

УДК 551.83+550.4

РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ГОЛОЦЕНОВОЙ ОЗЕРНОЙ СЕДИМЕНТАЦИИ НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

© 2012 г. А. В. Масленникова*, В. В. Дерягин**, В. Н. Удачин*

*Институт Минералогии УрО РАН
456317, Челябинская область, г. Миасс
E-mails: adenophora@inbox.ru, udachin@ilmeny.ac.ru

**Челябинский педагогический университет
454080, г. Челябинск, просп. Ленина, 69.
vderyagin@mail.ru

Поступила в редакцию 06.06.2011 г.

В результате геохимического, минералогического, микропалеонтологического изучения донных отложений оз. Уфимское выполнена реконструкция условий осадконакопления интервала более 10.3 тыс. радиоуглеродных лет. На основе доминирования пыльцы анемофильных трав, присутствия гипса, кальцита, высокой концентрации $C_{неорг.}$, Ca, Sr сделан вывод о континентальном климате позднего дриаса. В донных отложениях пребореала отмечено повышение содержания пыльцы деревьев, планктонных диатомей и химических элементов, составляющих основу терригенного сноса (Li, Rb, Cs, Ba, Be, Al, Zr, Hf, Fe, Cr, Ti). **Данные особенности указывают на потепление-увлажнение климата. Исходя из максимального содержания пыльцы широколиственных пород, увеличения концентрации Th, U, РЗЭ, сделан вывод о голоценовом оптимуме атлантического периода. Суббореальное и переславское похолодания выявлены с помощью данных спорово-пыльцевого анализа (спад кривой пыльцы *Ulmus* sp., повышение содержания пыльцы *Betula sect. Nanae* в спорово-пыльцевых спектрах). По увеличению содержания диатомей-ацидофилов и *Tabellaria flocculosa* (Roth) Ktz. в донных осадках определено наличие естественной acidификации, значительно возросшей в индустриальном периоде. Кроме того, для данного периода отмечено возрастание концентрации халькофильных элементов (Pb, Cu, Zn, Cd, Bi, Sb), а также присутствие агрегатов игольчатых кристаллов гипса техногенного происхождения.**

Ключевые слова: голоцен, донные осадки, спорово-пыльцевой анализ, диатомовые водоросли, геохимические индикаторы, минералогический состав.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования условий относительно недавнего прошлого необходимы для понимания процессов, происходящих в настоящее время, прогнозирования изменений в будущем, а также оценки степени техногенного воздействия.

Весомый вклад в изучение палеогеографических условий голоцена горной части Южного Урала внесла Н.К. Панова [20–22]. На основе спорово-пыльцевого анализа нескольких торфяников (Зюраткульский, Малукильский, Тюлюкский, Тыгинский, Зигальгинский, Лосиный) Н.К. Пановой сделаны выводы об особенностях истории растительности гор Южного Урала. Институтом озероведения АН СССР выполнены реконструкции условий седиментогенеза озер Южного Урала. Выделены три этапа их эволюции: 1) образование озера в аллереде, 2) резкая регрессия в позднем дриасе, 3) обводнение озера в пребореале [14]. Комплексное изучение донных осадков оз. Увильды и оз. Кисегач позволило отметить большое сходство их спорово-пыльцевых диаграмм. На основе данных спорово-

пыльцевого анализа и одной радиоуглеродной датировки донных отложений оз. Увильды высказано предположение, что сосново-березовые леса аллереда на Южном Урале соответствуют стадии елово-лиственничных лесов пребореала на Среднем Урале [29].

Целью нашей работы является реконструкция условий голоцена на основе спорово-пыльцевого, диатомового, геохимического и минералогического анализа донных осадков оз. Уфимское. Колонка озерных отложений охватывает интервал времени более 10.3 тыс. радиоуглеродных лет. Расположение озера в зоне влияния медеплавильного комбината “ЗАО Карабашмедь” делает исследование его осадков перспективным для изучения техногенного воздействия.

Оз. Уфимское расположено на восточном макросклоне Уральского горного хребта, в 7 км к востоку от хребта Юрма, и в 8 км к северо-западу от труб медеплавильного комбината г. Карабаш. Высота водного зеркала над уровнем моря 472 м. При площади озера 0.9 км² (малое озеро) средняя глубина составляет 1.1 м, максимальная – 3 м, объем

водной массы 1.1 м³. По районированию М.А. Андреевой, рассматриваемая территория относится к Восточно-Предгорному гидрологическому району, характеризующемуся достаточным увлажнением (коэффициент увлажнения Иванова от 0.7 до 1.0) [1]. В связи с этим, озеро является проточным, имеет ультрапресную воду гидрокарбонатно-кальциевого типа (минерализация – 50 мг/л). На водосборе оз. Уфимское (площадь – 4.9 км²) преобладают березово-сосновые леса с примесью ели, пихты на серых оподзоленных почвах супесчаного состава [11].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Колонка донных осадков оз. Уфимское (керна донных отложений длиной 451 см) отобрана в июле 2008 г. В.В. Дерягиным и В.Н. Удачными с платформы катамарана в центральной части озера (рис. 1). Донные осадки верхней части колонки мощностью 26 см отобраны пробоотборником гравитационного типа с закрывающейся диафрагмой, остальная часть – поршневой трубкой с гидрозатвором.

Анализ микроэлементов в высушенных и измельченных пробах осуществлялся после кислотного вскрытия методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Perkin Elmer ELAN 9000 (ICP-MS, аналитик Д.В. Киселева, ИГГ УрО РАН). Силикатный анализ выполнен по стандартной методике из малых навесок [27]. Содержание CO₂ определяли на основе объемного метода, заключающегося в растворении навески породы в соляной кислоте и поглощении выделяющейся при этом двуокиси углерода раствором щелочи. Общий углерод анализировали по Тюрину, с последующим пересчетом на органический [2]. Определение минерального состава донных осадков проводилось с помощью световой (микроскопы МБС-10, Olympus BX 50), электронной (РЭММА 202 MB) микроскопии, а также рентгенофазового (Shimadzu XRD-6000) и иммерсионного методов [16].

Приготовление проб на спорово-пыльцевой анализ (интервал отбора – 5 см) осуществлялось методом обработки малой навески материала с использованием фтористоводородной кислоты [28]. Процентное содержание пыльцы и спор подсчитано по отношению к их общей сумме, принимаемой за 100%.

Для диатомового анализа образцы обрабатывались смесью азотной и хлорной кислот, с последующим силилированием [13]. Определение и подсчет спор, пыльцы (200–500 зерен в препарате) и диатомовых водорослей (не менее 500 створок в препарате) велись, соответственно, при увеличении в 600 и 900 крат на микроскопе Микмед-5. При расчете концентрации диатомей использовалась количественная методика [9]. В изученной колонке диагностировано 90 видов и разновидностей диатомо-

вых водорослей. Названия таксонов, кроме родов *Synedra* и *Fragilaria* [12], уточнялись по Краммеру [32], а экология видов рассматривалась по нескольким источникам [3, 9].

Радиоуглеродные датировки получены по двум пробам навеской 15 мг (озерный сапропель, интервал 220–225 см и шишка лиственницы, интервал 415–420 см). После стандартных процедур препарирования образцы анализировались методом ускорительной масс-спектрометрии AMS ¹⁴C в университете г. Лунд (Швеция, аналитик М. Лундгрэн).

Возрастная модель колонки донных отложений оз. Уфимское получена корреляцией спорово-пыльцевых диаграмм с голоценовым разрезом Аятского торфяника [30] и уточнена радиоуглеродными датировками. Ранее были опубликованы спорово-пыльцевые диаграммы на основе корреляции с разрезом донных отложений оз. Увильды [29]. Однако большое количество радиоуглеродных датировок (7) для диаграммы Аятского торфяника делает его эталонным для сопоставления. В качестве эталона периодизации голоцена использовалась схема Блитта-Сернандера, хронологически уточненная Н. А. Хотинским [30].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Литология

Разрез донных отложений оз. Уфимское имеет следующее строение:

- 0–25 см – темно-бурый обводненный пелитовый сапропель,
- 225–25 – буро-оливковый пелитовый сапропель,
- 225–325 – оливковый пелитовый сапропель,
- 325–425 см – буро-оливковый грубо-пелитовый слюдястый сапропель,
- 425–438 см – опесчаненный слюдястый торфянистый сапропель,
- 438–451 см – песок серый кварцевый мелкозернистый.

Геохимия

Серый кварцевый песок нижней части колонки донных отложений (интервал 451–438 см) характеризуется высоким содержанием углерода карбонатов (до 5.44%), CaO, Sr, SiO₂, TiO₂, Na₂O, MgO, Al₂O₃ и бедностью органическим углеродом (0.76–2.72%) (рис. 2). В зоне контакта глин и торфянистого сапропеля (глубина колонки 438 см) отмечается значительное повышение концентрации халькофильных элементов (Sn, Zn, Tl, Cd, Sb, Bi, Te, Pb), вероятно, связанное с процессами диагенеза (рис. 3). Для данного слоя характерно также максимальное содержание CO₂ (5.44%).

В торфянистом сапропеле (интервал 438–425 см) возрастает количество органического углерода (до

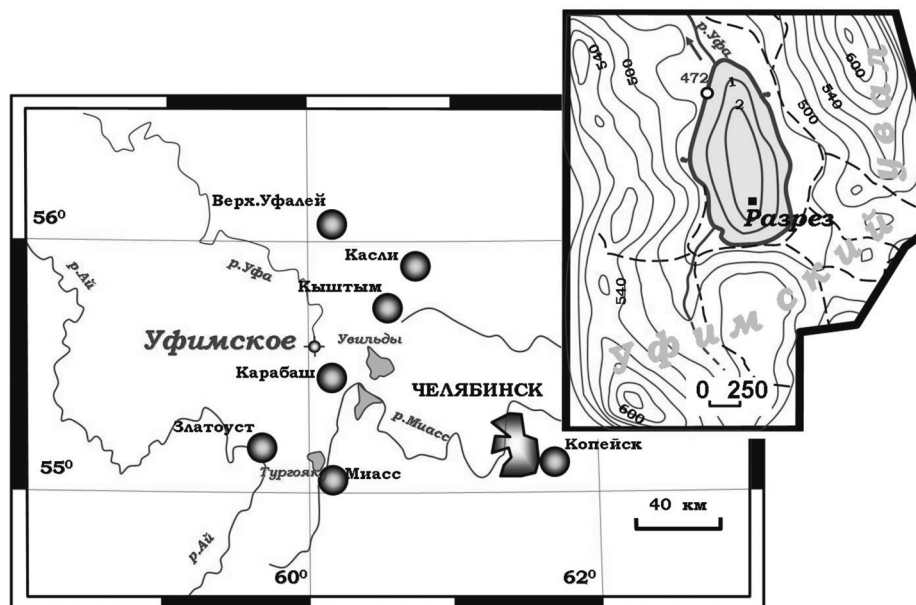


Рис. 1. Схема расположения изученного разреза донных отложений оз. Уфимское.

12.7%), уменьшается содержание большинства изученных элементов-примесей, увеличивается концентрация Mo, связываемого органикой и ассоциирующего с W.

Для буро-оливкового грубо-пелитового слюдистого сапропеля (интервал 425–325 см) характерно повышение содержания Al_2O_3 , Fe_2O_3 , связанных со слоистыми силикатами, а также Li, Cs, Rb, Be, Ba, Zr, Hf, Cr и постепенное увеличение концентраций U, Th, Y, PЗЭ. Содержание органического углерода после резкого падения в начале (3.2%) поднимается к концу зоны (9.8%). Сходные изменения происходят и с концентрациями диатомовых водорослей.

В оливковом сапропеле (325–225 см) постепенно снижается содержание Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Na₂O, MgO, Li, Cs, Rb, Be, Ba, Zr, Hf, Cr, повышается содержание органического углерода, SiO_2 , U, Th, PЗЭ.

В буро-оливковом сапропеле (225–20 см) снижается содержание Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO, Li, Cs, Rb, Be, Ba, Zr, Hf, Cr, U, Th, Y, PЗЭ, **возрастает концентрация органического углерода** (до 16.7%).

Темно-бурый обводненный пелитовый сапропель верхней части колонки (20–0 см) характеризуется резким повышением концентрации халькофильных элементов (Pb, Cu, Zn, Cd, Bi, Sb). **Возрастание** содержания Fe_2O_3 (до 3.68%), вероятно, связано с низкой подвижностью железа в окислительной обстановке.

Минералогия

Минералы донных отложений оз. Уфимское представлены в основном кварцем, полевыми шпатами (альбит, микроклин, ортоклаз), слюда-

ми (мусковит и биотит). Под микроскопом установлены темно-зеленые зерна амфиболов, обломки зерен пирита, прозрачные оранжевые зерна граната, черные сильномагнитные зерна магнетита [16]. С помощью электронной микроскопии выявлены ильменит, серпентин, плагиоклаз. На рентгенограммах донных отложений отмечаются пики, соответствующие широкому диапазону оксидов-гидроксидов железа ($d = 2.54; 2.99 \text{ \AA}$), а также рефлексы характерные для каолинита ($d = 7.10; 3.49 \text{ \AA}$) и хлорита ($d = 7.19; 3.67 \text{ \AA}$). В донных осадках оз. Уфимское отмечается наличие фрамбоидов пирита, количество которых возрастает к основанию колонки. Размер фрамбоидов варьирует от 3 до 35 мкм, форма – сфероидальная, структура – неупорядоченная, плотность упаковки кристаллов пирита варьирует.

Серый песок нижней части колонки донных отложений (интервал 451–438 см) характеризуется наличием кальцита и гипса. Согласно электронно-микроскопическим исследованиям, кальцит находится в донных осадках в ассоциации со смешаннослойными силикатами и слюдами, а гипс представлен отдельными пластинками [17].

Для серого песка и слюдистого сапропеля (интервал 425–325 см) характерны дифрактограммы с высокой интенсивностью пиков минеральной составляющей. Рентгенограммы оливкового сапропеля (интервал 325–225 см) отличаются менее выраженными пиками кварца, слюды, альбита, хлорита, амфиболов и пирита, отсутствием пиков каолинита, возрастанием роли аморфной фазы, образующей широкое гало в области $d = 3\text{--}5 \text{ \AA}$. Рентгендифракционные спектры буро-оливкового сапропеля

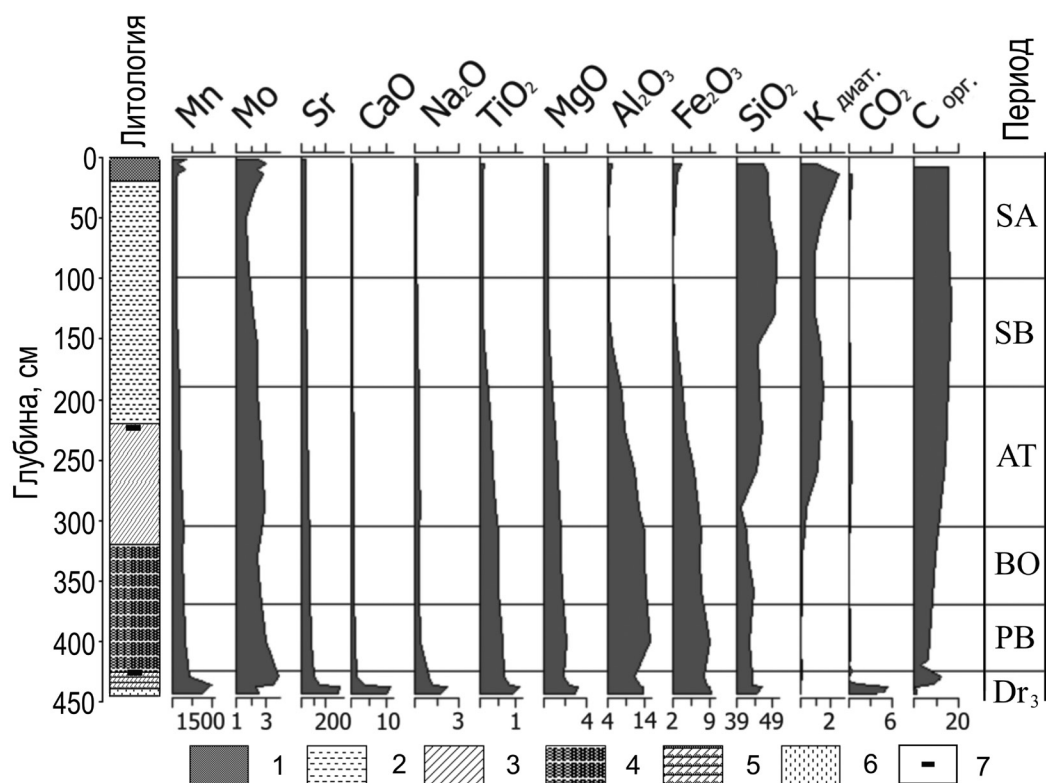


Рис. 2. Изменения содержаний компонентов донных отложений.

1 – темно-бурый обводненный пелитовый сапропель, 2 – буро-оливковый пелитовый сапропель, 3 – оливковый пелитовый сапропель, 4 – буро-оливковый грубо-пелитовый слюдястый сапропель, 5 – опесчаненный слюдястый торфянистый сапропель, 6 – песок серый кварцевый мелкозернистый, 7 – места отбора проб на радиоуглеродный анализ. Mo, Mn, Sr – г/т, CaO, Na₂O, TiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂ – вес. %, K диат. – млн./г, C_{орг.} CO₂ – %.

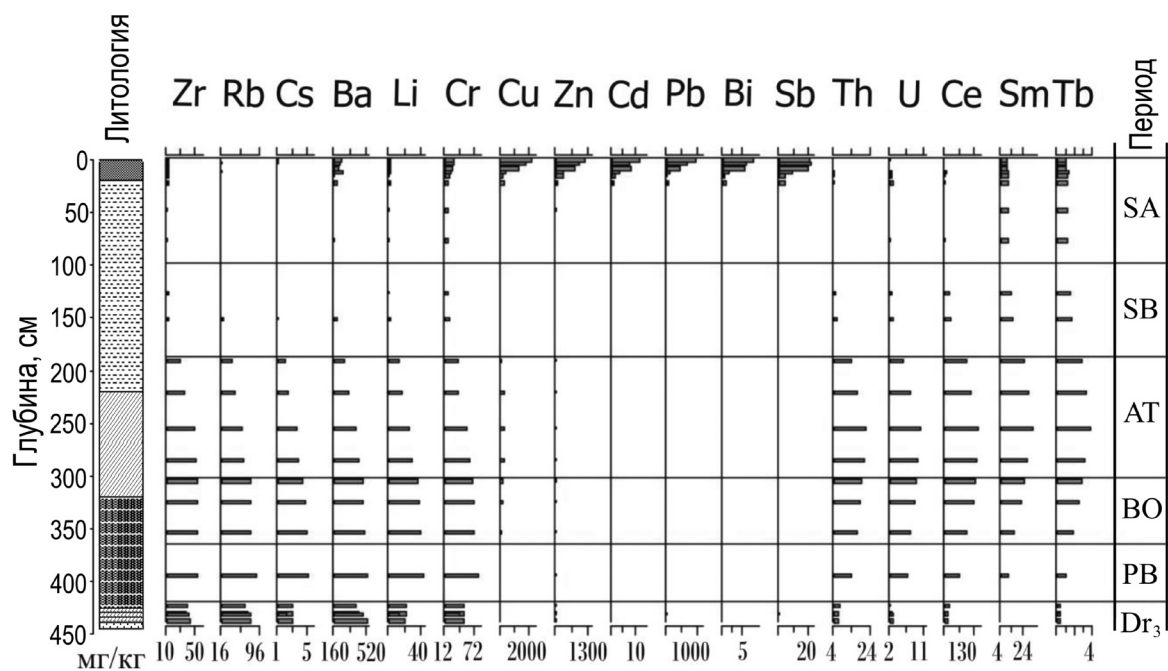


Рис. 3. Изменения концентраций химических элементов в донных отложениях оз. Уфимское.

Условные обозначения к колонке донных отложений см. рис. 2.

(интервал 225–20 см) характеризуются максимальной выраженностью гало, соответствующего фазе, образованной аморфным кремнеземом и органическим веществом [7]. Для рентгенограмм темно-бурого сапропеля верхней части колонки донных осадков (интервал 20–0 см) отмечается большая амплитуда пиков минеральной компоненты и присутствие пиков гипса. Согласно данным электронной микроскопии, гипс в темно-буром иле представлен агрегатами пластинчатых кристаллов.

Минеральные компоненты донных отложений оз. Уфимское представлены в основном аллохтонными минералами (кроме кальцита, гипса, фрамбоидального пирита). Большая часть минеральной составляющей поступала в осадок в результате выветривания пород водосбора озера (амфиболиты, биотитовые граниты, кварциты Уфалейского метаморфического комплекса). Так, например, наличие амфиболов, обломочного пирита, в донных осадках оз. Уфимское обусловлено, прежде всего, преобладанием амфиболитов и биотитовых гранитов в составе пород водосбора озера.

Спорово-пыльцевой анализ

Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений оз. Уфимское характеризуется значитель-

ным сходством с диаграммами голоценовых разрезов Среднего Урала (Аятский и Горбуновский торфяники [30], оз. Иткуль [15]), что позволяет выделить на ней однотипные фазы голоценовой истории растительности (рис. 4). Отличительными особенностями спорово-пыльцевых спектров донных отложений оз. Уфимское является высокое содержание пыльцы древесной березы, низкое содержание пыльцы ели, слабовыраженный максимум пыльцы широколиственных пород.

На основе данных спорово-пыльцевого анализа колонку донных отложений разделили на шесть фаз по Н. А. Хотинскому [30] и на периоды по Блитту-Сернандеру: поздний дриас (Dr_3), пребореал (PB), бореал (BO), атлантик (AT), суббореал (SB), субатлантик (SA).

Фаза I (интервал 451–425 см) относится к стадии позднеледниковой растительности и, согласно радиоуглеродной датировке (глубина 420–425 см) в $10\,300 \pm 80$ лет, соответствует позднему дриасу (Dr_3). Она характеризуется спорово-пыльцевыми спектрами (СПС) с высоким содержанием пыльцы трав (в основном *Artemisia sp.*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*). Максимум пыльцы травянистых растений (86%) отмечается для СПС торфянистого сапропеля (интервал 438–425 см). Характерной чертой спорово-пыльцевых спектров серого песка (ин-

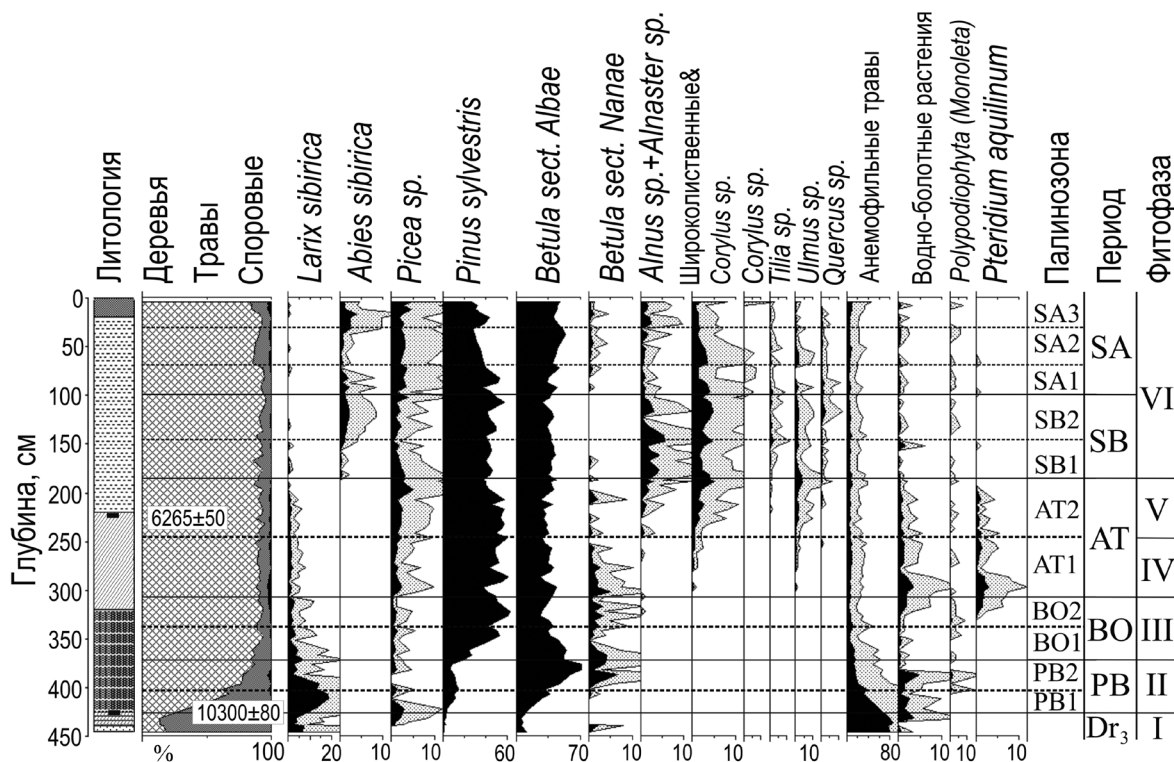


Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений оз. Уфимское.

Условные обозначения см. рис. 2. На колонке отмечены места отбора проб на радиоуглеродный анализ.

тервал 451–438 см) является более высокое содержание пыльцы древесных растений (до 19%).

Фаза II (425–370 см) соответствует елово-лиственничной стадии по Н.А. Хотинскому и охватывает весь пребореал (PB) [30]. Для спорово-пыльцевых спектров первой половины фазы (PB1, интервал 425–395 см) характерно снижение содержания пыльцы анемофильных трав (не более 60%), подъем кривой пыльцы древесных пород (до 60%), максимум пыльцы *Larix sibirica* Ledeb. (20%). Значительное увеличение роли лесных формаций соответствует половецкому потеплению на Русской равнине и Среднем Урале. Спорово-пыльцевые спектры второй половины фазы (PB2, интервал 395–370 см) характеризуются продолжающимся спадом кривой пыльцы травянистых растений и значительным увеличением содержания пыльцы древесной березы (до 70%). Переславское похолодание, характерное для Русской равнины и Среднего Урала, отмечается на спорово-пыльцевой диаграмме оз. Уфимское увеличением количества пыльцы *Betula sect. Nanae*. Верхняя граница фазы проводится на уровне начала спада кривой пыльцы *Betula sect. Albae* и увеличения содержания пыльцы *Pinus sylvestris* L.

Пребореальный максимум пыльцы лиственницы, отмеченный для оз. Уфимское, обычен для озер Кыштымской, Уфалейской, Свердловской групп, оз. Серебры [10, 26], но не характерен для более западных голоценовых разрезов болот Б. Галашки [24], Среднесулемского, Верхнесулемского [22, 23]. Данная особенность связана с приуроченностью *Larix sibirica* к районам с пониженной влажностью климата. Исходя из результатов нашей работы и данных Н.А. Хотинского [30], фазу березово-сосновых лесов аллереда Южного Урала нельзя считать аналогичной фазе елово-лиственничных лесов пребореала Среднего Урала [29].

Фаза III (интервал 370–305 см) соответствует стадии березовых лесов и охватывает весь бореал (BO) [30]. СПС первой половины фазы (BO1, интервал 370–345 см) характеризуются господством пыльцы древесной березы (55%), достаточно высоким содержанием пыльцы *Larix sibirica* (4–7%). Пыльца ели присутствует единично, что свидетельствует о малой роли темнохвойных формаций. Для второй половины фазы (BO2, интервал 345–305 см) отмечается подъем кривой пыльцы *Pinus sylvestris* (50%), снижается содержание пыльцы анемофильных трав и лиственницы. Таким образом, тренд потепления-увлажнения продолжается. Пионерные березовые леса и лиственничные лесостепи сменяются сосново-березовыми и березово-сосновыми формациями.

Фаза IV (интервал 305–190 см) соответствует стадии развития сосновых лесов по Н.А. Хотинскому и охватывает первую половину атлантического периода (AT1). Нижняя граница фазы проводится на уровне повышения содержания пыльцы *Picea* sp. и *Pinus sylvestris*. Для СПС фазы характерно при-

сутствие спор *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, обычного для сосновых лесов.

Фаза V (интервал 250–190 см) соответствует аналогичной фазе по Н.А. Хотинскому и, согласно радиоуглеродным данным (датировка 6265 ± 60 лет образца с глубины 220–225 см), относится ко второй половине атлантического периода (AT2). Нижняя граница фазы находится на уровне эмпирической границы пыльцы широколиственных пород и подъема кривой пыльцы ели. Почти на границе с суббореальным периодом после максимума пыльцы *Picea* sp. наблюдается пик пыльцы *Ulmus* sp. Высокое содержание пыльцы ели, широколиственных пород и ольхи указывают на повышение увлажнения и потепление климата.

Фаза VI (интервал 190–0 см) охватывает суббореальный (SB) и субатлантический (SA) периоды Блитта-Сернандера. Нижняя граница фазы проводится на уровне спада кривых пыльцы широколиственных пород, *Picea* sp., *Pinus sylvestris*, повышения содержания пыльцы *Betula sect. Albae*. В течение фазы на водосборе озера были распространены сосново-березовые леса со значительным присутствием темнохвойных формаций и широколиственной составляющей.

Похолодание начала суббореального периода (4500 лет назад) отмечается по уменьшению содержания пыльцы *Ulmus* sp. и *Picea* sp. Во второй половине суббореального периода возрастает количество пыльцы *Abies sibirica* Ledeb и *Ulmus* sp.

Нижняя граница субатлантического периода проводится на уровне спада кривых пыльцы широколиственных пород, пихты и повышения содержания пыльцы ели. По особенностям спорово-пыльцевых спектров выделяются три зоны: SA1, SA2, SA3. Для СПС первой зоны субатлантики (SA1, интервал 98–75 см) характерны подъем кривой пыльцы широколиственных пород и примерно равные содержания пыльцы *Pinus sylvestris* и *Betula sect. Albae*. Для середины субатлантического периода (SA2, интервал 75–20 см) отмечается спад кривой пыльцы сосны и пихты, повышение содержания пыльцы березы древовидной. В СПС третьей зоны субатлантического периода (SA3, интервал 20–0 см) отмечается спад кривой пыльцы *Betula sect. Albae*, повышение содержания пыльцы *Pinus sylvestris*, *Abies sibirica*, с последующей сменой позиций с глубины колонки 10 см, вероятно, связанной с антропогенным воздействием. В целом, для субатлантического периода отмечается возрастание роли еловых и березовых лесов, уменьшение участия широколиственных пород в составе древостоя. Данные изменения свидетельствуют о похолодании и увлажнении климата.

Диатомовый анализ

По результатам кластерного и визуального анализа диаграмм изменения процентов и абсолютных

концентраций типичных видов диатомовых водорослей выделено пять диатомовых ассоциаций, соответствующих периодам по Блитту-Сернандеру.

Для позднего дриаса характерна ассоциация, названная по доминирующему виду – *Ellerbeckia arenaria* (Moore) Crawford (Dr₃, интервал 451–425 см) (рис. 5). Кроме массовых *Ellerbeckia arenaria* и *Fragilaria pinnata* Ehr. в составе диатомового сообщества отмечаются алкалифильные бентосные *Achnanthes Clevei* Grun., *Amphora pediculus* (Ktz.) Grun., *Gyrosigma attenuatum* (Ktz.) Rabh. Количество створок *Fragilaria pinnata* резко увеличивается в прослое торфа (интервал 431.5–433.5 см), что связано с зарастанием водоема макрофитами. Содержание диатомовых водорослей увеличивается к концу позднего дриаса (до 13 млн. створок в 1 г навески). Значения индексов сапробности свидетельствуют о низкой продуктивности водоема (индекс сапробности DAIPo = 86–96, индекс сапробности Пантле-Бука = 0.6–0.9). Исходя из доминирования *Ellerbeckia arenaria*, необходима осторожная интерпретация результатов диатомового анализа.

Данный вид является индифферентом по отношению к кислотности среды (pH = 7), однако остальные диатомеи предпочитают pH > 7 (алкалифилы), что свидетельствует о достаточно высоком pH вод в начале формирования озера.

Для пребореального и бореального периодов характерна ассоциация с доминирующей *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Simonsen (PB-BO, интервал 425–305 см). Кроме доминирующей *Aulacoseira granulata* массово встречается *Aulacoseira ambigua* (Grun.) Simonsen. Отмечается постепенное возрастание концентрации диатомовых водорослей (до 36 млн. створок в 1 г навески). Обилие планктонных диатомей (80%) свидетельствует о повышении глубины озера. Диатомеи представлены в основном алкалифилами, однако появляется ацидофильная *Tabellaria flocculosa*, измеренный pH поровых вод и pH, рассчитанный по диатомовым водорослям, уменьшаются [18]. Увеличивается разнообразие видов, появляются *Achnanthes lanceolata* ssp. *lanceolata* var. *elliptica* Cl., *Achnanthes exigua* Grun., *Navicula protracta* (Grun.) Cl., *Fragilaria constru-*

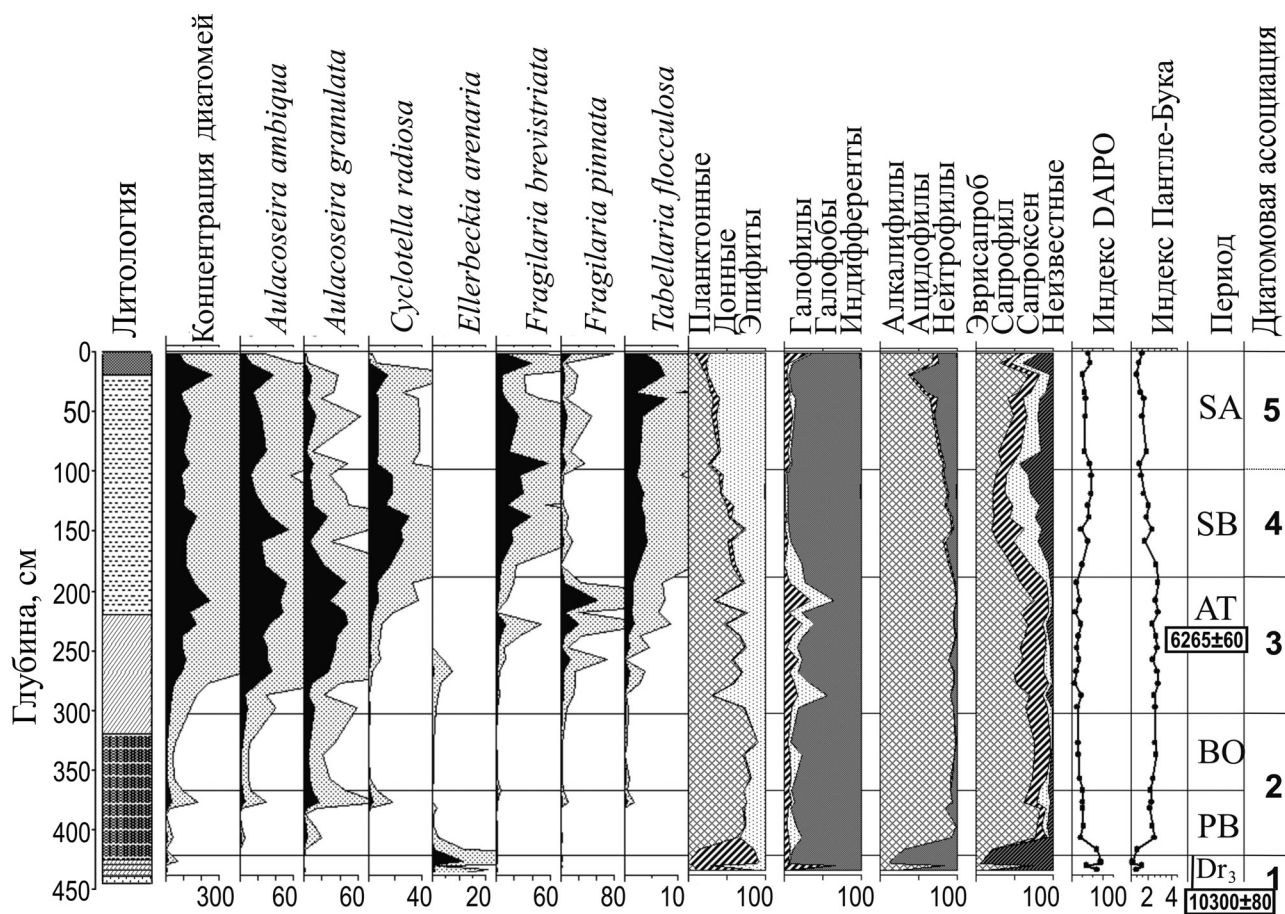


Рис. 5. Результаты диатомового анализа.

Условные обозначения к колонке донных отложений см. рис. 2. Концентрация диатомей в млн./г, экологические группы в %, индексы сапробности в баллах.

ens (Ehr.) Grun., *F. lapponica* Grun. О возрастающей продуктивности озера кроме разнообразия диатомей свидетельствует также повышение индекса сапробности Пантле-Бука (до 2.6), уменьшение индекса DA_{Иро} (до 41) и появление *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr.

Атлантическому периоду соответствует ассоциация *Fragilaria pinnata*-*Aulacoseira ambigua*-*Aulacoseira granulata* (АТ, интервал 305–190 см). На данном этапе резко возрастает концентрация диатомовых водорослей (до 245 млн. створок на 1 г навески). Уменьшается роль планктонной *Aulacoseira granulata*, увеличивается содержание эпифитов (в основном *Fragilaria pinnata*). В составе диатомовой ассоциации отмечаются *Cymbella sinuata* Greg., *Navicula americana* Ehr., *Cyclotella stelligera* Cl. et Grun., *C. ocellata* Pant., *Fragilaria leptostauron* (Ehr.) Grun. Изменения индексов сапробности Пантле-Бука (2.9) и DA_{Иро} (34–37) свидетельствуют о повышении трофности озера.

В суббореале (SB, интервал 190–100 см) сообщества с эврисапробными *Fragilaria pinnata*, *Aulacoseira granulata*, сапрофильной *Aulacoseira ambigua*, сменяются ассоциацией с доминантами – сапроксенами *Fragilaria brevistriata* Grun. и *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm. Обилие планктонных диатомей существенно снижается за счет обрастателей (*Fragilaria brevistriata*, *Fragilaria pinnata* и др.). Индекс сапробности DA_{Иро} варьирует от 37 в начале до 73 в конце периода, что говорит о понижении трофности к концу суббореала. На развитие процесса естественной ацидификации озера указывает возрастание содержания и разнообразия ацидофилов (*Tabellaria flocculosa*, *Eunotia pectinalis* (Dillw.) Rabh., *Stauroneis anceps* Ehr.), постоянная встречаемость индифферентов (*Navicula pupula* Ktz., *Navicula radiosa* Ktz.), уменьшение содержания алкалифилов.

Субатлантическому периоду соответствует ассоциация *Fragilaria brevistriata*-*Tabellaria flocculosa*. Первая часть названия связана с высокой концентрацией створок *Fragilaria brevistriata*, вторая – со значительным повышением содержания *Tabellaria flocculosa*. Продолжает уменьшаться обилие планктонных диатомей и возрастать содержание эпифитов. Величина индексов сапробности варьирует: DA_{Иро} – 56–70, Пантле-Бука – 1.2–1.8. Возрастает количество и разнообразие ацидофилов (*Navicula heimansii* Van Dam et Kooyman, *Tetracyclus lacustris* Ralfs., *Eunotia minor* (Ktz.) Grun., *Eunotia serra* var. *tetraodon* (Ehr.) Nörp., *Stauroneis anceps* f. *gracilis* Rabh., *Pinnularia cardinalis* (Ehr.) W. Sm.) и индифферентов (*Fragilaria virescens* Ralfs., *Cymbella minuta* Rabh., *Cymbella amphicephala* Ng. ex Ktz., *Diploneis finnica* (Ehr.) Cl.) Несмотря на существенное закисление, по данным pH поровых вод, для индустриального периода (верхние 20 см донных отложений) не характерно увеличение разнообразия диатомей-ацидофилов [18]. Вероятно, данная

особенность связана с небольшой длительностью техногенной ацидификации. Наименьшим значениям pH поровых вод соответствует наибольшее содержание ацидофилов и пик концентрации наиболее массовой ацидофильной *Tabellaria flocculosa*.

ОБСУЖДЕНИЕ

На основе данных спорово-пыльцевого анализа было выявлено, что осадконакопление в оз. Уфимское началось в позднем дриасе (Dr₃, 10.3–11.0 тыс. лет). Континентальные холодные условия позднего дриаса изменились в пребореале (PB) в сторону возрастания влажности и теплообеспеченности. Во второй половине пребореала отмечалось небольшое похолодание климата (переславское похолодание). С начала бореала (BO) тренд потепления-увлажнения климата возобновился. Голоценовый оптимум, отмеченный для конца атлантического периода (АТ), сменился похолоданием суббореала (SB). Развитие широколиственных лесов после кратковременного суббореального похолодания свидетельствует о потеплении климата. В субатлантическом периоде начался тренд похолодания-увлажнения климата.

В работах В.В. Ревердатто [25], М.П. Гричук, В.П. Гричука [8] отмечено разделение каждой ледниковой эпохи на две стадии: криогигротическую, относящуюся к первой половине оледенения с холодными и влажными условиями, и криоксеротическую с холодным и сухим климатом [19]. Межледниковья также подразделяются на две стадии: теплую сухую термоксеротическую стадию первой половины межледниковья и теплую влажную термогигротическую стадию второй половины межледниковья. Согласно сопоставлению результатов наших исследований с общей схемой стадий плейстоценового климатического ритма, можно предположить, что в настоящее время Южный Урал развивается в условиях, характерных для конца термогигротической стадии межледниковья, постепенно сменяющейся криогигротической стадией ледникового времени. Данное предположение соответствует заключению, сделанному для Европы [19].

Согласно данным диатомового, минералогического и геохимического анализа, в начале образования озеро представляло собой мелководный водоем с карбонатными водами, высоким pH и преимущественно минеральным осадконакоплением. Во второй половине позднего дриаса произошло зарастание озера макрофитами и смена окислительной обстановки восстановительной. Максимальное понижение уровня озера отмечалось для середины позднего дриаса (интервал 431.5–433.5 см). В результате увлажнения-потепления климата с начала пребореала повысилась глубина озера, увеличилась его продуктивность. В атлантическом периоде начался преимущественно органогенный этап

осадконакопления: глубина озера снизилась, возрос уровень трофии, происходило зарастание макрофитами. В суббореале началась естественная acidификация озера. В субатлантическом периоде озеро продолжало зарастать. С начала индустриального периода и в настоящее время естественное закисление усугубляется техногенным.

Соответствие периодов по Блитту-Сернандеру и диатомовых ассоциаций свидетельствует о влиянии климата на изменения состава диатомовой флоры. Однако в диатомовой летописи фиксируются только высокоамплитудные или продолжительные колебания климата. Так, быстрая смена ассоциаций диатомей в позднем дриасе и пребореале свидетельствовали о существенных изменениях климата.

Кроме общего анализа изменений концентраций отдельных химических элементов нами подсчитывались индикаторные отношения химических элементов по аналогии с оз. Байкал. Согласно данным по оз. Байкал, концентрация диатомей или содержание биогенного кремнезема возрастают в теплые периоды в связи с освобождением кремнекислоты из вечной мерзлоты и увеличением содержания питательных веществ [4]. По результатам исследований Е.Л. Гольдберга, для теплых периодов характерны также повышенные величины отношений Sr/Ba (Rb , Cs , Ti), U/Th , Zn/Nb и содержаний U , Mo , для холодных – Ba , Rb , Cs , Th , La , (Ce , Nd , La , Ce , Ba)/ Yb (Y , Zr) [5, 6]. Исходя из наших данных, отмечается отсутствие соответствия изменения концентраций диатомовых створок и величин отношений Sr/Ba (Rb , Cs , Ti), U/Th , Zn/Nb , содержания U , Mo , а также обратная корреляция с Ba , Rb , Cs , Th , La , (Ce , Nd , La , Ce , Ba)/ Yb (Y , Zr). Выявляется сравнительно четкое соответствие изменения концентрации диатомовых створок, органического углерода и концентрации SiO_2 . Полученные данные свидетельствуют о значительных отличиях процессов седиментогенеза крупных и малых озер, выраженных, прежде всего, в разной временной продолжительности осадконакопления, различных площадях водосбора, морфометрических параметрах озер.

Повышенные концентрации Cd , Zn , Cu , Pb , Sn , As , Sb , Se , Te в осадках индустриального периода связываются с деятельностью медеплавильного комбината “ЗАО Карабашмедь”, что позволяет рассматривать халькофильные элементы как индикаторы техногенеза на изученной территории.

Исходя из сопоставления данных диатомового, спорово-пыльцевого и геохимического анализов, выяснено, что возрастание содержания Li , Rb , Cs , Ba , Be , Al , Zr , Hf , Fe , Cr , Ti указывает на увеличение глубины озера и косвенно индицирует увлажнение климата. Повышение содержаний PЗЭ , Y , Th , U в составе терригенного сноса может быть связано с возрастанием химического выветривания пород палеоводосбора по мере увеличения влажности климата.

На основе геохимического и минералогического изучения донных отложений выявлено, что повышенные содержания Ca , Sr , Mn , $\text{C}_{\text{карб.}}$ в сером мелкозернистом песке связаны главным образом с осаждением кальцита.

Для донных отложений начала образования и повышения глубины озера характерны рентгенограммы с высокой амплитудой пиков минеральной составляющей. На стадии увеличения продуктивности озера возрастает выраженность широкого гало, соответствующего повышению содержания аморфного кремнезема и органического вещества. Таким образом, характер и специфика рентгендифракционных картин позволяют уточнять условия озерного седиментогенеза.

Наличие гипса в донных отложениях оз. Уфимское расходится с результатами предыдущих исследований минеральных компонентов пресноводных озер Урала [31]. Присутствие гипса в верхней части колонки донных осадков может быть интерпретировано как появление аутигенной фазы под воздействием большого объема эмиссий сернистого ангидрида на акваторию озера от медеплавильного производства г. Карабаш. Образование кальцита и гипса в нижней части колонки донных отложений, вероятно, связано с засушливыми условиями позднего дриаса.

Каждое стратиграфическое подразделение изученной колонки донных отложений, выделенное на основе литологии, отличается, кроме того, специфическим геохимическим, минералогическим, спорово-пыльцевым, диатомовым составом.

Серый мелкозернистый песок начала позднего дриаса (интервал 451–438 см) характеризуется присутствием кальцита, гипса, высоким содержанием химических элементов связанных с карбонатом кальция (Ca , Mg , Sr , Mn , $\text{C}_{\text{карб.}}$) и процессами терригенного сноса (Li , Rb , Cs , Ba , Be , Al , Zr , Hf , Fe , Cr , Ti), преобладанием бентосной *Ellerbeckia arenaria* (до 96%), сравнительно высоким содержанием пыльцы деревьев (16–19%) в СПС.

Для торфянистого сапропеля (интервал 438–425 см) отмечается уменьшение содержания химических элементов терригенного сноса, возрастание концентрации эпифита *Fragilaria pinnata*, максимальное содержание пыльцы трав (80–86%).

Буро-оливковый слюдястый сапропель пребореала и бореала (интервал 425–325 см) характеризуется высоким содержанием химических элементов терригенного сноса, доминированием среди диатомей планктонных видов.

Оливковый сапропель атлантического периода (интервал 325–225 см) соответствует стадии зарастания водоема и отличается повышением содержания органического углерода, преобладанием среди диатомей эпифитов.

Для буро-оливкового сапропеля субатлантика и суббореала (интервал 225–20 см) отмечается повы-

шение содержания органического углерода, уменьшение концентраций Li, Rb, Cs, Ba, Be, Al, Zr, Hf, Fe, Cr, Ti, возрастание амплитуды гало $d = 3-5 \text{ \AA}$ на дифрактограммах.

Обводненный пелитовый темно-бурый сапропель индустриального периода характеризуется значительным повышением концентраций халькофильных элементов (Pb, Cu, Zn, Bi, Cd, Sb и др.), снижением содержания диатомовых створок, пыльцы, органического углерода (15.3%), увеличением количества диатомей-ацидофилов, появлением агрегатов кристаллов гипса, образовавшегося за счет высоких содержаний сульфат-иона в поровых водах при выбросах сернистого ангидрида.

ВЫВОДЫ

1. Осадконакопление в оз. Уфимское началось более 10.3 тыс. лет назад (Dr₃, поздний дриас).

2. На протяжении голоцена климатические условия неоднократно менялись при сохранении общего тренда потепления-увлажнения. Наиболее резкие изменения, отраженные в особенностях геохимического, минералогического, спорово-пыльцевого, диатомового состава донных осадков, произошли на границе поздний дриас–пребореал. Менее высокоамплитудные климатические события (переславское похолодание, климатический оптимум голоцена, суббореальное похолодание) отмечались лишь изменениями спорово-пыльцевых спектров осадков. С начала субатлантика отмечается переход к заключительному этапу голоценового межледниковья.

3. Несмотря на соответствие диатомовых зон периодам Блитта-Сернандера, изменения основных параметров озера (глубина, трофический статус, pH, минерализация, зарастание макрофитами), по данным детального диатомового анализа, происходили не только в результате климатических флуктуаций, но и в ходе саморазвития озера.

4. Индустриальный период осадконакопления (верхние 20 см колонки) был выделен по увеличению концентраций халькофильных элементов, изменению минералогического состава (появление гипса), резкому возрастанию содержания ацидофильных диатомей.

5. Геохимические индикаторы изменения условий осадконакопления, установленные для оз. Байкал, не “работают” для оз. Уфимское в связи с разной продолжительностью осадконакопления, отличиями в масштабах водосборных территорий, морфометрических параметрах.

6. Наиболее информативными геохимическими индикаторами для оз. Уфимское являются изменения концентрации халькофильных элементов: Pb, Cu, Zn, Bi, Cd, Sb (характеризуют техногенный этап), литофильных элементов: Li, Rb, Cs, Ba, Be, Al, Zr, Hf, Fe, Cr (**маркируют интенсивность терригенного сноса**), C_{орг.} (указывает на обилие живых

организмов, косвенно свидетельствует о зарастании водоема), Sr, Ca, CO₂ (косвенно свидетельствуют об аридизации климата), Mo, Mn (указывают на особенности окислительно-восстановительной обстановки), U, Th, РЗЭ (косвенно индицируют увлажнение климата).

7. На основе минералогических данных (присутствие кальцита и гипса, амплитуда пиков минеральных компонентов, выраженность аморфного гало) можно судить о палеоклимате, смене основных этапов седиментогенеза, выделить индустриальный этап осадконакопления.

Исследования выполнены при финансовом содействии Интеграционного проекта ДВО-СО-УрО РАН “Эволюция климата и природной среды Урала, Центральной и Восточной Азии в позднем кайнозое по данным бурения и изучения донных осадков озер” (проект № 09-С-5-1001, гранта поддержки аспирантов и молодых ученых УрО РАН, гранта РФФИ № 10-05-96012-р-урала), Тематического плана ЮУрГУ № 1.908 и частичном финансировании по проекту № 244166 ImpactMin 7^{ой} рамочной программы ЕС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева М.А. Озера Среднего и Южного Урала. Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1973. 272 с.
2. Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.
3. Баринаева С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. 498 с.
4. Гавшин В.М., Архипов С.А., Бобров В.А. и др. Распределения естественных радиоактивных элементов в голоцен-плейстоценовых глубоководных отложениях озера Байкал и хронологические построения // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 8. С. 1045–1058.
5. Гольдберг Е.Л., Федорин М.А., Грачев М.А., Золотоарев К.В. Геохимические индикаторы изменений палеоклимата в осадках озера Байкал // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 1-2. С. 76–86.
6. Гольдберг Е.Л., Федорин М.А., Чебыкин Е.П. и др. Декадно-разрешенная летопись отклика Восточной Сибири на резкие климатические изменения в Атлантике за последний ледниково-межледниковый цикл // Докл. АН. 2008. Т. 241, № 4. С. 542–545.
7. Гречин В.И. О методах изучения катагенетических преобразований кремнистых пород // Литология и полез. ископаемые. 1972. № 4. С. 147–150.
8. Гричук М.П., Гричук В.П. О приледниковой растительности на территории СССР // Перигляциальные явления на территории СССР. М.: МГУ, 1960. С. 66–100.
9. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 253 с.
10. Дерягин В.В. Озерные геосистемы восточного склона Южного Урала и их изменение в зоне техногенного воздействия. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Пермь: ПГУ, 1999. 23 с.

11. *Дерягин В.В.* Полевая практика по геоморфологии в виде экспедиционного маршрута на административной территории г. Карабаша. Челябинск: АБРИС, 2010. 70 с.
12. Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных водорослей. Т. 3: Порядок Pennales. Л.: Гостеолиздат, 1950. 511 с.
13. *Калмычков Г.В., Кострова С.С.* Способ выделения створок диатомовых водорослей из донных осадков для определения их кислородного изотопного состава и реконструкции палеоклимата // *Геохимия*. 2005. № 12. С. 1358–1360.
14. Ландшафтный фактор в формировании гидрологии озер Южного Урала. Л.: Наука, 1978.
15. *Масленникова А.В., Дерягин В.В.* Реконструкция условий осадконакопления оз. Иткуль (Средний Урал) на базе комплексного анализа донных отложений // *Вопросы современной науки и практики*. Тамбов: Институт имени В. И. Вернадского, 2009. С. 8–18.
16. *Масленникова А.В., Еришов В.В.* Изменение минерального состава донных отложений оз. Уфимское (Южный Урал) в позднеледниковье-голоцене // *Уральский минералогический сборник*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2010. № 17. С. 140–143.
17. *Масленникова А.В., Солотчина Э.П., Дерягин В.В.* Минеральный состав донных отложений озер Урала как выражение условий озерного седиментогенеза в позднеледниковье-голоцене // *Минеральные индикаторы литогенеза*. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 82–83.
18. *Масленникова А.В., Удачин В.Н.* Оценка влияния процессов горно-промышленного техногенеза на акватории озер Южного Урала // *Антропогенная трансформация природной среды*. Т. 1., Ч. 2. Пермь: ПГУ, 2010. С. 30–35.
19. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. М.: Наука, 1982. 248 с.
20. *Панова Н.К.* Формирование растительного покрова среднегорного высотного пояса Южного Урала с изменениями климата в голоцене // *Взаимосвязи среды и лесной растительности на Урале*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. С. 40–57.
21. *Панова Н.К.* История горных лесов центральной части Южного Урала в голоцене // *Лесоведение*. 1982. № 1. С. 26–34.
22. *Панова Н.К.* История лесной и болотной растительности Центральной горной провинции Южного Урала в голоцене. Дис. ... канд. биол. наук. Свердловск: ИЭРЖ УрО РАН, 1987. 183 с.
23. *Панова Н.К., Маковский В.И.* К истории горных лесов Висимского заповедника в голоцене // *Темнохвойные леса Среднего Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. С. 25–33.
24. *Панова Н.К., Маковский В.И., Хиженяк В.А.* Итоги изучения болот и развития лесной растительности Висимского заповедника в голоцене // *Исследования эталонных природных комплексов Урала*. Екатеринбург: изд-во “Екатеринбург”, 2001. С. 349–365.
25. *Реввердатто В.В.* Основные моменты развития послетретичной флоры Сибири // *Советская Ботаника*. 1940. № 2. С. 48–64.
26. *Сукачев В.Н., Поплавская Г.И.* Очерк истории озер и растительности Среднего Урала в течение голоцена по данным изучения сапропелевых отложений // *Бюлл. Комисс. по изучению четвертич. периода*. № 8. М.: изд-во АН СССР, 1946. С. 5–37.
27. Унифицированные методы анализа силикатных горных пород с применением комплексометрии. Инструкция № 163-Х. М.: Мин-во геол. СССР, 1979. 43 с.
28. *Хазина И.В.* Реконструкция природно-климатических обстановок среднего-позднего голоцена ново-сибирского Приобья // *Геология и геофизика*. 2006. Т. 47, № 8. С. 971–978.
29. *Хомутова В.И., Андреева М.А., Давыдова Н.Н и др.* Южный Урал. Озеро Увильды // *История озер Севера Азии*. Л.: Наука, 1995. С. 22–40.
30. *Хотинский Н.А.* Голоцен северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
31. *Шляпников Д.С., Демчук И.Г., Окунев П.В.* Минеральные компоненты донных отложений озер Урала. Свердловск: Изд-во Уральского ун-та, 1990. 104 с.
32. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae. Subvasserflora von Mitteleuropa: in 4 t. Jena: VEB, 1986.

Рецензент В.В. Стефановский

Reconstruction of Holocene lake sedimentation conditions of Southern Urals east slope

A. V. Maslennikova*, V. V. Deryagin**, V. N. Udachin*

**Institute of Mineralogy UB RAS*

***Chelyabinsk State Pedagogical University*

The reconstruction of sedimentation conditions in the interval more than 10 300 radiocarbon years was carried out by the geochemical, mineralogical, micropalaeontological study of Lake Ufimskoye sediments. On the basis of anemophilous herbs pollen domination, presence of gypsum, calcite, high concentration of inorganic carbon, Ca, Sr the continental climate of the Older Dryas was reconstructed. There were observed the increase of contents of trees pollen, planktonic diatoms and concentration of terrigenous chemical elements (Li, Rb, Cs, Ba, Be, Al, Zr, Hf, Fe, Cr, Ti) in Preboreal. These features indicated warming and humidifying of a climate. The Holocene optimum in Atlantic period was determined based on broad-leaved trees pollen peak, increase of Th, U, REE concentration. Subboreal and Preboreal cold events were recognized by the using pollen analysis (decrease of *Ulmus* sp. pollen content, abundance of *Betula sect. Nanae* pollen). Natural and technogenetics acidification was determined because of acidophilous diatoms and *Tabellaria flocculosa* (Roth) Ktz. concentration increase. In the sediments of industrial period there were observed the increase of chalcophilic chemical elements (Pb, Cu, Zn, Cd, Bi, Sb) concentrations and presence of gypsum needle crystals in the lake sediments.

Key words: *Holocene, lake sediments, pollen analysis, diatoms, geochemical indicators, mineralogical components.*