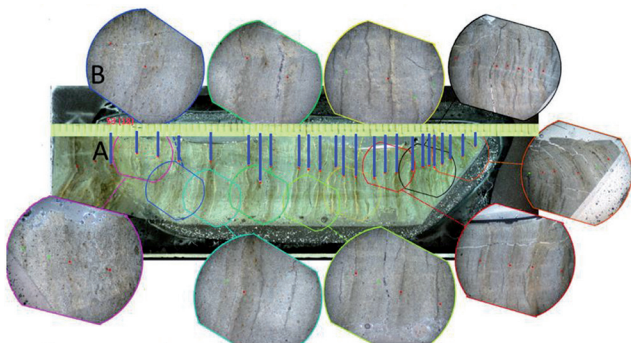


Рис. 3. А – изображение шлифа без увеличения, полученное на оптическом сканере, В – части шлифа в оптическом микроскопе с 2.5-кратным увеличением.

Fig. 3. A – image of a thin section without magnification made on an optical scanner, B – Parts of a thin section in an optical microscope with a 2.5x magnification.

сделанные двумя способами, и положение временного интервала 1961-63 гг., по данным распределения активности Cs-137.

Общее совпадение двух кривых и слоя Cs-137 подтверждает предположение о годовой природе выделяемых слоев. Максимальное расхождение в датировке слоя на глубине 165 мм составляет величину в 4 года, от 1957 г. до 1965 г. Оценка ошибки при подсчете слоев составляет величину ~ 7 %. При этом среднее значение датировки подсчетом слоев хорошо совпадает с изотопной датировкой.

Сканирующий микроанализ образцов донных осадков

Сканирующий микро-РФА на пучках синхротронного излучения проводился в ЦКП «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения» по методике (Дарьин, Ракшун, 2013). Использование синхротронного излучения для рентгенофлуоресцентного анализа (микро_РФА-СИ) донных осадков позволяет значительно снизить предел обнаружения и определять одновременно до 30 породобразующих и следовых элементов. Сканирование проводилось с шагом 0.5 мм, что существенно меньше ширины годовых слоев.

Для анализа были использованы образцы твердых препаратов донных осадков, пропитанные эпоксидной смолой. При этом пластинки для микро-РФА и для оптических шлифов были вырезаны из одного блока и имели одинаковые последовательности годовых слоев (рис. 6). Это давало возможность дополнительного контроля точности привязки данных микро-РФА к датированным слоям донных осадков.

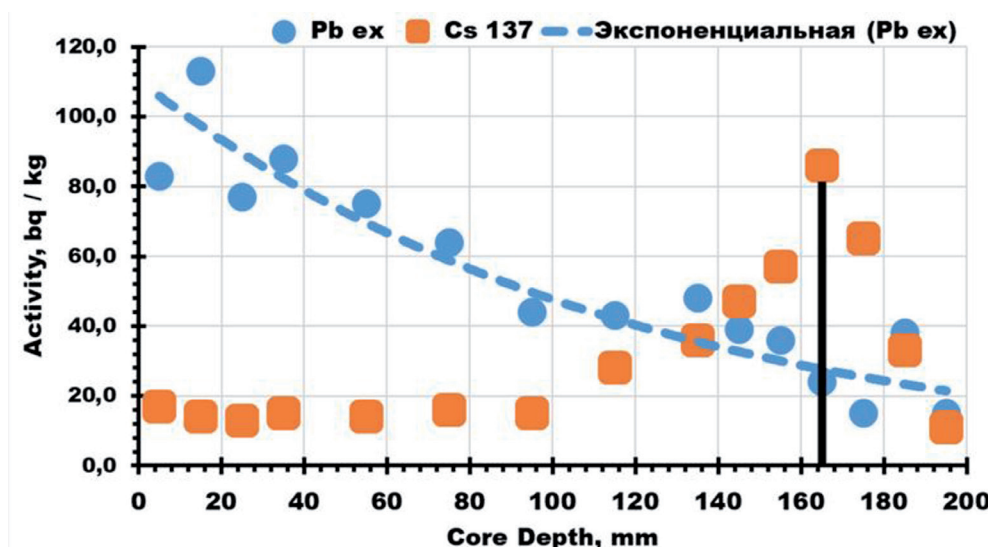


Рис. 4. Распределение активности изотопов Cs-137 и Pb-210 вдоль верхней части (0-200 мм) керна донных осадков оз.Кучерлинское.

Fig. 4. Distribution of the activity of the Cs-137 and Pb-210 isotopes along the upper part (0-200 mm) of the core of bottom sediments of Lake Kucherla.

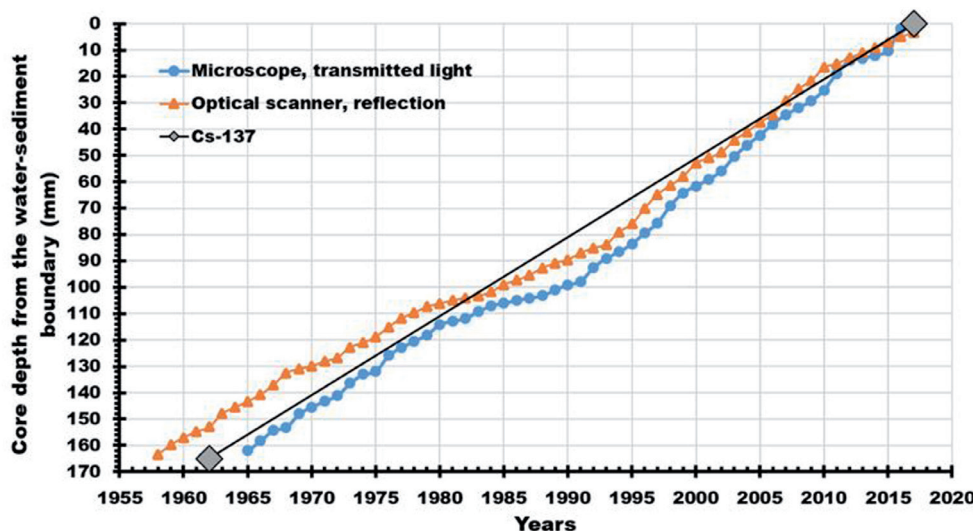


Рис. 5. Возрастная модель для верхней части (0-170 мм) керна Kuch-2, по данным варвохронологии и изотопным анализам.

Fig. 5. Age model for the upper part (0-170 mm) of the Kuch-2 core, according to varve chronology and isotope analyzes.

Построение временных рядов и сравнение с данными метеонаблюдений

Пересчет линейной шкалы в годовую проводился по усредненной возрастной модели глубина керна – возраст слоя осадка. После этого все аналитические данные о распределении элементов по глубине керна были переведены на возрастную шкалу, что позволило провести прямое сравнение состава отдельных слоев донных осадков с данными региональных метеонаблюдений по ранее отработанному алгоритму (Дарьин и др., 2015).

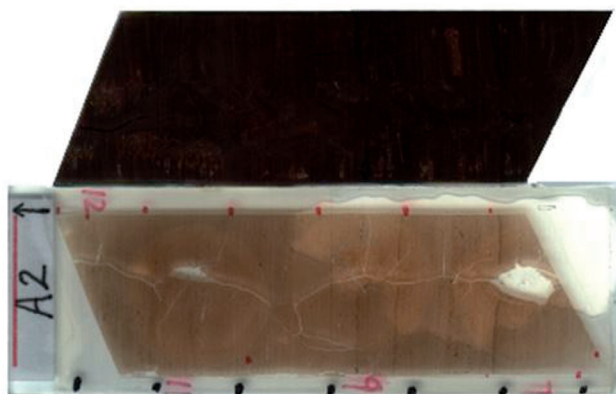


Рис.6. Плоскопараллельная пластинка толщиной 2 мм (вверху), используемая для проведения микро-РФА-СИ и оптический шлиф (внизу), соответствующий анализируемой поверхности, изготовлены из твердого препарата донного осадка.

Fig. 6. A plane-parallel plate with a thickness of 2 mm (top) used to conduct Micro-XFA and an optical thin section (bottom) corresponding to the analyzed surface are made of a solid preparation of bottom sediment.

Для сравнения использованы данные метеостанции Кара-Тюрек, расположенной в 15 км от озера Кучерлинское за временной интервал 1940-2016 гг. (данные взяты с сайта <http://meteo.ru/data>). С использованием подходов, представленных в (Бабич и др., 2015), методом множественной регрессии построены функции, связывающие региональные погодно-климатические метеопараметры (среднегодовая температура – T и количество атмосферных выпадений – Pr) с литолого-геохимическими данными.

Функция для среднегодовой температуры выглядит следующим образом:

$$T = 1.103xTi + 0.131xNi - 0.939xSr + 1.535xY + 2.920xNb - 1.623xMo - 7.505.$$

Функция для атмосферных выпадений выглядит следующим образом:

$$Pr = 55.964xMn + 93.354xFe + 72.755xNi - 179.487xCu - 111.561xAs - 143.347xSr - 54.758xY + 272.812xMo + 642.349$$

Коэффициенты корреляции на погодовой шкале равны: для температуры +0.59, для атмосферных выпадений +0.51. Для 76 точек это значимые, высокие коэффициенты, свидетельствующие о наличии устойчивой линейной связи между вариациями региональных метеопараметров и составом донных осадков, формирующихся под воздействием внешних погодно-климатических условий.

Работа выполнена в рамках госзадания ИГМ СО РАН и поддержана из средств грантов РФФИ (18-55-53016, 19-05-50046).

Литература

1. Бабич В.В., Рудая Н.А., Калугин И.А., Дарьин А.В. опыт комплексного использования геохимических особенностей донных отложений и палинологических записей для палеоклиматических реконструкций (на примере оз. Телецкое, российский алтай) // Сибирский экологический журнал. 2015. Т. 22. № 4. С. 497–506.
2. Бобров В.А., Калугин И.А., Клеркс Ж., Дучков А.Д., Щербов Б.Л., Степин А.С. Современная скорость осадконакопления в Телецком озере по данным гамма-спектрометрии (^{137}Cs) // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 4. С. 530.
3. Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В. Сканирующий рентгеноспектральный микроанализ образцов донных осадков с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2013. Т. 77. № 2. С. 204.
4. Дарьин А.В., Ракшун Я.В. Методика выполнения измерений при определении элементного состава образцов горных пород методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2013. № 2 (51). С. 112–118.
5. Дарьин А.В., Александрин М.Ю., Калугин И.А., Соломина О.Н. Связь метеорологических данных с геохимическими характеристиками современных донных осадков оз. Донгуз-Орун, Кавказ // Доклады Академии наук. 2015. Т. 463. № 5. С. 602.
6. Appleby P.G. The use of ^{210}Pb and ^{137}Cs as tracers in modelling transport processes in lake catchment systems // Studies in Environmental Science. 1997. V. 68. P. 441–448.
7. Ojala A.E.K., Francus P., Zolitschka B., Besonen M., Lamoureux S.F. Characteristics of sedimentary varve chronologies – A review // Quaternary Science Reviews. 2012. V. 43. P. 45–60.