

На правах рукописи

Маркова Юлия Николаевна

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ УСЛОВИЙ
ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ОЗЕРАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В ПОЗДНЕМ
ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ**

Специальность 25.00.09. – геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск - 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения РАН

Научный руководитель:

Кузьмин Михаил Иванович, доктор геолого-минералогических наук, академик РАН

Официальные оппоненты:

Плюснин Алексей Максимович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Геологический институт СО РАН, заместитель директора

Солотчин Павел Анатольевич, кандидат геолого-минералогических наук, Институт геологии и минералогии СО РАН, старший научный сотрудник

Ведущая организация:

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

Защита состоится 29 ноября 2012 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 003.059.01 при Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН по адресу: 664033, Иркутск, ул. Фаворского 1а, факс (3952)427050, e-mail: korol@igc.irk.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН по адресу: 664033, Иркутск, ул. Фаворского 1а

Автореферат разослан 15 октября 2012 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

к.г.-м.н.

 Г.П. Королева

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время большое внимание уделяется исследованию эволюции климата и окружающей среды. Это связано с необходимостью получения как кратковременных, так и долгосрочных климатических прогнозов глобального и локального масштаба. История становления современного климата и природной среды записана в осадочных разрезах. Их исследования показали, что не только морские отложения представляют собой надежный источник информации об изменениях окружающей среды прошлого [Shakelton et al., 1995], но и континентальные осадки являются важным и перспективным объектом для палеоклиматических реконструкций [Кузьмин и др., 2001]. В последние десятилетия внимание научного сообщества привлекают озера Центральной Азии (Байкал, Хубсугул, Тельмен, Котокель и др.), донные отложения которых регистрируют изменения климата и природной среды за значительный период времени. Исследование закономерностей распределения элементов в донных отложениях этих озер и выявление геохимических индикаторов изменения условий осадконакопления является одним из приоритетных направлений в современных науках о Земле, поскольку оно также дает ценные сведения о состоянии природной среды и климата. Для решения подобных задач в геологии и геохимии и выявления антропогенного воздействия необходима информация об элементном составе анализируемых донных отложений. Для получения подобной информации требуется привлечение многоэлементных экспрессных методов анализа, к которым относится рентгенофлуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения (РФА СИ). Данный метод позволяет проводить измерения в локальном и сканирующем режимах [Федорин и др., 2001; Гольдберг и др., 2005; Калугин и др., 2005; Дарьин и др., 2005; Бобров и др., 2012; Маркова и др., 2011, 2012]. Сканирующий РФА СИ дает возможность получать детальные осадочные летописи высокого разрешения.

Целью работы является реконструкция изменения условий осадконакопления в позднем плейстоцене и голоцене в озерах Центральной Азии (Байкал, Хубсугул и Тельмен) на основе изучения геохимических особенностей их донных отложений, а также выявление антропогенной составляющей при формировании донных осадков.

В задачи исследований входило:

1. Определить элементный состав донных отложений озер Центральной Азии (Байкал, Хубсугул, Тельмен) методами рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и РФА СИ и оценить точность результатов при использовании методики РФА СИ.
2. Установить различия в элементном составе озерных осадков для ледниковых и межледниковых периодов.
3. Выявить в донных отложениях элементы-индикаторы, отражающие изменения условий осадконакопления.
4. Выявить элементы-индикаторы антропогенного воздействия в осадочном разрезе залива Провал (оз. Байкал).

Фактический материал и методы исследований. Для геолого-геохимических исследований были использованы следующие материалы: керн Ver 93/2 GC-24 (станция 24), отобранный гравитационной трубкой в западной части Селенгино-Бугульдейской перемычки (предоставлен сотрудниками ИГХ СО РАН Карабанным Е.Б. и Гвоздковым А.Н.); осадочная колонка № 14 из залива Провал, отобранная гравитационной трубкой в ходе совместных с ИЗК СО РАН полевых работ; керн из озера Хубсугул (керн GC-46), отобранный сотрудником ИГХ СО РАН м.н.с. Ивановым Е.В. донной трубкой; керн из озера Тельмен (Telmen St2), полученный с использованием мобильного пробоотборного комплекса в совместной российско-монгольской экспедиции. Данные по минеральному составу керна Ver 93/2 GC-24 предоставлены д.г.-м.н. Солотчиной Э.П. (ИГГМ СО РАН). Определение содержания биогенного кремнезема в донных отложениях выполнила ведущий инженер ИГХ СО РАН Арсенюк М.И., РФА проведен сотрудником ИГХ СО РАН д.х.н. Гуничевой Т.Н. РФА СИ выполнен в ЦКП «Сибирский центр синхротронного излучения ИЯФ СО РАН».

Защищаемые положения:

1. Точность результатов, полученных с помощью примененной методики измерений РФА СИ, обеспечивает достоверность данных для проведения палеоклиматических реконструкций. Относительные стандартные отклонения определения содержания элементов, выбранных в качестве индикаторов, находятся в диапазоне 4–13% отн., что меньше изменения значений содержания этих элементов по разрезу.
2. Установлено, что Ca, Sr, Br, Ti, Al, Mg являются геохимическими индикаторами условий осадконакопления озер Байкал, Хубсугул и Тельмен. Вариации содержания данных элементов-индикаторов связаны с климатическими изменениями голоцена и позднего плейстоцена и могут быть использованы для реконструкции природной среды и климата Центральной Азии.
3. Химический состав донных отложений залива Провал фиксирует антропогенный вклад в формирование осадочной толщи Усть-Селенгинской впадины, что выражается в повышенном содержании Fe, Ni, Zn, Cu во временном интервале 1940-1990 гг.

Научная новизна. Впервые оценена точность результатов методики измерения элементного состава методом РФА СИ с применением государственных стандартных образцов (ГСО) состава донного ила оз. Байкал БИЛ-1, донных отложений оз. Байкал БИЛ-2, карбонатного фонового ила СГХ-1 и терригенного фонового ила СГХ-3. Впервые было выполнено высокоразрешающее сканирование тонкослоистых донных отложений оз. Тельмен.

Практическая значимость. Апробация методики измерений РФА СИ проведена на уникальных природных объектах – донных отложениях оз. Байкал (залив Провал) и оз. Тельмен. Определение элементного состава донных отложений многоэлементными методами анализа и изучение распределения элементов в осадках озер

Байкал, Хубсугул, Тельмен позволили выявить индикаторы изменения условий осадконакопления. Результаты, полученные в рамках данного исследования, могут быть использованы при реконструкции природной среды Центрально-Азиатского региона и для прогноза климатических изменений в будущем. Полученные данные также могут быть учтены при разработке региональных стратиграфических схем и при чтении специальных курсов в вузах.

Личный вклад автора. Исследования в ИЯФ СО РАН проводились автором в рамках проекта РФФИ «Научная работа российского молодого ученого Марковой Юлии Николаевны в центре коллективного пользования ИЯФ СО РАН с целью изучения современных донных отложений озера Байкал и выбора геохимических индикаторов изменения условий осадконакопления». Автором лично проведена подготовка образцов донных отложений из озер Байкал, Хубсугул, Тельмен для РФА и РФА СИ. Элементный анализ методом РФА СИ выполнен также лично автором, либо при его непосредственном участии. Исследование керн из залива Провал осуществлялось при участии автора во всех этапах работы от его отбора до интерпретации полученных данных.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты исследований представлены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях: III Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле (г. Новосибирск, 2006 г.); II летнем симпозиуме «НОЦ Байкал – стратегия развития» (п. Б. Коты, 2007 г.); Международном симпозиуме «Terrestrial Environmental Changes In East Eurasia and Adjacent Areas» (г. Иркутск, 2007 г.); Всероссийской конференции «Проблемы геохимии и окружающей среды» (г. Иркутск, 2007 г.); XVII международной конференции по использованию синхротронного излучения СИ-2008 (г. Новосибирск, 2008 г.); Международном симпозиуме «Environmental Changes In East Eurasia and Adjacent Areas» (п. Хатгал, Монголия, 2008 г.); XVII международной конференции по использованию синхротронного излучения ANKA (г. Карлсруе, Германия, 2008 г.); XVIII международной конференции по использованию синхротронного излучения «СИ-2010» (г. Новосибирск, 2010 г.); II Всероссийской научно-практической конференции «Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле» (п. Листвянка, 2011 г.); XIX Национальной конференции по использованию синхротронного излучения «СИ-2012» (г. Новосибирск, 2012 г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Материалы исследований изложены на 138 страницах, содержат 26 рисунков, 6 таблиц и 2 приложения. В списке цитируемой литературы 130 наименований, в том числе 30 иностранных.

Благодарности. Автор выражает глубокую и искреннюю благодарность научному руководителю академику РАН д.г.-м.н. М.И. Кузьмину за постановку задачи и всестороннюю помощь на всех этапах работы. Автор выражает

признательность академику д.ф.-м.н. Г.Н. Кулипанову и к.ф.-м.н. К.В. Золотареву за активную помощь и содействие во время работы в ИЯФ СО РАН. Особую благодарность автор приносит д.г.-м.н. Э.П. Солотчиной за постоянное внимание, ценные советы, поддержку. Автор выражает благодарность д.г.н. Е.В. Безруковой, д.г.-м.н. А.Я. Медведеву, к.х.н. Г.В. Калмычкову, к.г.-м.н. С.С. Костровой, к.г.-м.н. А.В. Горегляду и к.г.-м.н. А.Б. Перепелову, чьи советы и консультации способствовали подготовке отдельных разделов работы. Автор благодарит вед. инженера Е.В. Кербера, к.х.н. Е.А. Анчутину, к.г.-м.н. О.В. Зарубину, к.г.-м.н. А.И. Кузнецову за помощь и консультации при обработке полученных данных. Автор признателен д.т.н. А.Л. Финкельштейну, к.х.н. Е.Н. Тарасовой, к.г.-м.н. В.А. Бычинскому, д.г.-м.н. Е.Б. Карабанову, к.г.-м.н. А.Н. Гвоздкову, к.г.-м.н. Я.Б. Радзиминовичу, д.г.-м.н. И.А. Калугину, к.г.-м.н. А.В. Дарьину и д.т.н. И.Е. Васильевой, способствовавшим выполнению различных этапов работы. Глубокую признательность автор выражает инженеру-программисту В.В. Максимовской, н.с. К.Э. Куперу, н.с. А.А. Легкодымову, к.ф.-м.н. Б.А. Гольденбергу и всем другим сотрудникам Института ядерной физики СО РАН за искреннее участие, советы и консультации. Автор сердечно благодарит за всестороннюю помощь и дружескую поддержку сотрудников ИЗК СО РАН к.г.-м.н. Е.Г. Вологину и м.н.с. П.А. Шолохова.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 09-05-90710 («Научная работа российского молодого ученого...») и № 08-05-98108_сибирь_a.

Глава 1. ИЗУЧЕННОСТЬ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ (ЮГ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И СЕВЕРНАЯ МОНГОЛИЯ), (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ)

В главе представлен литературный обзор, в котором рассмотрены вопросы изученности донных отложений и поиска геохимических индикаторов изменения условий осадконакопления в озерах исследуемого региона, приведены физико-географические характеристики озер Байкал, Хубсугул и Тельмен, их геолого-структурные особенности, климатические условия и гидрологическая характеристика объектов исследования.

В донных отложениях Байкала, Хубсугула и других континентальных озер заключена информация об изменении природной среды и климата [Kuzmin et al., 1999; Карабанов и др., 2000]. Одним из масштабных международных исследовательских проектов для континентов является глубоководное бурение на Байкале [Кузьмин и др., 1993, 2001; Williams et al., 1997 и др.], в результате которого были получены уникальные данные, позволяющие реконструировать глобальные и региональные изменения климата и окружающей среды. Осадочные разрезы оз. Байкал являются непрерывными на протяжении 5 – 8 миллионов лет [Коллектив..., 2000; Антипин и др., 2001], что делает их особенно важными при проведении палеоклиматических реконструкций. Более того, байкальская осадочная запись наиболее чувствительна к изменениям климата в силу географического расположения озера в высоких широтах с

четким проявлением режима солнечной радиации [Кузьмин и др., 2008]. Проект «Хубсугул - бурение», являющийся продолжением научной программы бурения на оз. Байкал, позволил получить новую информацию о природно-климатических изменениях в Центральной Азии и подтвердил, что осадочная запись оз. Хубсугул представляет значительный интерес для расшифровки палеоклимата данного региона [Коллектив..., 2007].

Согласно литературным данным [Коллектив..., 1995; Кузьмин и др., 2001 и др.], для донных отложений озер Байкал и Хубсугул характерна ритмичная структура осадков верхней части разреза, формирование которой обусловлено климатическими изменениями. Первый от поверхности слой сложен биогенными илами, содержащими множество остатков кремнистых диатомовых водорослей. Его подстилает слой терригенных осадков, где содержание диатомовых водорослей минимально. Это позволяет заключить, что выделенные толщи в разрезах обоих озер сформированы в различных условиях осадконакопления. Диатомовые илы формировались в теплые эпохи межледниковья, а терригенные – в холодное ледниковое время.

Изучению оз. Тельмен (Северная Монголия) посвящен ряд работ [Peck et al., 2002; Fowell et al., 2003; Cheng-Bang An et al., 2008], которые показали, что донные осадки озера имеют годовую слоистость (варвы). Тонкослоистые отложения представляют большой интерес для исследователей, поскольку дают возможность проводить высокоразрешающие палеоклиматические реконструкции.

Сопоставление осадочных разрезов озер Байкал и Хубсугул, а также использование геохимической информации из других озер Центральной Азии (например, оз. Тельмен) является важным и перспективным для изучения палеоклимата и выявления геохимических индикаторов, отражающих изменения окружающей среды данного региона. На сегодняшний день известны биогенные (например, SiO_2 биог., $\text{C}_{\text{орг}}$) и неорганические (например, Ba, Th) индикаторы изменения климата. Однако вопрос поиска геохимических индикаторов остается открытым, поскольку в настоящее время, в связи с развитием высокопроизводительных методов анализа, стало возможным изучение осадочных летописей с высоким временным разрешением, для которых необходимо выявить элементы, обладающие индикаторными свойствами.

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей главе представлен использованный в работе фактический материал, описаны методы его анализа (определение содержания биогенного кремнезема, датирование образцов, минералогический анализ, РФА и РФА СИ). Особое внимание уделено РФА СИ, поскольку с его помощью было получено большинство фактических данных. Подробно описаны принцип работы станции, достоинства метода (недеструктивность, простота пробоподготовки, многоэлементность, возможность работы с малыми навесками). Приведена оценка показателей качества методики измерений РФА СИ, выполненная с использованием государственных стандартных образцов (ГСО)

составов донного ила и донных отложений озера Байкал (БИЛ-1 и БИЛ-2), карбонатного ила (СГХ-1) и терригенного фонового ила (СГХ-3), разработанных в ИГХ СО РАН [Каталог стандартных образцов, 2010]. Поскольку для РФА СИ исследования озерных отложений использовалась «Методика определения элементного состава образцов магматических, метаморфических, осадочно-метаморфических и осадочных горных пород методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием в качестве рентгеновского источника синхротронного излучения» [Методика..., 2006], необходимо было оценить точность результатов, получаемых с помощью этой методики для донных отложений. Оценки показателей качества методики – повторяемости, внутрилабораторной прецизионности, правильности и точности результатов (табл. 1) были определены согласно ОСТ 41-08-205-04 [ОСТ 41-08-205-04, 2004]. Установлено, что оценки показателей внутрилабораторной прецизионности составляют не более 10 % отн. Суммарная погрешность (показатель точности), в целом, не превышает погрешности, прописанной в методике [Методика..., 2006]. Показатели повторяемости и внутрилабораторной прецизионности почти не отличаются друг от друга. В общем случае разброс в результатах определения элементов может быть связан как с инструментальными погрешностями, так и с различиями матричных составов использованных ГСО и возможным проявлением неоднородности распределения элементов при использовании аналитических навесок меньше представительных [Маркова и др., 2012].

Таблица 1. Показатели качества методики РФА СИ для анализа донных отложений [Маркова и др., 2012]

Элемент	Диапазон, % мас.	C _{min} - C _{max}	% отн.				
			σ_r	$\sigma_{Rл}$	$\sigma_{Сл}$	$\sigma_{(\Delta)}$	$\sigma_{M(\Delta)}$
Ca	0,1-10	0,30-5,54	8	10	6	11	10
Cu	0,005-0,01	0,0018-0,0052	9	10	9	13	20
Fe	0,1-10	3,78-6,13	7	8	6	10	10
K	0,1-10	1,25-2,02	10	10	6	12	10
Rb	0,001-0,01	0,0039-0,0093	4	4	3	5	15
Sr	0,001-0,1	0,013-0,058	3	3	2	4	5
Ti	0,1-10	0,3-0,6	9	9	3	10	10
Y	0,001-0,01	0,0022-0,0030	4	4	6	7	15
Zn	0,005-0,01	0,0050-0,0096	5	5	2	5	20
Zr	0,001-0,1	0,013-0,022	8	9	4	10	15

Примечания. Диапазон содержания приведен согласно методике [Методика..., 2006]; C_{min}-C_{max} – минимальные и максимальные значения содержания элементов в использованных ГСО; σ_r – относительное среднеквадратичное отклонение (ОСКО) повторяемости; $\sigma_{Rл}$ – ОСКО внутрилабораторной прецизионности; $\sigma_{Сл}$ – ОСКО систематической погрешности; $\sigma_{(\Delta)}$ – ОСКО погрешности результатов анализа, полученных при реализации методики (показатель точности); $\sigma_{M(\Delta)}$ – показатель точности по методике [Методика..., 2006]

Следует отметить, что содержание Вг в стандартном образце БИЛ-1 не аттестовано. Полученное нами, исходя из расчета площади пиков соседних элементов, содержание брома в БИЛ-1 составляет 0,0014 мас. %, что согласуется с результатами аттестационных определений этого элемента методом нейтронно-активационного анализа (0,0011 и 0,0014 мас. %; [Петров и др., 1994]). Это подтверждает точность полученных нами результатов. Отсюда следует, что методику измерений РФА СИ с использованием вышеперечисленных ГСО можно применять и для определения содержания Вг в донных отложениях озер, что немаловажно, поскольку бром рассматривается в качестве элемента-индикатора изменений природной среды и климата.

Применение методики измерений РФА СИ позволило получить достоверные геохимические данные. В качестве примера рассмотрим некоторые результаты анализа донных отложений озера Хубсугул. Полученное распределение Са и Sr по разрезу представлено на рис. 1. Каждый результат сопровождается интервалом погрешности,

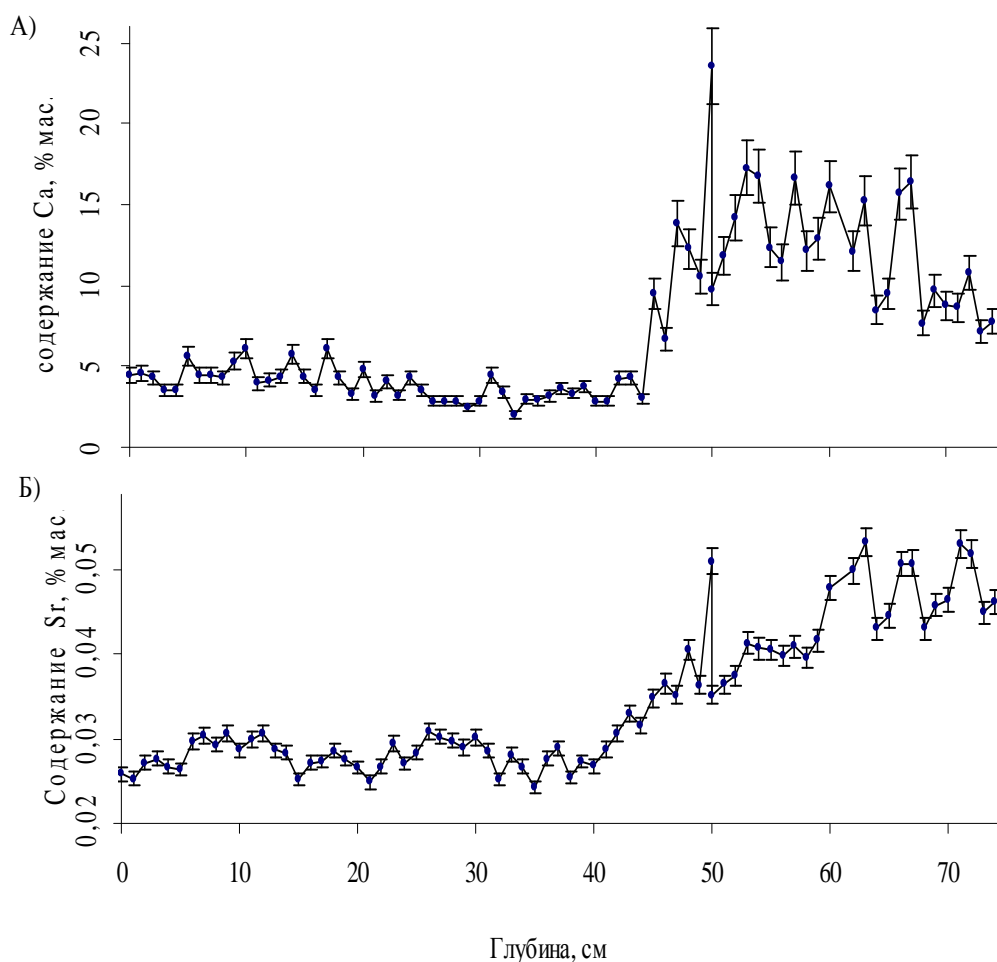


Рис. 1. Распределение элементов Са (А) и Sr (Б) по глубине керна из оз. Хубсугул с нанесенным интервалом погрешности для каждого результата [Маркова и др., 2012]

представляющим собой интервальную оценку внутрилабораторной прецизионности. Очевидно, что погрешность определения содержаний значительно меньше, чем изменения содержания элементов по разрезу. На фоне этой погрешности видны как мелкие, так и крупные вариации в элементном составе. Изменения в значениях содержания элементов в

исследуемом керне (GC-46) на интервале 45 – 75 см (соответствует переходу плейстоцен-голоцен) не могут быть связаны с аналитическими погрешностями методики измерения и естественной дисперсностью проб, так как даже в пределах интервалов погрешностей эти значения не пересекаются. Скорее всего, это следствие природных явлений.

Таким образом, как показано выше, исследование донных отложений многоэлементным РФА СИ позволяет получить достоверную информацию об их элементном составе, которая может быть использована для проведения палеоклиматических реконструкций.

Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ

В главе рассматриваются литологическая характеристика, минеральный и элементный состав донных отложений озер Байкал, Хубсугул и Тельмен, приводятся результаты определения возраста исследуемых разрезов.

Осадочный разрез керна ст. 24 (оз. Байкал) состоит из двух частей: нижней (472,5–350 см), сложенной алевритистыми глинами, и верхней (350–0 см), представленной диатомовыми илами с различным содержанием биогенного кремнезема. Возрастная модель, применяемая в настоящем исследовании, получена радиоуглеродным методом и представлена в работе [Karabanov et al., 2004]. Датирование донных отложений ст. 24 показало позднеплейстоценовый возраст алевритистых глин и голоценовый возраст диатомовых илов. Как показано ранее [Безрукова и др., 1991; Хурсевич и др., 1993], биогенный кремнезем ($\text{SiO}_{2\text{биог}}$) является одним из наиболее информативных палеоклиматических сигналов. Распределение $\text{SiO}_{2\text{биог}}$ в керне отражает смену ледниковой обстановки межледниковой, поэтому холодные и теплые климатические периоды также могут быть идентифицированы по его содержанию в осадке (рис. 2). По нашим данным содержание $\text{SiO}_{2\text{биог}}$ составляет менее 10% в ледниковый период и достигает 30–35% в межледниковый. Установлено, что в интервале 500–350 см, возраст которого около 25–20 тыс. лет, наблюдается уменьшение содержания биогенного кремнезема. Этот интервал относится к позднеплейстоценовому периоду. В слое 250–180 см отмечается некоторое повышение содержания биогенного кремнезема (свыше 10%), что, согласно возрастной модели, соответствует периоду потепления (Беллинг-Аллеред). Слой 215–180 см ($\text{SiO}_{2\text{биог}}$ менее 10%), возможно, сформирован в стадию похолодания (Поздний Дриас). Повышение содержания $\text{SiO}_{2\text{биог}}$ отмечается в интервале 180–150 см, который соответствует началу голоцена. Таким образом, распределение биогенного кремнезема позволяет производить возрастной контроль керна и хорошо согласуется с используемой нами возрастной моделью [Karabanov et al., 2004].

Полученные нами данные по элементному составу донных отложений оз. Байкал (кern ст. 24) представлены на рис. 2. В позднем плейстоцене осадки характеризуются повышенными содержаниями Al_2O_3 , TiO_2 , K_2O , MgO , в то время как содержания Na_2O , P_2O_5 , S, Sr, Zr увеличиваются в голоцене (рис. 2). Содержания некоторых элементов,

например Ca и Mn не показывают значительных вариаций по разрезу. Однако отмечаются их локальные изменения, проявляющиеся в виде единичных пиков повышенных содержаний. В связи с этим, по нашему мнению, эти элементы не могут быть индикаторами изменений климата для данного разреза.

Проведенные исследования позволили выявить различия в содержаниях элементов в донных отложениях оз. Байкал (ст. 24), сформированных в ледниковый и межледниковый этапы. Установленные изменения в элементном составе донных отложений ст. 24 позднеплейстоценового возраста могут быть интерпретированы как отклик на климатические события прошлого.

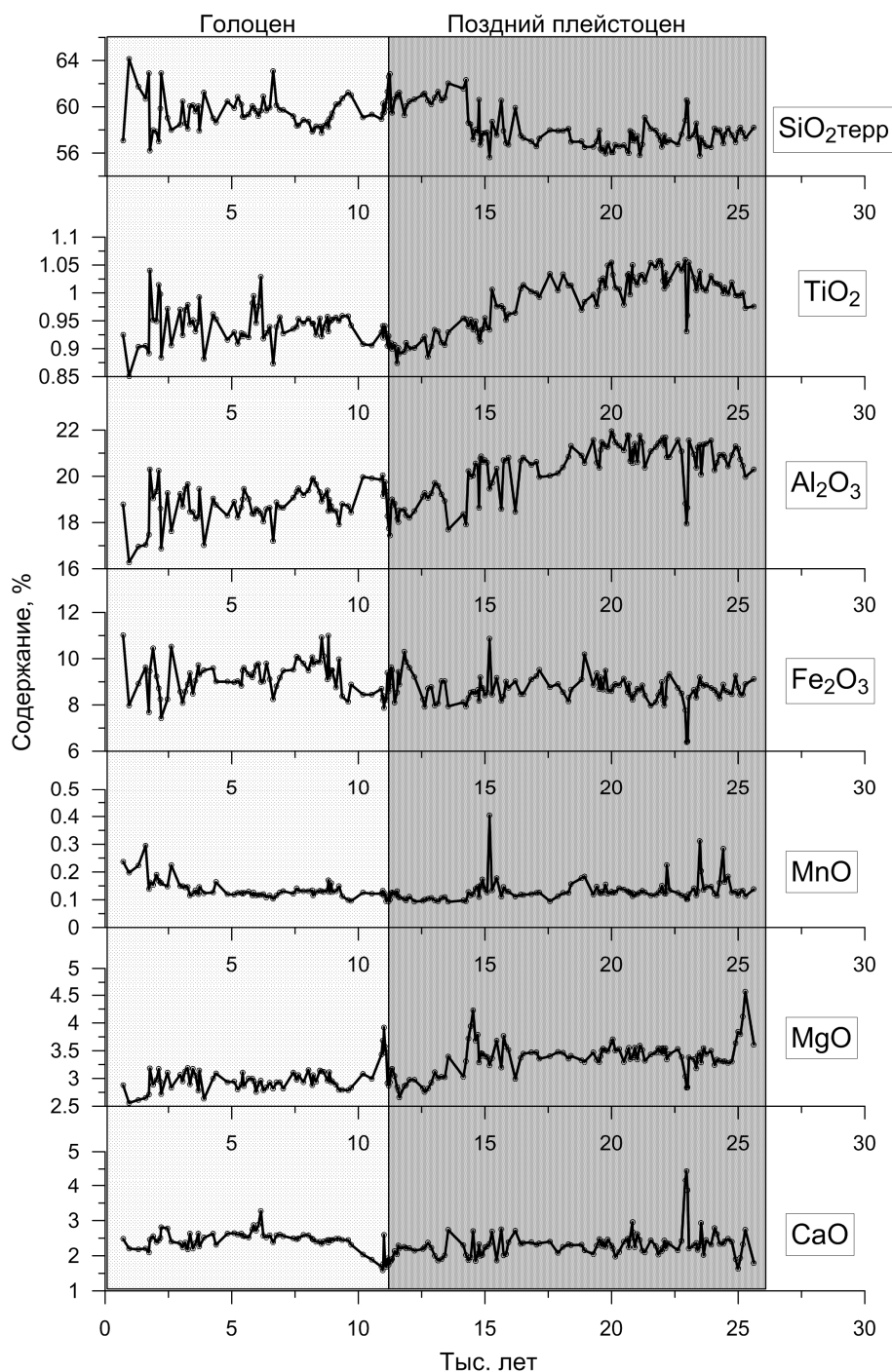


Рис. 2. Элементное распределение в керне ст. 24 (оз. Байкал)

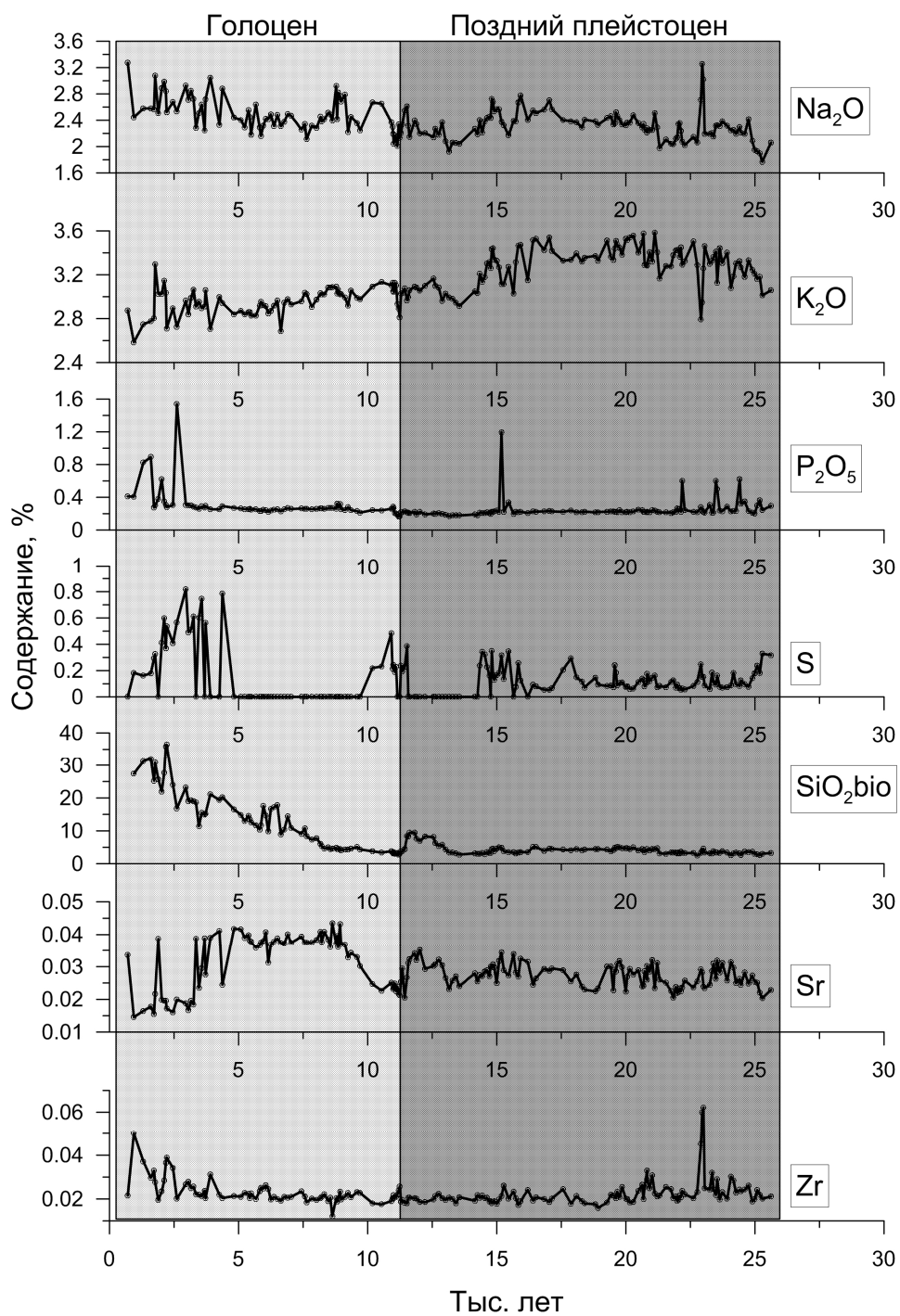


Рис. 2 (продолжение). Элементное распределение в керне ст. 24 (оз. Байкал)

Донные отложения оз. Хубсугул (керна GC-46) литологически разделены на две части: нижняя (75–47 см) представлена алевритистой глиной, верхняя часть (47–0 см) – слоем диатомового ила. Характер распределения биогенного кремнезема по разрезу, а также сопоставление керна GC-46 с хорошо датированным радиоуглеродным методом позднеледниково-голоценовым керном станции 8 из оз. Хубсугул [Prokopenko et al., 2005], позволяет выделить основные климатические события и построить предполагаемую возрастную модель. Содержание биогенного кремнезема в исследуемом керне изменяется от 9,00 до 24,52 % в интервале 0 – 47 см, тогда как на участке 47 – 75 см – от 1,42 до 7,24 %. Сопоставляя литологическое строение колонок станции 8 и GC-46, а также, учитывая содержание биогенного кремнезема в донных отложениях, верхние 48 см керна GC-46 большей вероятностью можно отнести к голоцену, а интервал 68 – 75 см – к последнему оледенению. Согласно данным Прокопенко А.А. с соавторами [Prokopenko et al., 2005], переход от глин к диатомовым илам соответствует началу голоцена. В керне GC-46 подобный переход отмечается в интервале 47 – 48 см и, предположительно, имеет возраст ~11,7 тыс. лет (нижняя граница голоцена по [Walker et al., 2009]). Исследование донных отложений оз. Хубсугул (керна GC-46) позволило определить характер распределения ряда элементов по разрезу (рис. 3). Сопоставление полученных данных с вариациями содержания биогенного кремнезема по длине керна показало, что элементы Sr, Ca, Cr, Cu четко фиксирует переход от холодных климатических условий к теплым. Повышенные значения содержания Ca и Sr характерны для позднего плейстоцена, в то время как их содержания в голоцене значительно уменьшается. Содержание хрома Cr в позднеплейстоценовых глинах снижается до 0,001%, тогда как в диатомовых илах (голоцен) увеличивается до 0,05%. Содержание меди в глинах изменяется от 0,005 до 0,01%. Некоторый скачок содержания до 0,15% отмечается на участке 50–68 см, где наблюдается слоистость, отражающая захороненные реликты железо-марганцевых корок. Содержание Си понижается в позднеплейстоценовый период.

Постепенное возрастание содержания Вг наблюдается по всей длине исследуемого разреза. В нижней части керна (75 – 48 см) оно составляет 0,005%. Постепенное повышение содержания Вг до 0,01 % отмечено при переходе от плейстоцена к голоцену. Далее, в верхней части разреза в интервале 1–0 см содержание Вг достигает максимального значения 0,03%. Установленный характер распределения элементов по разрезу хорошо согласуются с литературными данными [Наранцэцэг, 2007 и др].

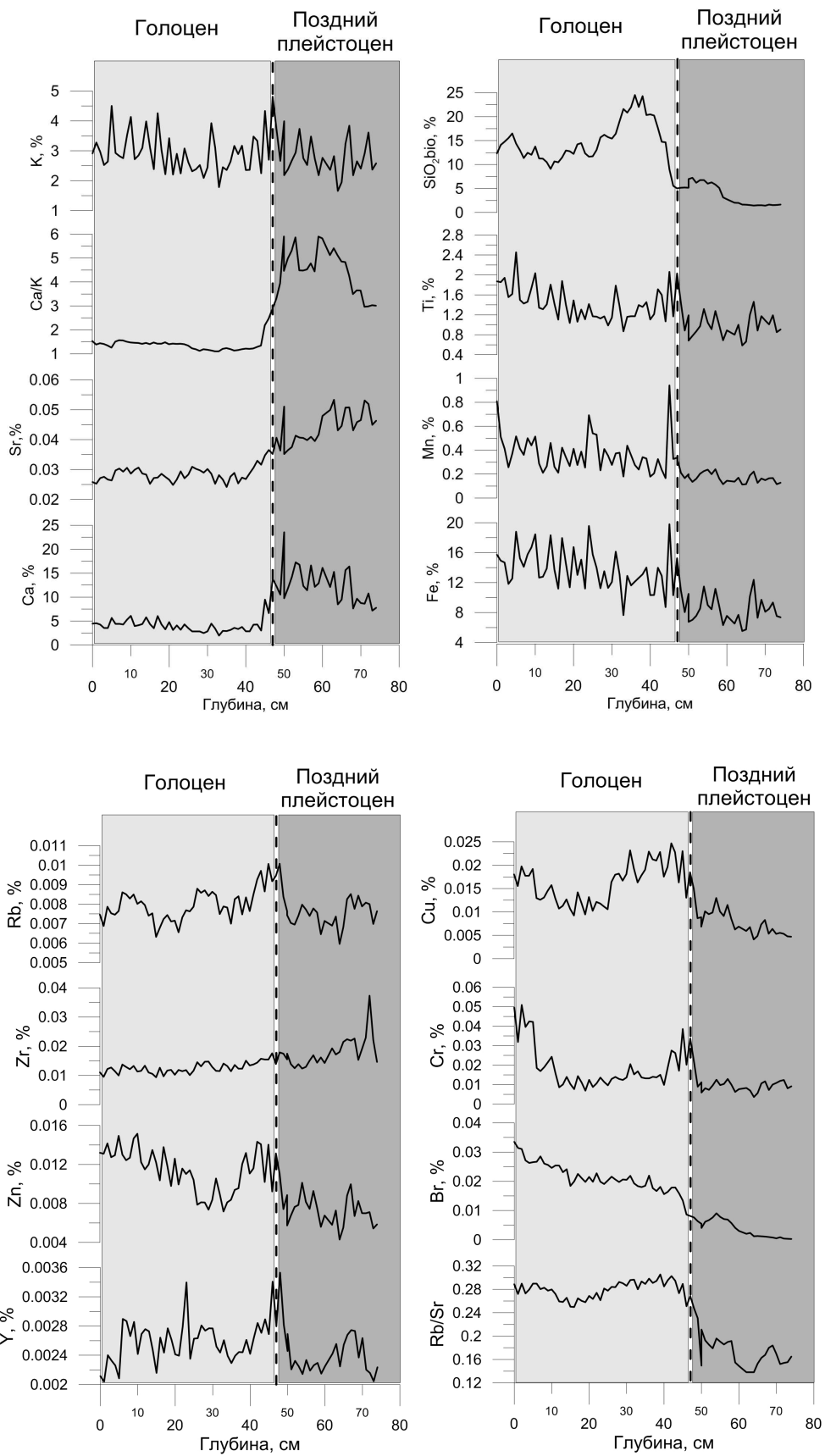


Рис. 3. Элементное распределение в керне GC-46

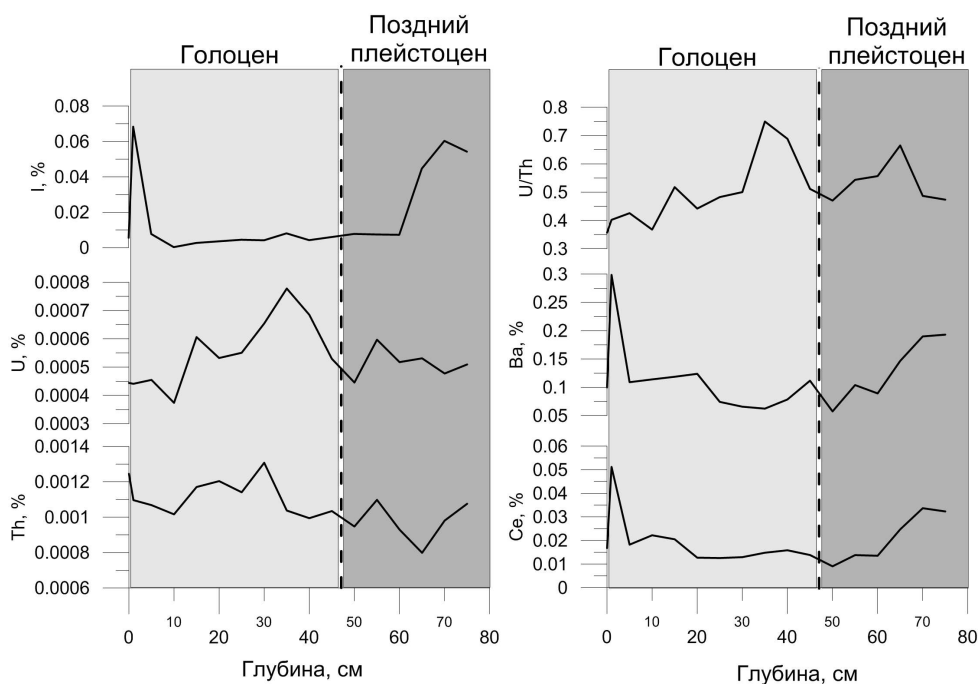


Рис. 3 (продолжение). Элементное распределение в керне GS-46

Уникальные возможности сканирующего РФА СИ позволили изучить тонкослоистые донные отложения (варвы) оз. Тельмен. Осадки этого озера, как и большинство донных отложений, имеют органические и неорганические компоненты в своем составе. В процессе исследования было установлено, что Вг характеризуется выраженной изменчивостью содержания по глубине керна и показывает обратную зависимость с рентгеновской плотностью (рис. 4). Изменение рентгеновской плотности дает информацию о плотности самого осадка, что, в свою очередь, свидетельствует о различных условиях осадконакопления в озере. Повышенные значения рентгеновской плотности характерны для холодных периодов, тогда как повышенные содержания брома зарегистрированы в теплые периоды и, скорее всего, отражают биопродуктивность озера и характеризуют повышенное содержание органического вещества в донных отложениях. Установлено, что геохимическая запись содержания брома и рентгеновской плотности в варвах оз. Лехмилампе отражает сезонные изменения в накоплении органического и неорганического вещества [Daryin et al., 2006; Haltia-Hovi et al., 2010]. Очевидно, содержание брома в донных отложениях оз. Тельмен, так же как и в осадках оз. Лехмилампе, является индикатором органической компоненты осадка и в большей степени отражает температурные вариации климата.

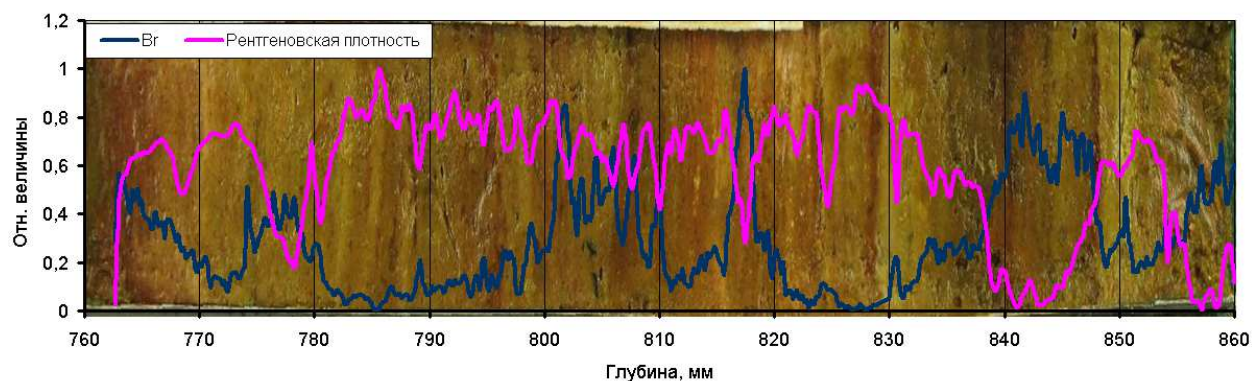


Рис. 4. Фрагмент керна из оз. Тельмен [Осуховская (Маркова) и др., 2007; Калугин и др., 2007]

Примечание. V (синий цвет) и XRD – рентгеновская плотность – (розовый цвет).

Изучение литологических, минералогических и геохимических особенностей донных отложений озер Байкал, Хубсугул и Тельмен позволило реконструировать природно-климатические изменения исследуемых территорий. Результаты элементного анализа донных отложений ст. 24 (Селенгино-Бугульдейская перемычка) и их сопоставление с имеющимися литературными данными дало возможность выявить определенную закономерность в распределении элементов в позднеплейстоценовом периоде и выделить отклик на события Хайнрика [Heinrich, 1988] в данной осадочной записи. Известно, что события Хайнрика оказали значительное влияние на циркуляцию мирового океана, и, безусловно, на климат, и не были ограничены только Североатлантическим регионом [Прокопенко и др., 2001; Broecker, 1994; Bond et al., 1993].

Согласно данным [Hemming, 2004, Vidal et al., 1999], событие Хайнрик-1 датируется в 14–16.8 тыс. лет. В интервале, соответствующем возрасту 15–16 тыс. лет, отмечается изменение содержаний TiO_2 , Al_2O_3 , MgO (рис. 5). Можно предположить, что изменения, которые нашли отражение в элементном составе керна ст. 24, связаны с событием Хайнрик-1 (рис. 5). Правильность сделанных нами выводов подтверждается данными детального распределения диатомовых водорослей в керне BDP-93-2 донных отложений оз. Байкал [Prokopenko et al., 2001; Прокопенко и др., 2001; Коллектив..., 1995], который был отобран в том же районе, что и исследуемый нами керн ст. 24 (Бугульдейская перемычка). Возраста бурых терригенных прослоев с обломочными карбонатами в разрезе байкальских осадков, согласно их стратиграфическому положению, близки возрастам событий Хайнрика в Северной Атлантике [Прокопенко и др., 2001; Кузьмин и др., 2008]. Подобное соответствие позволяет предполагать связь изменений в элементном составе байкальских донных отложений с периодическими похолоданиями в Североатлантическом регионе.

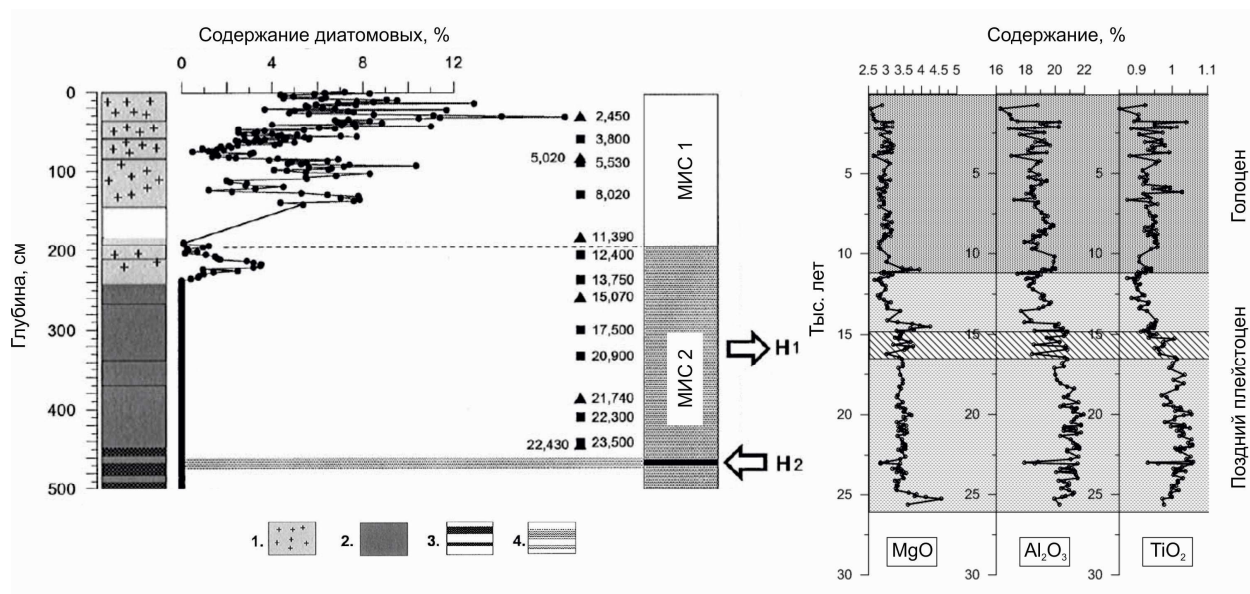


Рис. 5. Отклик на события Хайнрика в керне BDP-93 [Prokopenko et al., 2001] и VER93/2 ст. 24. Условные обозначения: 1 – диатомовый ил; 2 – алевролитистая глина; 3 – бурые прослойки терригенного материала; 4 – зеленоватые прослойки.

На основании полученных данных о характере распределения элементов в керне GC-46 (оз. Хубсугул) нами были выделены два климатических этапа: ледниковый период (поздний плейстоцен), для которого характерны повышенные содержания кальция и стронция, и период потепления (голоцен), характеризующийся повышенными содержаниями урана и брома.

На примере донных отложений оз. Тельмен показаны индикаторные свойства Вг для тонкослоистых донных отложений. Было установлено, что изменение содержания этого элемента связано с вариациями температуры в Северной Монголии за последние 400 лет [Дарьин и др., 2008]. Выявленная зависимость позволяет использовать бром как элемент-индикатор для реконструкции климата региона в голоцене.

Глава 4. АНТРОПОГЕННЫЙ ВКЛАД В ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗ. БАЙКАЛ НА ПРИМЕРЕ ЗАЛИВА ПРОВАЛ

В настоящей главе представлены результаты исследования донных отложений залива Провал (оз. Байкал), сформировавшегося после катастрофического опускания суши в результате Цаганского землетрясения 1862 года. Сопоставление современной карты залива Провал и карты, составленной в 1862 г. непосредственно после землетрясения и отражающей состояние территории до затопления [Вологина Е.Г. и др., 2010] показало, что место отбора керна №14 совпадает с местоположением озера Белое на схеме 1862 года.

Согласно литологическому строению и распределению остатков диатомовых водорослей были выделены интервалы керна, сформировавшиеся в озере Белом (до 1862 г.) и в заливе Провал (отложения, образованные с 1862 по 2005 г.). Установлено, что эти отложения различаются по содержанию элементов. Осадки, сформировавшиеся в заливе

Провал и озере Белое, характеризуются близкими содержаниями Ba, Ce, La, As, Ga. В торфоподобном слое резко увеличиваются содержания I и Br, которые ассоциируются с высокими концентрациями $C_{орг.}$ и $SiO_{2биог}$ в этом интервале. Содержания As, Zn, Ni, Cu в этом слое также повышены, а концентрации терригенных компонентов K, Ba, Ce, La снижаются или остаются на уровне подстилающего песчаного слоя, сформировавшегося в озере Белое. Содержание Ni, Cu, Zn и Fe в верхней части разреза (интервал 3-15 см), несколько увеличено по сравнению с их содержанием в интервале 15-34 см (рис. 6). Данные изменения проявились, начиная с 40-х годов прошлого столетия, когда в связи с увеличением промышленного производства усилилась антропогенная нагрузка на Прибайкалье, повысилась интенсивность транспортных потоков по железной дороге. В последние 15 лет (интервал 0–3 см) в связи с падением промышленного производства концентрации Ni, Cu, Zn, Fe снизились (рис. 6).



Рис. 6. Содержание Ni, Cu, Zn и Fe в верхнем слое донных отложений залива Провал (оз. Байкал)

Донные отложения залива Провал, сформировавшиеся после землетрясения в Цаганской степи, характеризуются повышенными содержаниями тяжелых металлов, таких как Fe, Ni, Cu, Zn, что связано с антропогенной нагрузкой на район залива Провал. Таким образом, элементный состав донных отложений залива Провал фиксирует антропогенное воздействие на формирование осадочной толщи данного района.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное геохимическое исследование донных отложений озер Байкал и Хубсугул позволило установить характер распределения химических элементов в осадочных разрезах и провести реконструкцию изменения окружающей среды и климата. Изменения в элементном составе донных отложений станции 24 (Селенгино-Бугульдейская перемычка) позднеплейстоценового периода (временной интервал 14–16 тыс. лет) являются откликом на события Хайнрик-1. Сопоставление данных по элементному составу керна из оз. Хубсугул с распределением биогенного кремнезема по длине керна показало, что элементы Sr, Ca, Cu, Cr в осадке фиксируют переход от холодных условий к теплым. На основании полученных данных, в осадочной записи из оз. Хубсугул выделены два этапа: ледниковый период (поздний плейстоцен), для которого

характерны повышенные содержания кальция и стронция и период потепления (голоцен), характеризующийся повышением содержания урана и брома. На примере осадков оз. Тельмен показаны свойства брома как элемента-индикатора. Было установлено, что содержание брома изменяется в соответствии с колебаниями среднегодовой температуры Северной Монголии. Поскольку варвы оз. Тельмен являются годовыми ленточными осадками, а сканирующий РФА СИ позволяет проводить детальные исследования тонкослоистых образцов (с детальностью до года), Вг может являться элементом-индикатором для данного модельного объекта при применении этого метода.

Исследование элементного состава керна из залива Провал (оз. Байкал) позволило выявить антропогенный вклад в формирование донных осадков этого района. Было установлено, что элементы Fe, Ni, Cu, Zn отражают антропогенную нагрузку на район Усть-Селенгинской впадины. Полученные результаты не противоречат данным экологического мониторинга по этому региону.

На основании полученных данных было установлено, что точность результатов, полученных с помощью примененной методики измерений РФА СИ, обеспечивает достоверность геохимических данных для проведения палеоклиматических реконструкций. Показатели точности результатов определения элементов, выбранных в качестве индикаторов, находятся в интервале 4–13% отн., что значительно меньше изменения значений содержания этих элементов по разрезу.

Список основных публикаций по теме диссертации:

1. Вологина Е.Г., Калугин И.А., **Осуховская (Маркова) Ю.Н.**, Иванов Е.В. Характеристика и распределение поверхностных донных осадков залива Провал (предварительные результаты) // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. Вып. 6. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. - С. 68 - 69.
2. **Осуховская (Маркова) Ю.Н.**, Шапоренко А.Д. Исследование тонкой структуры донных отложений озера Тельмен (Монголия) методом сканирующего РФА СИ с целью палеоклиматических реконструкций // Тезисы докл. Третьей Сибирской междунар. конф. молодых ученых по наукам о Земле (г. Новосибирск, 27-29 нояб. 2006). - Новосибирск, 2006. - С. 179.
3. Vologina E.G., Kalugin I.A., **Osukhovskaya (Markova) Yu.N.**, Shturm M., Ignatova N.V., Radziminovich I.B., Daryn A.V., Kuzmin M.I. Sedimentation in Proval bay (Lake Baikal) // Terrestrial Environmental Changes In East Eurasia and Adjacent Areas. 6th International Symposium (Irkutsk-Listvyanka, 24-28 Aug. 2006). Irkutsk: Glazkovskaya printing House, 2006. - P. 76 - 77.
4. **Осуховская (Маркова) Ю.Н.**, Вологина Е.Г., Иванов Е.В., Гвоздков А.Н., Шапоренко А.Д. Предварительные результаты исследования донных отложений озера Байкал методом РФА СИ с целью палеоклиматических реконструкций // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: Материалы Всерос. науч. конф. (г.

- Иркутск, 24-30 сент. 2007) - Т. 1. - г. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. - С. 207 - 208.
5. Гвоздков А.Н., Бычинский В.А., Карабанов Е.Б., **Осуховская (Маркова) Ю.Н.** Реконструкция условий осадконакопления на Бугульдейской перемычке (озеро Байкал) в позднеледниковье и голоцене // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: Материалы Всерос. науч. конф. (г. Иркутск, 24-30 сент. 2007) - Т. 1. - Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. - С. 143-147.
 6. Коллектив участников проекта «Хубсугул-бурение». Строение донных осадков озера Хубсугул: его связь с геологическими и климатическими факторами // Геология и геофизика.- 2007. - Т. 48, №11. - С.1117 - 1143.
 7. Вологина Е.Г., Калугин И.А., **Осуховская (Маркова) Ю.Н.**, Штурм М., Игнатова Н.В., Радзиминович Я.Б., Дарьин А.В., академик Кузьмин М.И. Осадконакопление в заливе Провал (озеро Байкал) после катастрофического затопления прибрежной равнины в 1862 году // Докл. АН. - 2007. - Т. 417, № 4. - С. 511 - 515.
 8. Вологина Е.Г., Дарьин А.В., Игнатова Н.В., Калугин И.А., Кузьмин М.И., **Осуховская (Маркова) Ю.Н.**, Радзиминович Я.Б., Шапоренко А.Д., Штурм М. Геохимические особенности современного осадконакопления в заливе Провал (оз. Байкал) // Digest Reports of the XVII International Synchrotron Radiation Conference (Novosibirsk, 15-20 June 2008). - Novosibirsk, Russia, 2008. - P. 6 - 18.
 9. Дарьин А.В., Калугин И.А., Иванов Е.И., Карабанов Е.Б., **Осуховская (Маркова) Ю.Н.**, Овчинников Д.В., Шапоренко А.Д. Геохимические индикаторы климата в тонкоструктурированных осадках оз. Тельмен (Северная Монголия) по данным сканирующего РФА СИ // Digest Reports of the XVII International Synchrotron Radiation Conference (Novosibirsk, 15-20 June 2008). - Novosibirsk, Russia, 2008. - P. 6-19.
 10. **Osukhovskaya (Markova) Yu.N.**, Ivanov E.V., Gvozdkov A.N., Shaporenko A.D. Reconstruction of sedimentation conditions in Lake Baikal (Selengino-Buguldeiskaya Saddle) according to XRF and XRF SR methods data // 7th ANKA Annual Meeting: Abstract Book (Karlsruhe, 9-10 Oct. 2008). – Karlsruhe, Germany, 2008. – P. 28.
 11. **Маркова Ю.Н.**, Максимовская В.В., Кербер Е.В., Золотарев К.В., Ракшун Я.В. Воспроизводимость РФА СИ на стандартных образцах состава донных отложений и растительности Прибайкалья // Книга тезисов XVIII международной конференции по использованию синхротронного излучения СИ-2010 (г. Новосибирск, 19 - 22 июля 2010). - Новосибирск, 2010. - С. 137.
 12. Вологина Е.Г., Калугин И.А., **Осуховская (Маркова) Ю.Н.**, Штурм М., Игнатова Н.В., Радзиминович Я.Б., Дарьин А.В., Кузьмин М.И. Осадконакопление в заливе Провал (озеро Байкал) после сейсмогенного опускания дельты реки Селенги // Геология и геофизика.- 2010. - Т. 51, №12. - С.1640 - 1651.
 13. **Маркова Ю.Н.**, Кербер Е.В., Иванов Е.В., Максимовская В.В., Золотарев К.В., Кострова С.С., Кузьмин М.И. Предварительные результаты изучения распределения химических элементов в верхнем слое осадков озера Хубсугул методом

- рентгенофлуоресцентного анализа с применением синхротронного излучения // Развитие жизни в процессе абиотических изменений: Материалы II Всерос. науч.-практич. конф. (п. Листвянка 23-27 авг. 2011). - Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2011. - С. 125 - 132.
14. **Маркова Ю.Н.**, Кербер Е.В., Максимовская В.В., Золотарев К.В. Элементный состав донных отложений как показатель природно-климатических условий их формирования // Книга тезисов XIV международной конференции по использованию синхротронного излучения СИ-2012 (г. Новосибирск, 25-28 июня 2012).- Новосибирск, 2012. - С. 67.
15. Бобров В.А., Леонова Г.А., Федорин М.А., **Маркова Ю.Н.**, Орлова Л.А., Кривоногов С.К. Исследование элементного состава образцов сапропеля озера Кирек (западная Сибирь) методом РФА СИ // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2012. - №5. - С. 90 - 96.
16. **Маркова Ю.Н.**, Кербер Е.В., Анчутина Е.А., Зарубина О.В., Максимовская В.В., Золотарев К.В. Применение стандартных образцов донных отложений для оценки качества результатов методики рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения // Стандартные образцы. - 2012. - № 2.- С. 52 - 58.