

*На правах рукописи*

**РАЗУМОВСКИЙ Викентий Львович**

**ВЫЯВЛЕНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ  
МАЛЫХ ГОРНЫХ ОЗЕР МЕТОДАМИ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА  
(ЗАПАДНЫЙ И ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ)**

25.00.36 – геоэкология

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в лаборатории динамики наземных экосистем под влиянием водного фактора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института водных проблем РАН

**Научный руководитель:**

**Кузьмина Жанна Вадимовна**  
доктор географических наук,

**Официальные оппоненты:**

**Анциферова Галина Аркадьевна**  
доктор географических наук,  
Воронежский Государственный Университет

**Новенко Елена Юрьевна**  
кандидат географических наук,  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
географический факультет

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт географии РАН

Защита состоится «04» декабря 2014 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 002.040.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных проблем РАН по адресу: 119333 Москва, Губкина, 3. Факс: +7(499)135-54-15

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных проблем РАН по адресу: Москва, Губкина, 3, 6-й этаж и на сайте Института водных проблем (<http://www.iwp.ru>) и на сайте ВАК (<http://www.vak.ed.gov.ru>).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор

Р.Г. Джамалов

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Проблема прогнозирования возможных геоэкологических изменений, является важным направлением в области естественнонаучных дисциплин. Как в планетарном, так и в региональном масштабе, гидрологическая среда является системой, которая мобильно реагирует на изменение климата. В свою очередь, в любой гидрологической системе можно вычленивать отдельные звенья, которые наиболее показательно регистрируют смену природных и антропогенных событий. К категории подобных объектов относятся малые озера с акваторией  $< 1 \text{ км}^2$ , для которых характерно последовательное формирование донных отложений (ДО). По различным компонентам, входящим в состав ДО, можно получить информацию о происходивших изменениях в окружающей среде.

К числу информативных компонентов озерных осадков относятся диатомовые водоросли. Это доминирующая и структурообразующая группа организмов в большинстве пресноводных экосистем. Отличительной особенностью этой группы является наличие кремнеорганического панциря. При захоронении в осадке, панцири диатомей хорошо сохраняются, а морфологическое, экологическое и биоиндикационное разнообразие диатомовых водорослей определяет их значение при палеорекострукциях состояния водной среды.

Наиболее интенсивные и успешные исследования озерных осадков с привлечением диатомового анализа были проведены в Западной Европе и в России во второй половине 20-го столетия. Применение в 21-м веке усовершенствованных методов изотопного датирования позволило существенно детализировать историю климатических изменений в позднем голоцене. Однако, в отличие от горных районов Западной Европы, данные о колебаниях климата на Кавказе в позднем голоцене очень скудны (Моисеенко и др., 2012; Соломина и др., 2013). Диатомовые комплексы малых озер Западного и Центрального Кавказа практически не изучены. Необходимость изменить создававшуюся ситуацию, и послужила основой для подготовки и выполнения проведенных исследований.

**Цель исследования:** изучить и реконструировать долговременные геоэкологические процессы в малых озерных экосистемах Западного и Центрального Кавказа по результатам диатомового анализа.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Исследовать малые горные озера Западного и Центрального Кавказа и выделить среди них эталонные озера разного генезиса.
2. Изучить диатомовые комплексы из поверхностных осадков и колонок донных отложений обследованных озёр.
3. Описать для исследованных озер все выделенные сценарии пространственно-временных трансформаций диатомовых комплексов.
4. Реконструировать методами биоиндикации темпы и направленность, происходивших в озерных водах изменений, по следующим параметрам: температура, рН и сапробность.

**Объект исследований:** малые горные озёра разного генезиса Западного и Центрального Кавказа с акваторией  $< 1 \text{ км}^2$

**Предмет защиты.** Долговременные геоэкологические процессы в малых озерах горных территорий, выявленные путем анализа структурных и таксономических закономерностей распределения диатомовых комплексов в их донных отложениях.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Стратегия поиска эталонных озер и оптимизация отбора донных отложений, содержащих диатомовые комплексы хорошей сохранности.
2. Принципы формирования биоиндикационных таблиц по диатомовым комплексам, выделенным из поверхностных осадков и колонок донных отложений.
3. Два новых варианта трансформации структуры диатомовых комплексов (восстановление после селевых сходов и вселение в образовавшееся озеро), выделенные при систематизации всех типов трансформаций и распределения таксономических пропорций.
4. Региональная модификация биоиндикационных методик, примененная для реконструкции ряда параметров озерных вод (температура, рН, сапробность) и оценки геоэкологических изменений происходивших в эталонных озерах.

**Научная новизна и теоретическое значение работы.** Впервые для малых озер Центрального и Западного Кавказа изучен таксономический состав диатомовых комплексов и сформирован список видов-индикаторов по приуроченности к температуре, рН и сапробности. Установлен новый сценарий трансформации диатомовых комплексов при их вселении в образовавшееся озеро. Выделен единый ряд трансформации и восстановления экосистемы озера при негативных

воздействиях природного генезиса (селевые сходы). Впервые на примере горных озер успешно опробован принцип распознавания переотложенных комплексов диатомей с привлечением других методов (литолого-геохимических). Установлены границы чувствительности метода графического анализа таксономических пропорций. Впервые для горных озер проведена успешная апробация реконструкции изменения значений температуры, рН и сапробности по диатомовым комплексам.

**Практическое значение работы.** Идентификация переотложенных диатомовых комплексов может быть применена при распознавании глобальных климатических изменений и реконструкции новейшей истории развития Кавказского региона. Усовершенствованный методологический подход при унификации биоиндикационных методов используется в научно-педагогическом процессе обучения Международного университета природы общества и человека «Дубна» (г. Дубна) и в его филиале «Угреша» (г. Дзержинск), а также в Кабардино-Балкарском Государственном Университете (КБГУ).

**Вклад автора в разработку проблемы.** С 2009 по 2012 г.г. автор участвовал в 4 научных экспедициях, в которых им был непосредственно отобран первичный материал (пробы) для будущей работы. Автором лично отобран, обработан и проанализирован весь научный материал на диатомовый анализ. Изготовлены постоянные препараты, сформирована систематическая база данных на основе фотографических изображений на световом и электронном микроскопах.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 5 из них в отечественных рецензируемых журналах, включенных в список, рекомендованный ВАК.

**Апробация работы.** Материалы работы доложены (и опубликованы) на 5 международных конференциях, в том числе: IV Международная конференция «Актуальные проблемы современной альгологии» (Киев, 2012 г.); IV Молодежная школа-семинар и конференция «Природно-антропогенные геосистемы: мировой и региональный опыт» (Курск, 2012 г.); VI, VII и VIII Международные научные конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (Москва, 2012 г.; 2013 г.; 2014 г.); XIII Международная конференции альгологов «Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований» (Борок, 2013 г.). Результаты работы были использованы автором при участии в Программе фундаментальных исследований № 11 Отделения наук о Земле РАН по теме: «Оценка природных и антропогенных трансформаций водных экосистем Европейской части России по результатам диатомового анализа» за 2012-2014 гг.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов списка литературы (167 источников, в том числе 97 - на иностранных языках) и приложения. Текст диссертации изложен на 129 страницах, содержит 56 рисунков и 5 таблиц.

**Благодарности.** Автор благодарен и признателен своим старшим коллегам-диатомологам: д.б.н. Н.И. Дорофеев, к.б.н. М.А. Гололобовой, к.б.н. Д.А. Чудаеву, к.г.н. З.В. Пушиной, к.г.н. Т.С. Шелеховой, от которых он получил значимую помощь в виде научных консультаций по диатомовому анализу, а также при лабораторной обработке проб, просмотре первичного материала и его фотографировании. Автор искренне признателен своему научному руководителю: д.г.н., зав. лабораторией Динамики наземных экосистем под влиянием водного фактора ИВП РАН Ж.В. Кузьминой.

## **Глава 1. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ИЗ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1 История изучения диатомовых комплексов из озерных отложений**

В первом разделе главы дается описание истории изучения диатомовых комплексов из озерных отложений Западной Европы, Северной Америки и России. Упомянуты наиболее значимые и масштабные исследования диатомовых комплексов из озерных отложений. Охарактеризованы отдельные исторические этапы исследования озер связанные с диатомовым анализом и охарактеризованы различные направления исследований в области диатомового анализа применительно к лимнологическим исследованиям.

В отдельном подразделе обсуждаются наиболее значимые работы, в том числе и современные, проведенные для диатомовых комплексов из горных озер в различных регионах России.

Констатируется, что диатомовые комплексы из горных озер Центрального Кавказа на территории России фактически ранее не были исследованы, а по Западному Кавказу существует небольшое число работ. Упомянуто несколько работ по диатомовым комплексам из горных рек Приэльбрусья.

### **1.2 Физико-географическое описание района исследований**

Во втором разделе главы приведены отличительные географические особенности районов, где были обследованы эталонные озера и отобраны диатомовые комплексы: Приэльбрусье

(Кабардино-Балкария и Карачаево-Черкессия), Кабардинская равнина (Кабардино-Балкария), северо-западные предгорья Большого Кавказского хребта (Краснодарский край).

## ГЛАВА 2. ОПИСАНИЕ ОБСЛЕДОВАННЫХ ОЗЕР И ПРИМЕНЕННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

### 2.1 Пробы озерных отложений и методы их анализа

Основные преимущества озерных отложений для палеоклиматических реконструкций заключаются в: преобладании накопления материала над сносом, близким к постоянным значениям скоростям осадконакопления, возможность детального хронологического контроля (Соломина и др., 2013).

Структуру и объем первичного материала составили более 240 проб на диатомовый анализ, отобранных в 2009-2012 гг. из придонных отложений озер, а также из колонок озерных отложений. Отбор озерных отложений осуществлялся стратометром ударно-замыкающего типа и озерным буром типа «бур Несье» (Nesje, 1992). Обработка проб, изготовление постоянных препаратов, подсчет и идентификация створок диатомей, осуществлялись по стандартным методикам (Давыдова, 1985; Battarbee, 1986): определено более 400 низших таксонов (видов и разновидностей, из которых более 200 – таксоны индикаторы (сапробности, температуры и рН).

Исследования постоянных препаратов проводились на различных моделях световых микроскопов, оснащенных 100-кратными масляно-иммерсионными объективами с нумерической апертурой 1,25. Параллельно проводилась микрофото съемка с использованием разных моделей цифровых фотокамер. Электронно-микроскопические исследования проводили на сканирующих электронных микроскопах (СЭМ) моделей Jeol JSM-6380 и CamScan S2 в межкафедральной лаборатории электронной микроскопии биологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова.

Отбор и первичная обработка гидробиологических проб осуществлялись по стандартным методикам (Руководство ..., 1977). Определение возраста донных отложений водоемов проводились радиометрическим методом с использованием моделей датирования CRS и C1C на основе хронологии <sup>10</sup>РЬ, в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН по стандартным методикам (Appleby, Oldfield, 1978; Appleby, 1997). Были применены: литологические, геохимические, изотопные и другие методы изучения на базе института минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (Дарьин, Калугин, 2012).

При исследовании трансформаций диатомовых комплексов использовался метод графического анализа (Разумовский, Моисеенко, 2009). При построении графиков по оси абсцисс откладывается число идентифицированных таксонов видового и более низкого рангов (далее в тексте – таксонов), а по оси ординат – их относительная численность. Таксоны ранжируются по показателю относительной численности в сторону его уменьшения. По относительной численности таксоны разделяют на группы: доминирующие (обычно не менее 8-10 % от комплекса), сопутствующие (более 1-2 %) и редкие (обычно менее 1 %). В результате, в линейной системе координат строится исходный график или гистограмма. Анализ полученных графиков (гистограмм) проводился по упрощенной схеме: в линейной и логарифмической системе координат. В билогарифмической системе координат анализируются не сами графики, а их тренды, представленные результирующими прямыми линиями.

В билогарифмической системе координат результирующие линии строились двумя способами: с учетом всего спектра таксонов (чтобы не потерять часть информации) и только с учетом доминирующих и сопутствующих таксонов. В последнем случае 1/3 от общей относительной численности, т.е. «хвост» гистограммы, не учитывалась. Во всех случаях, в билогарифмической системе координат, для результирующих линий рассчитывался коэффициент детерминации ( $R^2$ ), позволяющий оценить статистическую достоверность проводимых графических построений. Достоверность оценивается по коэффициенту корреляции ( $r$ ).

В работе был применен способ расчета численных значений рН и температуры в озерах, разработанный в лаборатории гидроэкологии и оценки качества вод ФГБУН ИВП РАН (Разумовский, 2008 а, б; Моисеенко, Разумовский, 2009). Основной инновацией при подобном способе расчета является принцип унификации биоиндикационных методик. В качестве образца была взята методика расчета индекса сапробности (S) по Сладечку (Sládeček, 1973)

$$S = \frac{\sum s_i \times k}{\sum k}$$

где  $s_i$  – индивидуальное численное значение для каждого таксона-индикатора, а  $k$  – коэффициент относительного обилия, рассчитанный по шестиступенчатой шкале (Руководство по гидробиологическому мониторингу ..., 1992).

При расчете рН и температуры озерных вод был применен аналогичный метод, что и при расчете численных значений  $S$ :

$$pH = \frac{\sum ph_i \times k}{\sum k}; T^o = \frac{\sum t_i \times k}{\sum k},$$

где  $ph_i$  и  $t_i$  – индивидуальные численные значения для каждого таксона-индикатора.

При наличии данных, представленных для данного таксона в виде численного интервала, рассчитывается его среднее значение:  $t_i = \frac{(t_{\min} + t_{\max})}{2}$ ;  $ph_i = \frac{(ph_{\min} + ph_{\max})}{2}$ .

Исходной информационной базой данных для расчета численных значений параметров гидросреды послужила работа С.С. Бариновой с соавт. (Баринова и др., 2006).

Следует отметить, что при подобных реконструкциях наиболее значимым результатом является детальное выявление темпов и направленности изменения параметров гидросреды, а не расчет численных значений, как таковых.

В рамках тех методологических подходов, которые были сформулированы ранее при расчете индексов температурной приуроченности и рН-приуроченности (Разумовский, 2008 а, б; Моисеенко, Разумовский, 2009), автором работы были сформулированы и предложены усовершенствованные правила расчета индивидуальных численных значений сапробности ( $s_i$ ), которые позволили, существенно расширить список таксонов-индикаторов сапробности и уточнить полученные расчеты. Модифицированный расчет значений  $s_i$  основан на принципе осреднения численных значений, когда они представлены в виде интервала и увеличения общего числа таксонов-индикаторов, путем расчета средних значений для тех таксонов, о которых имеются только сведения о приуроченности к конкретной зоне сапробности. При окончательном формировании списка таксонов-индикаторов сапробности была использована традиционная классификация зон сапробности (Руководство ..., 1992).

При анализе рассчитанных значений ( $S$ ,  $T^o$ , рН), были применены математические понятия: число значений ( $n$ ); уровень значимости ( $\alpha$ ); доверительная вероятность ( $P$ ); (Дмитриев, 1995).

## 2.2 Характеристики обследованных озер

Всего было обследовано 26 водоемов (озер и прудов) проточного и непроточного генезиса различной размерности от малой (менее 1 км<sup>2</sup>) до сверхмалой категории (менее 0,01 км<sup>2</sup>). Кроме того были изучены образцы из трех ледников, расположенных в непосредственной близости от озер: ледник Донгузорун, Башкоринский ледник и ледник Азау. Из обследованных водоемов, 15 располагаются в Республике Кабардино-Балкария, 10 - в Краснодарском Крае и 1 - в Республике Карачаево-Черкесия. Поверхностные пробы донных осадков были отобраны при обследовании 9 озер в районе Приэльбрусья (рис.1). Колонки донных отложений были отобраны из 5 озер (рис.2).

В главе дается описание всех эталонных озер, где был проведен отбор проб на диатомовый анализ (поверхностных осадков и колонок донных отложений).

В данном случае под эталонными озерами подразумеваются водные объекты, в которых сформировались условия для непрерывного образования донных осадков со скоростями осадконакопления близкими к постоянным значениям. Кроме того, необходимо чтобы в донных отложениях (ДО) хорошо сохранялись микропалеонтологические остатки. Все перечисленное, позволяет успешно проводить изотопное датирование по образцам из колонок ДО и реконструкции климатических событий по идентифицированным микрофоссилиям.

Сводная таблица морфометрических, гидрологических и микропалеонтологических параметров обследованных озер, подтверждает их соответствие основным требованиям, которые позволяют причислить их к группе эталонных озер (табл. 1). На основе составленной таблицы был сделан вывод о пригодности 6 озер для включения в группу эталонных водоемов для долговременных реконструкций на основе диатомового анализа. К 6 эталонным озерам были причислены: оз. Донгузорун (Донгуз-Орун-Кель), оз. Каракель (Кара-Кель), оз. Зеркальное, оз. Большое (исследованное ранее), оз. Нижнее Хаймашинское и оз. Верхнее Хаймашинское. Соответственно, 5 из упомянутых эталонных озер были исследованы автором работы (Моисеенко и др., 2012; Разумовский Л., Разумовский В., 2013; Разумовский В., 2014 а, б; Разумовский Л. и др., 2014 а, б).

Расположение исследованных озер в Кабардино-Балкарской республике

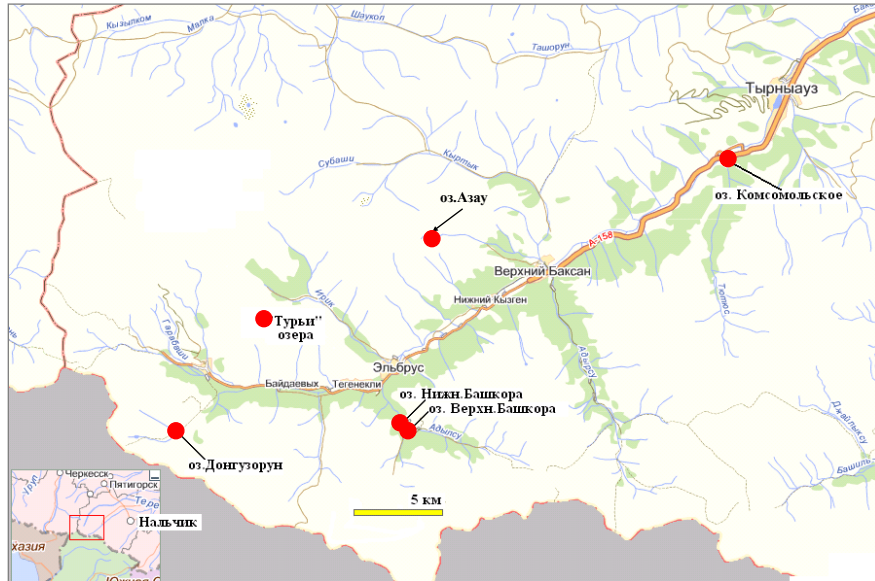


Рис. 1. Карта – схема расположения озер в Приэльбрусье (Республика Кабардино-Балкария), где были отобраны диатомовые комплексы из поверхностных осадков.

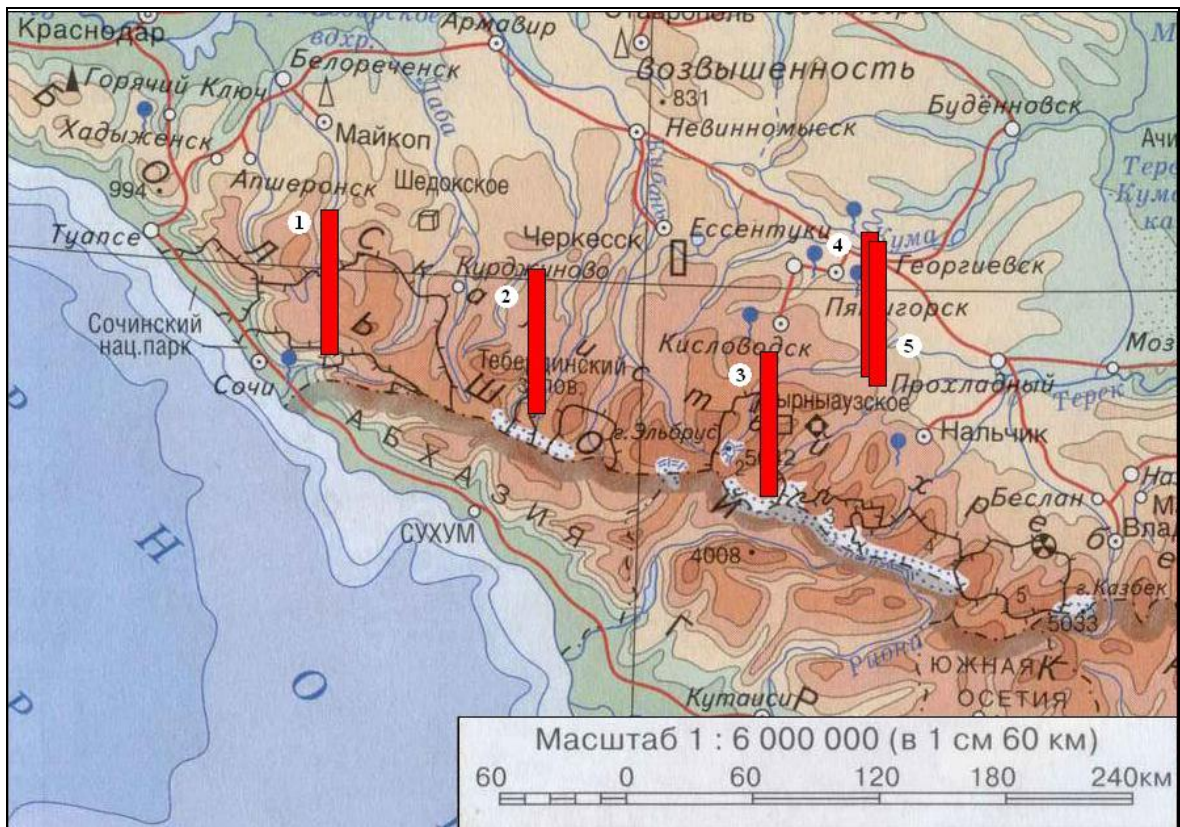


Рис. 2. Расположение колонок донных отложений отобранных на диатомовый анализ из озер Западного и Центрального Кавказа. Цифрами обозначены: 1- оз. Зеркальное; 2 - оз. Каракель; 3 - оз. Донгузорун; 4 - оз. Верхн. Хаймашинское; 5 - оз. Нижн. Хаймашинское.

Таблица 1. Сводная таблица основных морфометрических, гидрологических, литологических и микропалеонтологических признаков, необходимых для выделения эталонных озер для дальнейших палеорекопструкций.

Название озера	координаты	Основные требования для эталонных озер						
		простота береговых очертаний	простота морфометрии дна	непроточное или слабопроточное	небольшие глубины (от 2 до 12 м)	спокойный режим осадконакопления и мелкопелитовый тип осадка	отсутствие процессов заиления	сохранность створок в осадке
Донгузорун	43°13'26" с.ш. 42°29'35" в.д.	+	+	+	+	+	+	+
Верхнее Башкоринское	43°12'64" с.ш. 42°43'47" в.д.	-	-	-	-	-	+	-
Нижнее Башоринское	43°12'64" с.ш. 42°43'47" в.д.	+	+	-	+	-	+	-
Комсомольское.	43°19'56" с.ш. 42°48'35" в.д.	+	+	-	+	+	-	+
Верхнее Турье	43°15'58" с.ш. 42°35'28" в.д.	+	+	-	+	-	+	-
Среднее Турье	43°15'58" с.ш. 42°35'28" в.д.	+	+	-	-	-	+	-
Нижнее Турье	43°15'58" с.ш. 42°35'28" в.д.	+	+	-	-	-	-	-
Гетче-Кель	43°15'57" с.ш. 42°35'30" в.д.	+	+	-	-	-	-	-
Азау	43 17' 02" с.ш. 42 26'48" в.д.	-	+	-	+	-	+	-
Верхнее Хаймашиинское	43 37'43" с.ш. 42 00'53" в.д.	+	+	+	+	+	-	+
Среднее Хаймашиинское	43 37'47" с.ш. 42 02'16" в.д.	+	+	+	-	+	-	+
Нижнее Хаймашиинское	43 36'55" с.ш. 42 04'38" в.д.	+	+	+	+	+	+	+
Нижнее Шандхурей	43 42'13" с.ш. 42 00'51" в.д.	-	+	+	-	-	-	-
Среднее Шандхурей	43 42'28" с.ш. 42 00'53" в.д.	+	-	+	-	-	+	-
Верхнее Шандхурей	43 42'56" с.ш. 42 00'55" в.д.	+	-	+	-	-	+	-
Каракель	43 26'39" с.ш. 41 44'26" в.д.	+	+	+	+	+	+	+
Большое	43°43'03" с.ш. 40°11'58" в.д.	+	+	+	+	+	-	+
Восточное	43°43'03" с.ш. 40°11'59" в.д.	+	+	+	-	+	-	+
Южное	43°43'01" с.ш. 40°11'58" в.д.	+	+	+	-	+	-	+
Западное	43°43'02" с.ш. 40°11'57" в.д.	+	+	+	-	+	-	+
Зеркальное	43°26'74" с.ш. 40°06'17" в.д.	+	+	+	+	+	+	+
Туманное	43°26'73" с.ш. 40°06'19" в.д.	+	+	+	-	+	-	+
Ист. Лауры	43°45'15" с.ш. 40°23'12" в.д.	+	+	+	-	+	-	+
Большое Дзитацкое	43°45'15" с.ш. 40°23'12" в.д.	+	+	+	+	-	+	+
Малое Дзитацкое	43°44'45" с.ш. 40°24'08" в.д.	+	+	+	+	-	+	-
Сохлое	43°44'35" с.ш. 40°24'14" в.д.	+	+	+	-	+	-	-

Условные обозначения: +■ – положительная (кондиционная) характеристика выделенного параметра; – отрицательная (некондиционная) характеристика выделенного параметра; ■- эталонные озера;



## ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ИЗ СОВРЕМЕННЫХ ОЗЕРНЫХ ОСАДКОВ

### 3.1 Таксономический состав диатомовых комплексов

В главе приводится описание видов и внутривидовых таксонов современных диатомовых комплексов из 5 водоемов Приэльбрусья. Пробы из этих озер стали информационной основой для формирования биоиндикационных таблиц по температурной приуроченности, сапробности (S) и pH.

В пробах из озера Донгуз-Орун в поверхностном слое осадков, и в верхнем слое мощностью 1 см, было отмечено, при подсчете 250 створок в препарате, приблизительно равное число низших таксонов (34 и 38 таксонов соответственно). В доминирующую группу в обоих комплексах входят следующие таксоны: *Ceratoneis arcus* (Ehrenberg) Kützing (8,4 и 16%), *Cymbella ventricosa* Kützing (23,2 и 19,6%), *Diatoma hiemale* var. *mesodon* Kützing (19,6 и 16,4%). Максимального таксономического разнообразия достигают представители родов: *Achnanthes* (6 таксонов), *Cymbella* (11 таксонов), *Gomphonema* (5 таксонов) и *Pinnularia* (5 таксонов).

Пробы из Турьих озер представлены достаточно разнообразным составом диатомовых водорослей. В Верхнем Турьем озере идентифицировано 24 низших таксона, в Среднем Турьем озере – 30, в Нижнем Турьем озере – 32 (всего, во всех трех озерах – 55 низших таксонов). Очевидно, что в каждом нижележащем озере биоразнообразие увеличивается. Во всех трех озерах в группу доминирующих таксонов входят: *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing (8,4; 6,4 и 7,6%), *Cymbella ventricosa* Kützing (18,8; 8,4 и 21,2%), *Navicula cryptocephala* Kützing (12,4; 19,2 и 8,4%). В двух озерах (Среднем Турьем и Нижнем Турьем) доминирует только *Gomphonema olivaceum* (Lyngbye) Kützing (12 и 9,6%), а в Верхнем и Нижнем Турьем только *Gomphonema angustatum* (5,2 и 12,4%, вместе с разновидностями). Только в Верхнем Турьем доминируют: *Fragilaria lapponica* Grunow (20,8%) и *Navicula radiosa* Kützing (9,6%). Только в Среднем Турьем доминирует *Cymatopleura solea* (Brebisson) W. Smith (20%). Максимального таксономического разнообразия достигают представители родов: *Achnanthes* (4 таксона), *Cymbella* (7 таксонов), *Gomphonema* (8 таксонов), *Navicula* (8 таксонов), *Nitzschia* (7 таксонов) и *Pinnularia* (6 таксонов).

В озере Комсомольское таксономическое разнообразие (при подсчете 250 створок на препарат) не велико (30 таксонов), что объясняется большим количеством таксонов, входящих в доминирующую группу (7 таксонов). В группу доминирующих таксонов входят: *Cymbella helvetica* Kützing (22,4%), *Fragilaria lapponica* Grunow (12,8%), *Fragilaria brevistriata* Grunow in Van Heurck (5,2%), *Fragilaria construens* f. *binodis* (Ehrenberg) Hustedt (5,6%), *Fragilaria construens* var. *venter* (Ehrenberg) Husted (13,2%), *Fragilaria leptostauron* var. *dubia* Grunow (9,2%), из которых 6 таксонов относятся к одному роду (*Fragilaria*). Этот род достигает максимального таксономического разнообразия в комплексе (8 таксонов). В эту же группу можно так же отнести представителей рода *Cymbella* (4 таксона).

### 3.2 Биогеографические и экологические характеристики диатомовых комплексов

Для современных, поверхностных осадков озер Донгуз-Орун, Комсомольское и Турьих был проведен ряд традиционных исследований, с целью определения экологических характеристик диатомовых комплексов. В первую очередь это касалось процентного соотношения основных экологических групп (бентоса, планктона и обрастателей), а так же подсчета процентных пропорций между различными группами по отношению к солености (галобность), анализу соотношения различных групп диатомовых водорослей по их биогеографической приуроченности.

Во всех исследованных озерах в поверхностных осадках присутствует незначительное количество планктонных форм и преобладают перифитонные формы (обрастатели). В Турьих озерах доминирующее положение обрастателей не так выражено, за счет значительного количества перифитонных форм, которые доминируют наравне с бентосными.

### 3.3 Графический анализ диатомовых комплексов из современных озерных осадков

Графический анализ таксономической структуры современных диатомовых комплексов проводился для озер, расположенных в р-не Приэльбрусья, в линейной и билогарифмической системе координат. Поскольку данные объекты имеют одну категорию размерности (малые озера) и расположены в одной ландшафтно-климатической области, анализ проводился совместно. Судя по единому ряду трансформации, который был построен для этих озер, они не испытывают выраженной антропогенной нагрузки (рис. 3). Гистограммы, построенные для озер Комсомольское, Верхнего, Среднего и Нижнего Турьих и Донгуз-Орун имеют плавные очертания.

Характер распределения таксономических пропорций занимает промежуточное положение между экспоненциальным и логистическим типом распределения. Такой характер распределения определяется «наложением» на каждой гистограмме процентных пропорций двух сообществ диатомовых водорослей: речного и озерного.

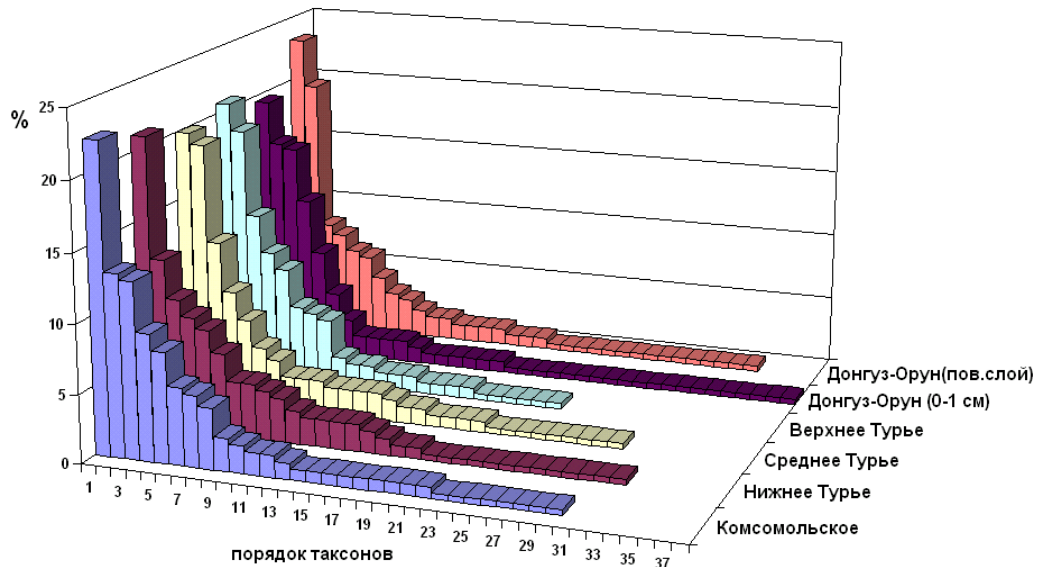


Рис. 3. Таксономические пропорции в диатомовых комплексах из поверхностных осадков озер Приэльбрусья (линейная система координат).

Принадлежность к единой ландшафтно-климатической области позволила сразу же применить анализ в логарифмической системе координат без учета редких таксонов. Полученные результирующие линии расположены на графике фактически параллельно (рис. 4).

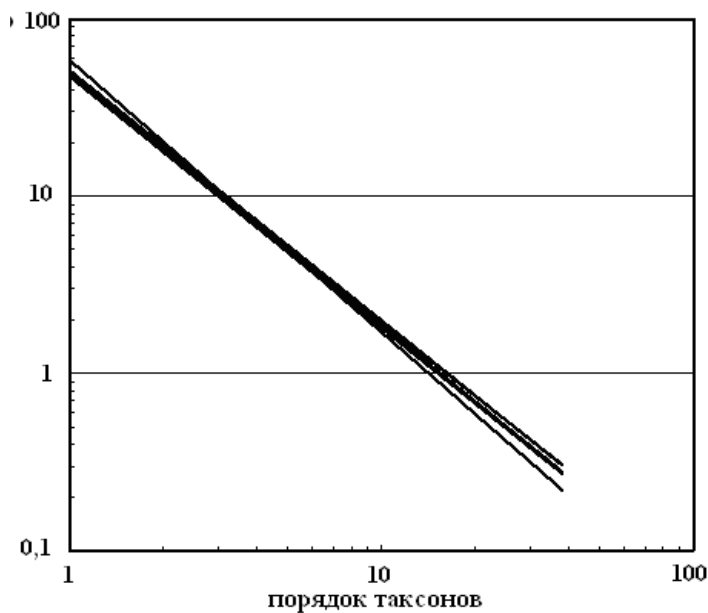


Рис. 4. Трансформация диатомовых комплексов из поверхностных осадков озер Приэльбрусья (билогарифмическая система координат). По оси Y- пропорции таксонов.

Такая генерация результирующих линий указывает на наличие определяющего параметра анализируемых экосистем (Разумовский, Моисеенко, 2009). В данном случае определяющим параметром является проточность всех исследованных озер.

### 3.4 Анализ современного гидрохимического состояния исследованных озер

С целью дальнейшего сопоставления с результатами палеореконструкций гидрологических параметров озер (глава 4.3) был проведен анализ химического состава воды в 6 озерах (Комсомольское, Донгузорун, Верхнее Башкоринское, Нижнее Башкоринское, Верхнее Турье, Среднее Турье) и - 2 ледниках (Донгуз-Орун-Кель и ледник Башкоринский).

Значительные вариации химического состава вод в горной местности определяются в первую очередь разнообразием литологических условий и водного питания исследованных озер.

Исследования проводились по следующим параметрам: основные ионы ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) и pH; цветность, органическое вещество и биогенные элементы ( $\text{P}_{\text{общ.}}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{N}_{\text{общ.}}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Si и др.); микроэлементы (Sr, Al, Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Co, Pb).

Воды большинства исследованных озер – гидрокарбонатно-кальциевые с высокой долей содержания магния. Влияние ледникового питания проявляется не в разбавлении а, наоборот, в увеличении минерализации вследствие значительной аккумуляции ледниками пылевых частиц. Трофический статус озер варьирует от олиготрофного до эвтрофного. Например, озеро Верхнее Башкоринское – гипертрофное, а озеро Нижнее Башкоринское – олиготрофное. Озера Донгузорун и Комсомольское – мезотрофные.

Загрязненность верхних слоев атмосферы сказывается на содержании микроэлементов. В ледниках их концентрация часто больше, чем в озерах.

### 3.5 Анализ современного гидрохимического состояния озер с учетом традиционных методов биоиндикации

Небольшое количество озер Приэльбрусья не позволило провести полноценное сопоставление анализ биоиндикационных показателей и численных значений, полученных в результате химического анализа. Из полученных химических параметров гидросреды, были взяты численные значения pH, и численные значения концентрации  $\text{P}_{\text{общ.}}$  и  $\text{N}_{\text{общ.}}$ . Два последних параметра наиболее объективно характеризуют общую концентрацию биогенов в водной среде.

Для проанализированных диатомовых комплексов был рассчитан индекс  $\beta$ , основанный на использовании категорий диатомовых по отношению к pH (Renberg, 1990). Расчет индекса сапробности S поведился методом Пантле и Букка в модификации Сладечека (Sládeček, 1973).

Удовлетворительные результаты были получены при сравнительном анализе рассчитанных значений индекса сапробности S и численных значений концентрации  $\text{P}_{\text{общ.}}$  и  $\text{N}_{\text{общ.}}$ . Менее удовлетворительные результаты были получены при сравнительном анализе численных значений pH и рассчитанных значений индекса  $\beta$ .

## ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ИЗ КОЛОНОК ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

### 4.1 Таксономический состав диатомовых комплексов из колонок донных отложений

*Озеро Зеркальное.* Было идентифицировано 59 таксонов диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов. В группу таксонов, которые постоянно доминируют в комплексе входят *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, *Pinnularia interrupta* ssp. *interrupta* W. Smith, *Navicula subtilissima* Cleve и *Eunotia tenella* (Grunow) Hustedt.

*Озеро Каракель.* Было идентифицировано 123 таксона. По всему разрезу проанализированной колонки ДО в диатомовом комплексе постоянно доминирует *Punctastriata glubokoensis* Williams et al. Представители некоторых таксонов преимущественно доминируют в верхней части колонки: *Cyclotella ocellata* Pantocsek, *Asterionella formosa* Hassal, *Synedra ulna* var. *danica* Kützing, *Staurosirella* cf. *ovata* Morales. К нижней части колонки преимущественно приурочено доминирование видов: *Staurosira* aff. *construens* Ehrenberg, *Staurosira construens* Ehrenberg, *Pseudostaurosira polonica* (Witak et Lange-Bertalot) Morales et Edlund, *Staurosirella lapponica* (Grunow) Williams et Round.

*Озеро Донгузорун.* Точная идентификация была проведена для 250 таксонов. В группу таксонов, которые постоянно доминируют в комплексе входят: *Cymbella affinis* Kützing, *Cymbella ventricosa* Kützing, *Diploneis elliptica* (Kützing) Cleve.

*Озеро Верхнее Хаймашинское.* Был идентифицирован всего 51 таксон диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов. Точная идентификация была проведена для 43 таксонов. Только два таксона доминируют по всему разрезу колонки ДО: *Synedra ulna* var. *danica* Kützing и *Achnanthisidium minutissima* Kützing.

*Озеро Нижнее Хаймашинское.* Было идентифицировано 80 таксонов диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов. Только два таксона доминируют по всему разрезу колонки ДО: *Synedra ulna* var. *danica* Kützing и *Achnanthisidium* cf. *exile* (Kützing) Round et Bukhtiyarova.

### 4.2 Графический анализ диатомовых комплексов из колонок донных отложений

Все графики, полученные в линейной системе координат, имеют плавные, пропорциональные очертания (рис. 5). В большинстве случаев распределение таксономических пропорций соответствует экспоненциальному типу, что характерно для озерных экосистем малого размера.

Полнота картины дополняется изотопными датировками, полученными для ДО из озера, расположенного в 2 км (оз. Большое). На протяжении всего проанализированного интервала времени (~ 200 лет), в составе диатомового комплекса доминируют только 1-2 таксона (рис. 6).

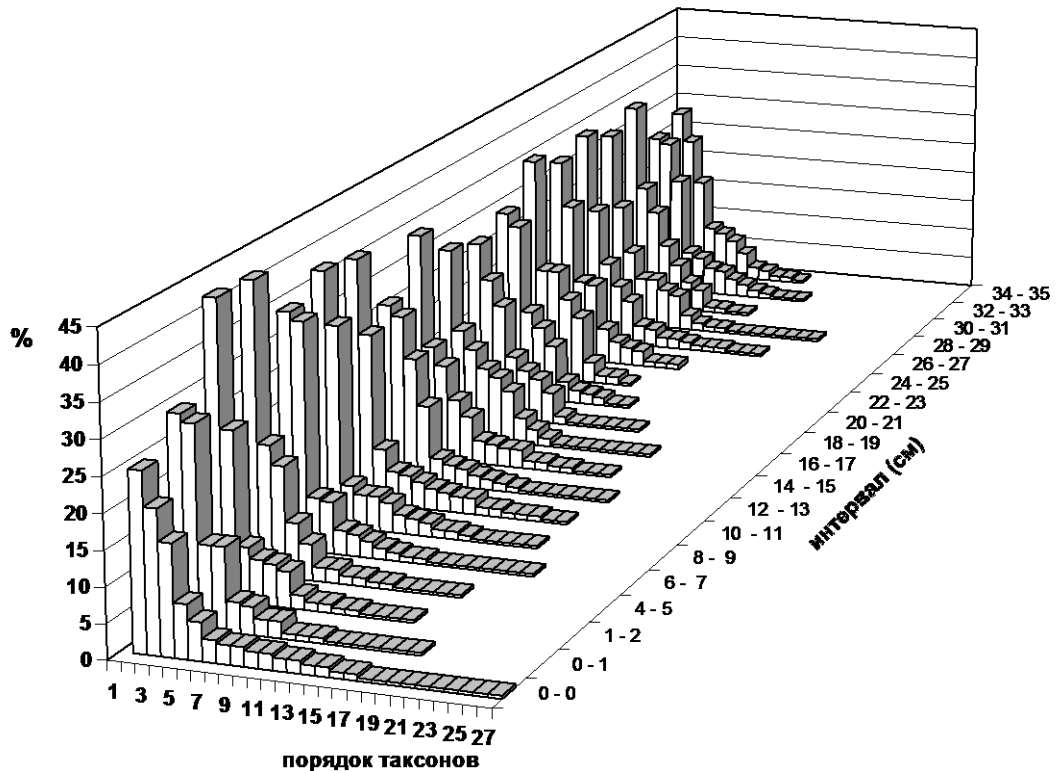


Рис. 5. Таксономическая структура диатомовых комплексов из донных отложений оз. Зеркальное в линейной системе координат.

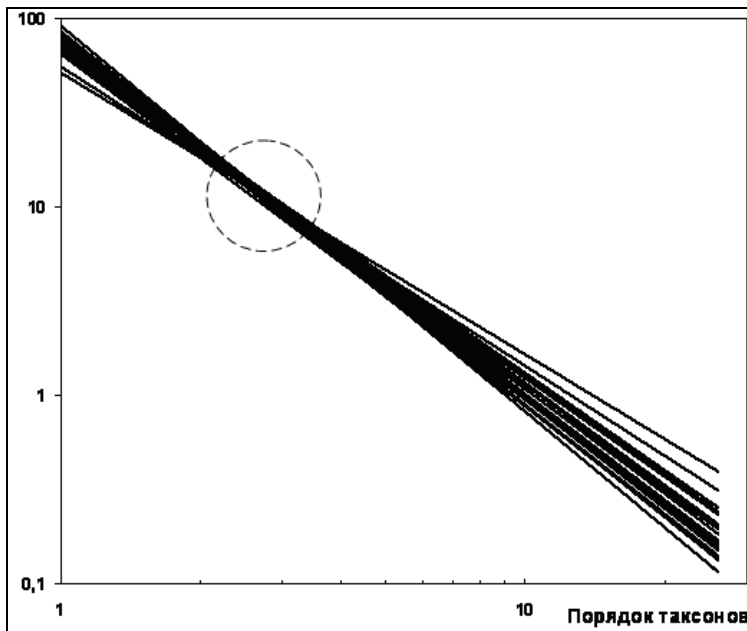


Рис. 6. Таксономическая структура диатомовых комплексов из донных отложений оз. Зеркальное в билогарифмической системе координат

Это подтверждается расположением на графике центра локализации результирующих линий в логарифмической системе координат (рис. 6). Обычно, для обеспечения целостности озерной экосистемы необходимо не менее 2-3 доминирующих таксонов. В оз. Зеркальное доминирующая группа представлена 1-2 таксоном (см. рис. 6). Это позволяет сделать заключение о большой уязвимости этого малого озера. Малейшее вмешательство извне может «запустить» процесс его эвтрофикации и заболачивания.

**Озеро Каракель.** Из озера были отобраны две колонки донных отложений диаметром 100 мм, длиной 110 и 140 см, дополняющие друг друга по глубине отбора. Соответственно, был получен единый профиль донных отложений общей длиной около 180 см. Образцы на диатомовый анализ отбирались с интервалом в 1 см. Пробы были отобраны в интервале 0-48 см (верхняя часть разреза озерных осадков). Были применены: литологические, геохимические, изотопные и другие методы изучения (Дарьин, Калугин, 2012), что в дальнейшем было использовано при сопоставлении с результатами диатомового анализа.

В верхнем интервале (0-13см) не было выявлено заметного искажения таксономических пропорций в диатомовых комплексах. Однако в других интервалах была выделена группа гистограмм переотложенного генезиса, а также гистограммы, в которых прослеживаются элементы переотложения в диатомовых комплексах.

Переотложенные комплексы приурочены к интервалам: 22-23 см; 23-24 см; 28-29 см; 32-33 см; 33-34 см; 37-38 см; 43-44 см. Диатомовые комплексы, в которых есть выраженные элементы переотложения, располагаются в интервалах: 36-37 см; 41-42 см; 42-43 см. Вероятно, заметное искажение прижизненных пропорций, которое зафиксировано в интервалах: 13-14 см и 14-15 см, так же связано с процессами переотложения (рис. 7).

Кроме того, была выделена группа гистограмм, для которых характерны два признака: выраженное доминирование только одного таксона и сокращение общей численности идентифицированных таксонов (16-17 см; 21-22см; 31-32 см; 35-36 см; 38-39 см; 40-41 см) (см. рис. 7). Обычно, такие таксономические пропорции в диатомовых комплексах характерны для водоемов с неблагоприятной экологической обстановкой, связанной с внешним воздействием абиотического характера.

Следует особо подчеркнуть, что полученные результаты и основанные на этом выводы об имеющихся процессах переотложения, были получены до возможности ознакомиться с результатами других видов анализа.

По результатам изотопного анализа возраст осадков на глубине 54 см соответствует возрасту 2235 лет ( $\pm 35$  лет) (Соломина и др, 2013). Следовательно, верхние 48 см осадка, для которых был проведен диатомовый анализ, сформировались, приблизительно, за последние 2000 лет.

Достоверность (объективность) выделения переотложенных комплексов при помощи метода графического анализа таксономических пропорций подтверждается результатами химического и литологического анализов (рис. 8). Еще один весомый аргумент, подтверждающий факт переотложения – очертания гистограмм в последующих интервалах (см. рис. 7, 8). В этом случае речь идет о группе гистограмм, где отмечено сверхдоминирование одного таксона. Эта последовательность прослеживается не всегда, но она выражена в интервалах: 21-22 см; 31-32 см; 35-36 см и 40-41 см, т.е. четырех случаях из шести, когда перед этим зафиксированы процессы переотложения. То, что эта последовательность не всегда регистрируется, может быть связано с усреднением полученных результатов при отборе проб на диатомовый анализ (интервал апробации – 1 см).

**Оз. Донгузорун.** Пробы из оз. Донгузорун отбирались в 2009 г сотрудниками ИВП РАН. Повторный отбор проведен сотрудниками ИГ РАН в 2012 г, в зоне максимальных глубин, по той же методике, которая была применена на оз. Каракель. В результате была получена колонка озерных осадков длиной 40 см. Диатомовый анализ проводился для образцов из верхних участков колонки, через 0.5 см, в интервале 0-25 см.

Графический анализ диатомовых комплексов проводился только в линейной системе координат. Были проанализированы 25 проб, через 1 см (0-0.5 см; 1-1.5см...24-24.5 см).

По структуре диатомовых комплексов элементы переотложения идентифицированы в интервалах: 8.0-8.5 см; 19.0-19.5 см; 23.0-24.5 см. Переотложенный диатомовый комплекс содержится только в интервале 22.0-22.5 см. Большинство диатомовых комплексов (20 из 25) не переотложены. Этапы сверхдоминирования одного таксона отмечены для интервалов: 18.0-18.5; 20.0-21.5 (рис. 9).

По результатам изотопного датирования, длительность реконструкции для оз. Донгузорун составила ~ 125 лет.

Дополнительным подтверждением процессов переотложения, происходивших в озере, является зафиксированное присутствие в средней и нижней части колонки озерных отложений створок морских диатомовых водорослей.

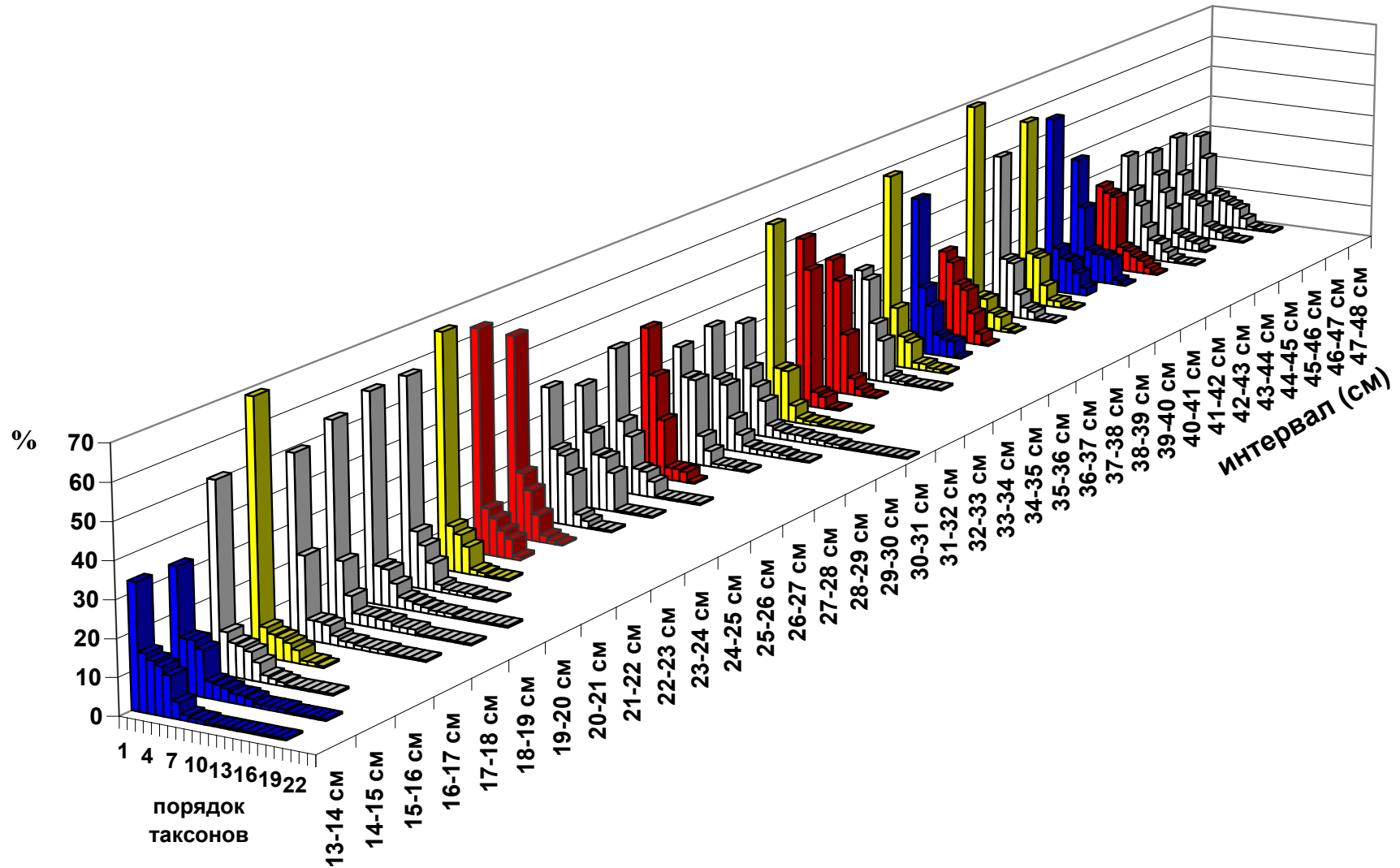


Рис. 7. Таксономическая структура диатомовых комплексов в донных отложениях оз. Каракель в интервале 13-48 см. Условные обозначения: ■ – переотложенные комплексы; ■ – частично переотложенные комплексы; ■ – диатомовые комплексы со сверхдоминированием одного таксона.

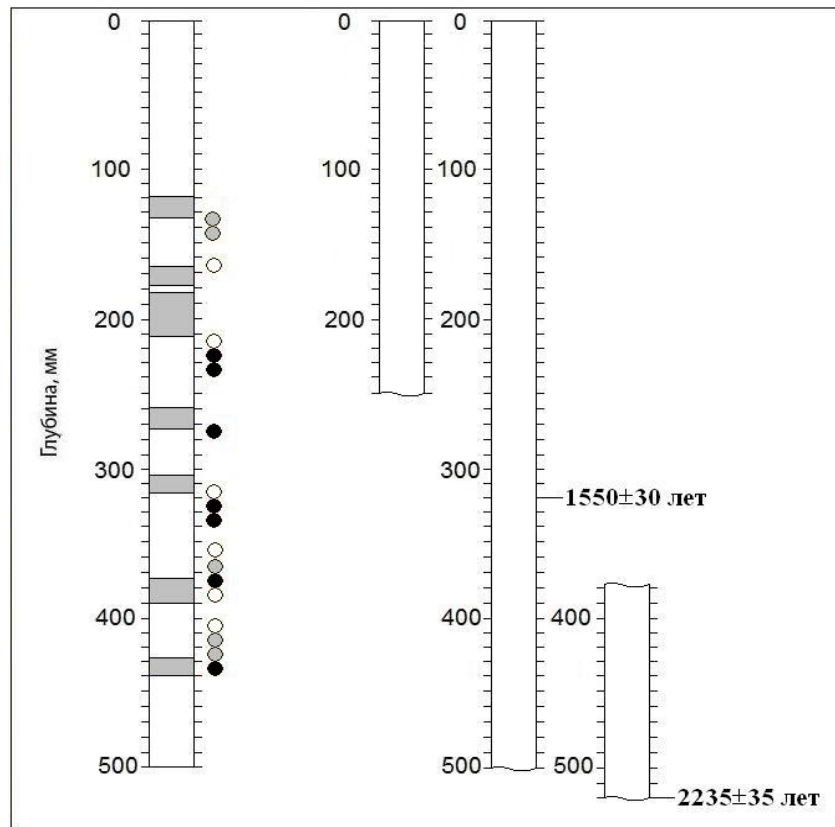


Рис. 8. Сводный разрез отложений оз. Каракель (0-48 см), а так же отобранные колонки, из которых он был составлен. Условные обозначения: серым цветом указаны интервалы разреза, где отмечено повышение терригенной составляющей в осадке; ● – расположение переотложенных диатомовых комплексов; ● – расположение диатомовых комплексов переотложенных частично; ○ – расположение диатомовых комплексов со сверхдоминированием одного таксона.

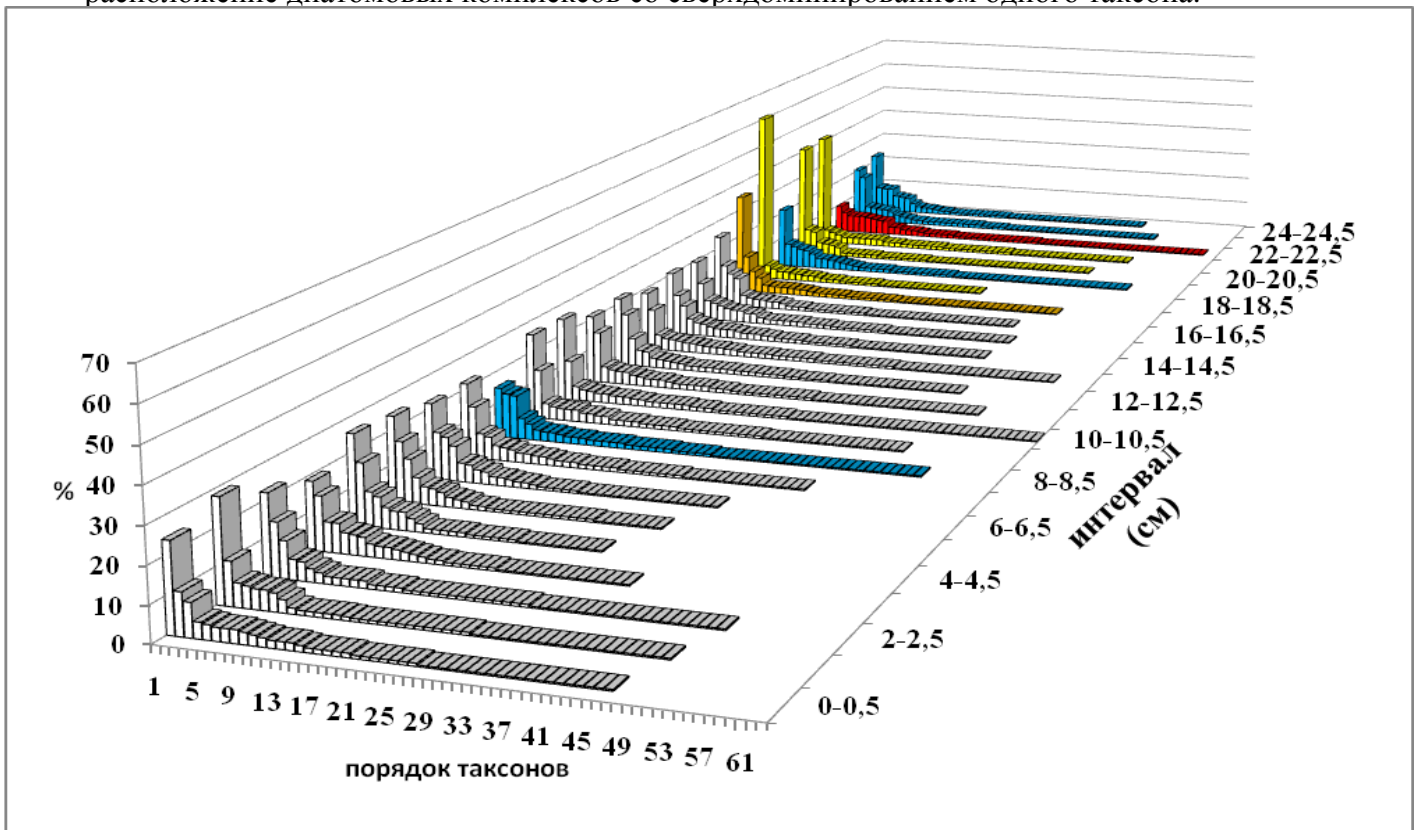


Рис. 9. Таксономическая структура диатомовых комплексов из донных отложений оз. Донгузорун. Условные обозначения см. на рис. 7.

**Оз. Нижнее Хаймашиинское.** Было идентифицировано 104 низших таксона диатомовых водорослей. Следует отметить, что статистически-значимое количество створок диатомовых водорослей отмечено только в интервале 0-13 см. Ниже по разрезу колонок донных отложений створки присутствуют единично, или отсутствуют.

В верхней части разреза (0-6 см) гистограммы имеют выраженные нелинейные очертания экспоненциального типа. Первые три таксона, имеющие максимальную относительную численность, по формальным признакам входят в категорию доминирующих. Иначе говоря, в диатомовых комплексах сформировался доминирующий комплекс таксонов, определяющий целостность экосистемы (рис. 10).

В интервале 6-13 см распределение относительной численности таксонов совершенно иное: нет выраженных групп доминирующих и сопутствующих таксонов. В построенных гистограммах характер распределения относительной численности приобретает линейные очертания, которые преобладают над нелинейными (рис. 10).

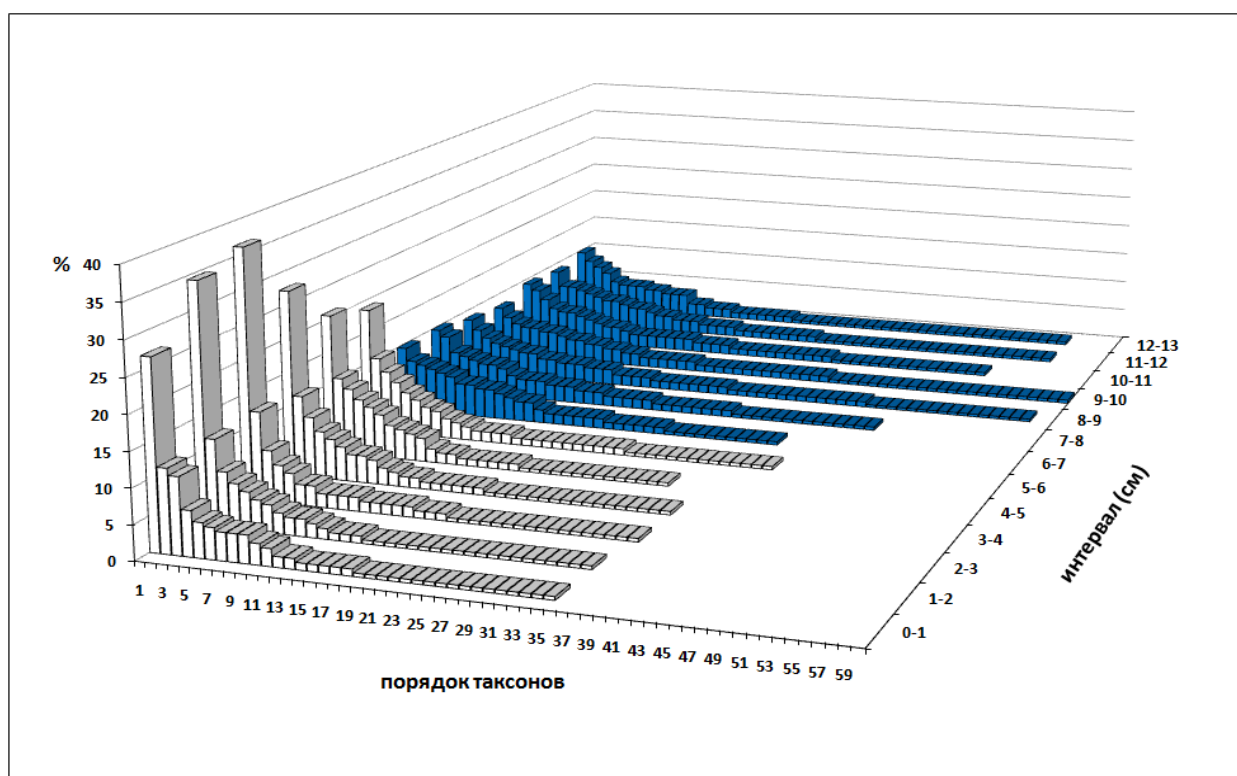


Рис. 10. Таксономическая структура диатомовых комплексов из донных отложений оз. Нижнее Хаймашиинское в линейной системе координат (синим цветом показаны диатомовые комплексы на стадии вселения).

Анализ в билогарифмической системе координат проводился только с учетом доминирующей и сопутствующей группы таксонов. Подобная стратегия анализа позволяет выявить закономерности, которые не заметны при анализе в линейной системе координат. Результат оказался информативным: были получены две генерации результирующих линий (рис. 11). В каждой из генераций линии занимают положение близкое к параллельному. Наличие параллельных результирующих линий в генерации соответствующее интервалу 6-13 см было ожидаемо. Этот временной промежуток осадконакопления в озере соответствует начальному этапу заселения диатомовых водорослей в озеро. Полученные однотипные очертания гистограмм, построенных в линейной системе координат, предполагали подобное расположение результирующих линий в билогарифмической системе координат.

Однако была получена генерация из параллельных результирующих линий более позднего этапа формирования диатомовых комплексов в интервале 0-6см (рис. 11).



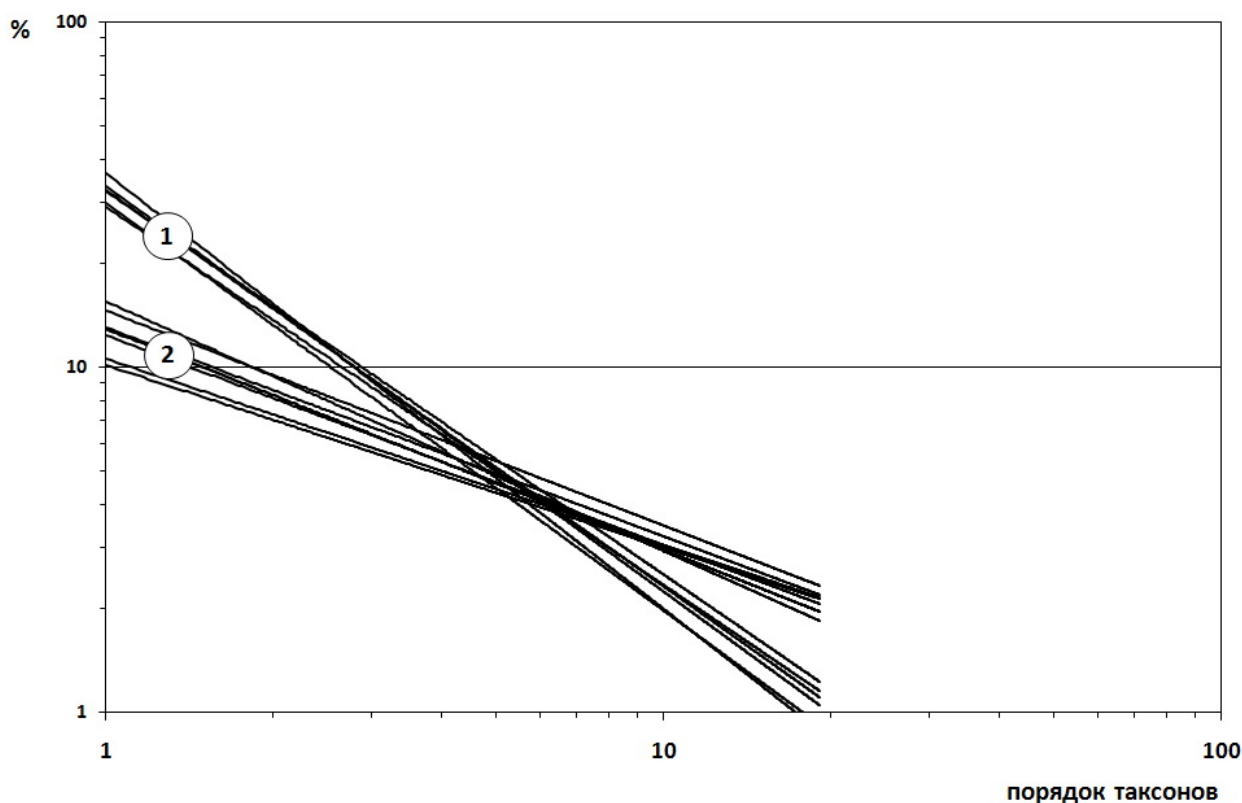


Рис. 11. Таксономическая структура диатомовых комплексов из донных отложений оз. Нижнее Хаймашинское в логарифмической системе координат. Условные обозначения: 1 – вселение ( $0,864 < R^2 < 0,965$ ); 2 – образование сообщества ( $0,812 < R^2 < 0,932$ ).

Это связано с тем, что экосистема озера еще не сложилась окончательно и продолжает формироваться за счет повышения уровня воды и расширения акватории. Подобное уже отмечалось в предыдущих исследованиях при анализе формирования акватории оз. Глубокого (Московская обл.). В данном случае достаточно глубокая впадина карстового генезиса, заполнялась водой в несколько этапов и каждому из них соответствовала генерация результирующих линий расположенная параллельно (Разумовский, Гололобова, 2009).

Проведенные исследования позволяют утверждать, что между этапом первичного вселения диатомовых водорослей и этапом образования их устойчивого комплекса, обитающего в озере, нет переходных состояний. Иначе говоря, переход из одного состояния (первичное вселение) в другое состояние (устойчивый комплекс) имеет фазовый характер.

Об объективности полученных результатов свидетельствуют полученные изотопные датировки. Предположительно, акватория озера начала формироваться в 60-70 годах прошлого столетия, в результате постепенного заполнения осадками образовавшейся карстовой воронки. С конца 70-х годов началось вселение диатомовых водорослей в сформировавшуюся акваторию озера. Как устойчивая экосистема, озеро формируется на протяжении последних 20-25 лет. Общий возраст сформировавшейся карстовой воронки составляет 130-150 лет.

#### 4.3 Изменение параметров озерных вод на основе унификации биоиндикационных методов расчета: температуры, рН и сапробности

С целью выявления изменений параметров озерных вод, были проанализированы таксоны-индикаторы диатомовых водорослей и их относительная численность из трех эталонных озер: Зеркальное, Донгузорун и Каракель. Анализ для оз. Нижнее Хаймашинское не проводился из-за незначительного отрезка существования устойчивого диатомового комплекса и продолжающейся формироваться экосистемы озера.

В оз. Зеркальное выявлена очевидная тенденция повышения сапробизации водоема, хотя он продолжает находиться в олигосапробной зоне. Особенно показательны значительные изменения индексов сапробности за последние десятилетия (интервал 0-7см) (рис. 12). Это свидетельствует о значительных нарушениях экологической устойчивости данного небольшого озера.

В оз. Донгузорун отмечено понижение сапробизации водоема (рис.13). В данный момент рассчитанные численные значения сапробности относятся к нижней части олигосапробной зоны

( $S \sim 0.7$ ). Резкое понижение уровня сапробизации озера связано с отступлением ледника Донгуз-Орун и понижением интенсивности поступления гумусовых веществ с обрамляющих территорий вместе с тальми приледниковыми водами. В оз. Каракёль за последние 2000 лет процессы сапробизации пока не достигли высокой значимости (рис. 12). Среднее значение индекса сапробности ( $S$ ) изменилось с 1.65 на 1.72.

В оз. Верхнее и Нижнее Хаймашинское был проведен только расчет численных значений индекса сапробности ( $S$ ). Это было сделано с целью оценки уровня антропогенной сапробизации водоема, поскольку оно используется для водопоя крупного рогатого скота.

Всего в пробах из оз. Верхнее Хаймашинское было идентифицировано 32 таксона-индикатора сапробности. В группу таксонов индикаторов характеризующих мезосапробные условия, входят 19 таксонов (более половины). Это является крайне неблагоприятным показателем для замкнутого бессточного водоема малого размера. Расчет численных значений индекса сапробности ( $S$ ) в верхней части ДО, продемонстрировал значительный уровень загрязнения озера органическими отходами ( $S = 1.76-2.045$ ), а также некоторое увеличение численных значений  $S$  в более глубоких слоях осадка.

В оз. Нижнее Хаймашинское было идентифицировано 43 таксона-индикатора сапробности. Расчет численных значений индекса сапробности ( $S$ ) в интервале 0-13 см показал меньшие численные значения (1,62-1,86) по сравнению с оз. Верхнее Хаймашинское. Это связано с отсутствием организованного выпаса из-за крутых берегов оз. Нижнее Хаймашинское.

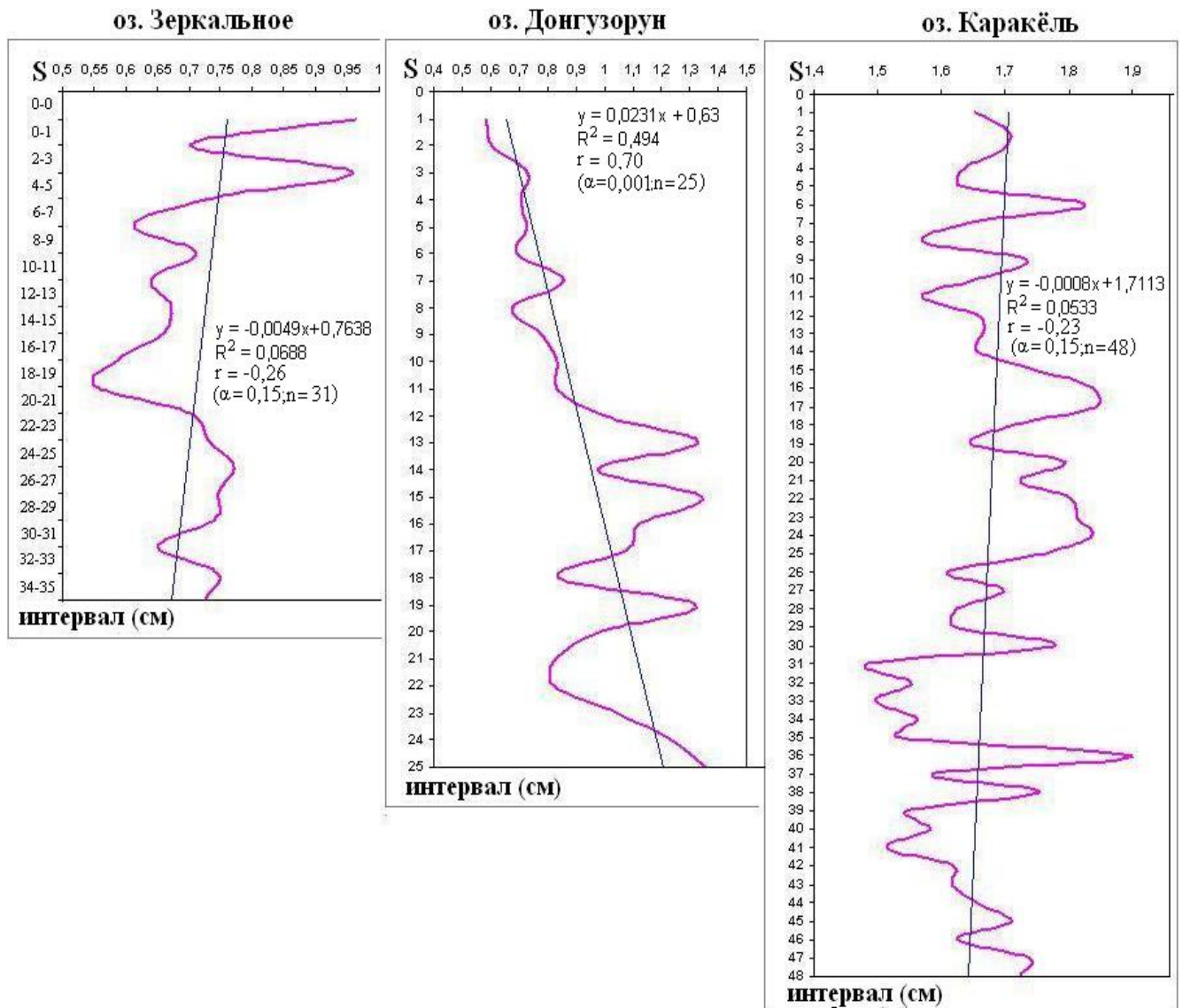


Рис. 12. Многолетние изменения индекса сапробности ( $S$ ) и его линейных трендов в озерах: а) Зеркальное (~200 лет); б) Донгузорун (~125 лет); в) Каракель (~2000 лет).

Для всех изученных озер (Зеркальное, Донгузорун, Каракель) установлена единая, значимая тенденция изменения рН в сторону защелачивания (рис.13). Выявленная тенденция, вероятно, связана с воздействием обрамляющих горных пород. Это соответствует современным гидрохимическим особенностям, которые установлены для рек и озер Кавказа: усиление сульфатного компонента от высокогорий к предгорьям (Баттерби и др., 1991). Наиболее выражены процессы защелачивания в оз. Каракель. В озере наблюдается явное смещение во времени рН: от кислых вод (рН 5,0 - 5,5) в эпоху активного селевого воздействия, к водам нейтральным или слабощелочным (рН 7,0-7,5) во время окончательного прекращения селевых сходов. Последний этап связан с началом более спокойного поступления поверхностных вод в виде плоскостного смыва с обрамляющих территорий (рис. 13).

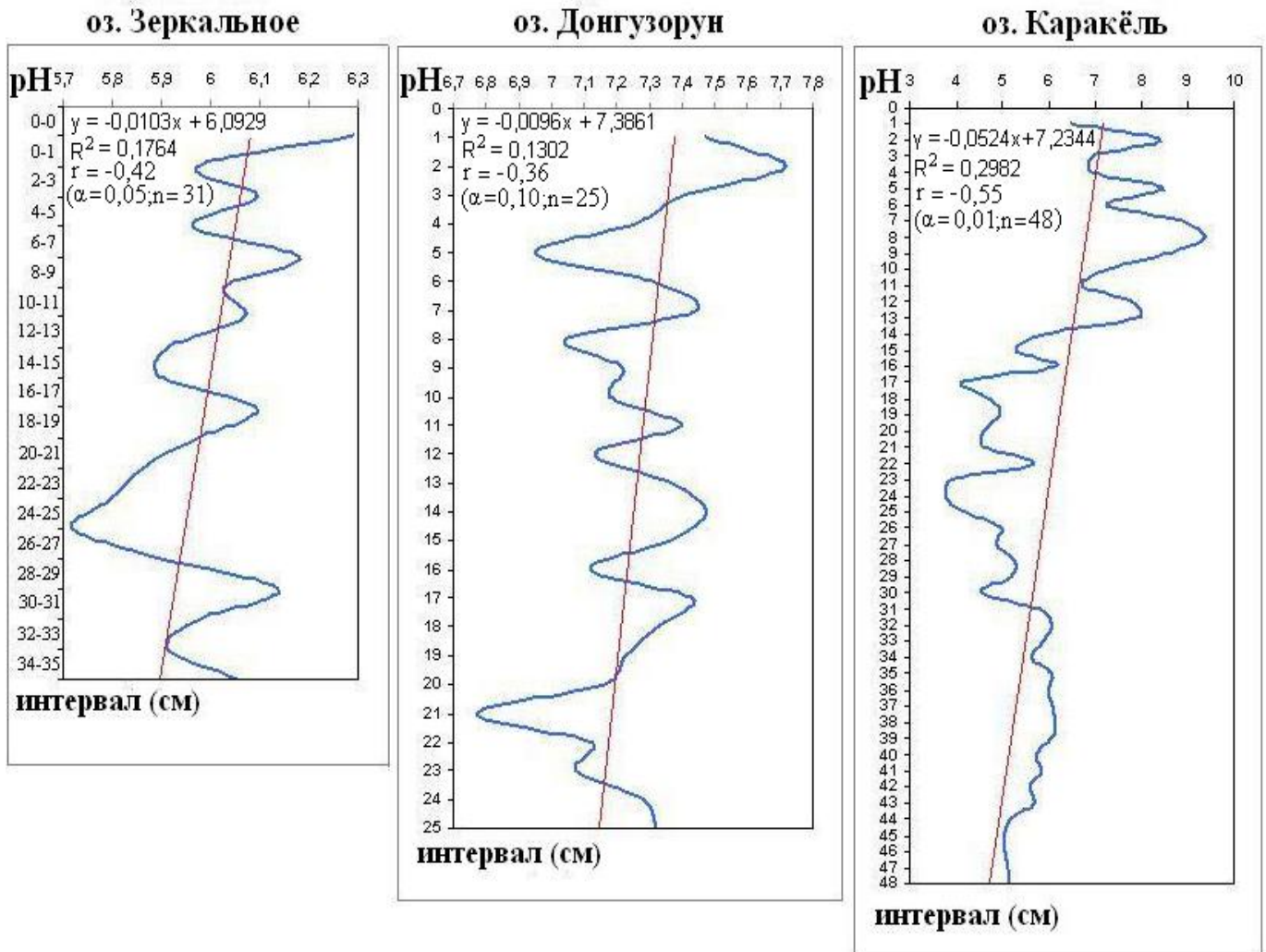


Рис. 13. Многолетние изменения численных значений рН и их линейных трендов в озерах: а) Зеркальное (~200 лет); б) Донгузорун (~125 лет); в) Каракель (~2000 лет).

В целом, для эталонных горных озер выявлены достоверные тренды изменения температуры за многолетний период. Они отражают как глобальные климатические изменения (оз.Каракель), связанные с понижением температуры за 2000 лет, так и с флуктуационными изменениями температуры (оз. Донгузорун) в пределах 125 лет. В то же время для озера расположенного в среднегорье (оз. Зеркальное) достоверного тренда изменения температуры не выявлено.

В оз. Донгузорун расчет температурных значений указывает на некоторое повышение температуры (~на 1°C) за 120-125 лет (рис.14).

В оз. Каракель расчет температурных значений указывает на заметное понижение температуры на ~ 4 °С (с 27,5 до 23,5 °С) за 2000 лет (рис. 14).

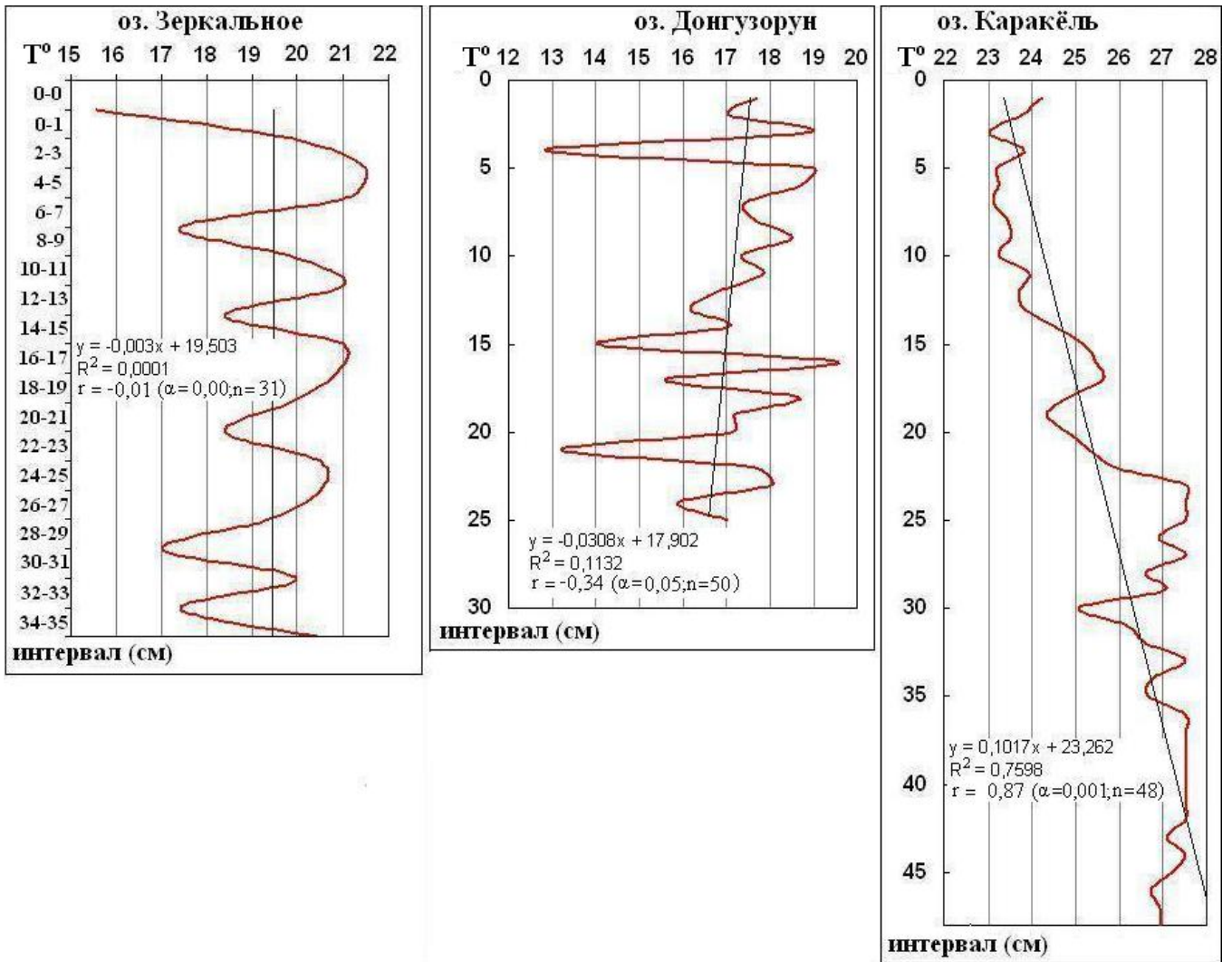


Рис. 14. Многолетние изменения численных значений  $T^{\circ}$  и их линейных трендов в озерах: а) Зеркальное (~200 лет); б) Донгузорун (~125 лет); в) Каракёль (~2000 лет).

## ГЛАВА 5. МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМАТИКА ПРИ АНАЛИЗЕ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В МАЛЫХ ГОРНЫХ ОЗЕРАХ

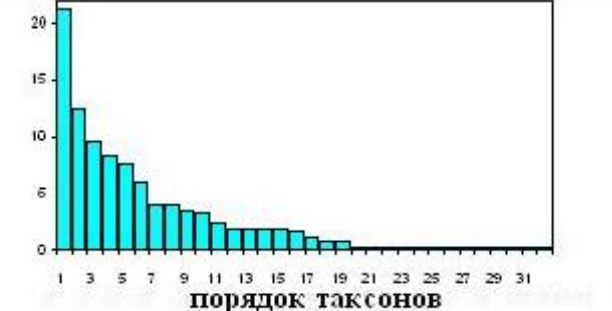

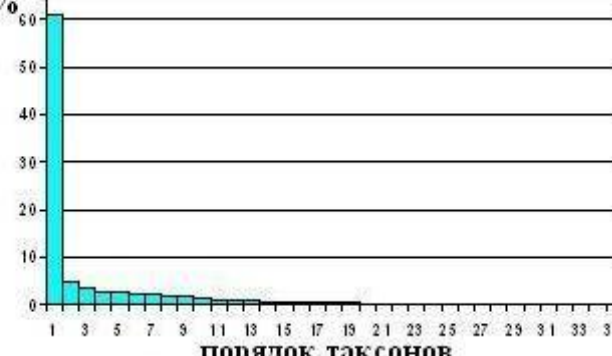

### 5.1. Границы применения метода графического анализа таксономических пропорций.

Анализ таксономических пропорций в проанализированных диатомовых комплексах позволил сформировать классификационную таблицу трансформаций при внешнем неблагоприятном воздействии. Этапы этих трансформаций соответствуют этапам экологических модификаций по В.А. Абакумову (Абакумов, 1991) (табл. 2).

При обобщении полученных закономерностей были привлечены опубликованные данные по двум озерам, расположенным на территории Западного Кавказа: оз. Большое и оз. Кардывач (Моисеенко, Гашкина, 2010).

При анализе таксономического состава диатомового комплекса, всегда выделяется несколько доминирующих таксонов. Обоснование обязательного наличия доминирующей группы таксонов диатомовых водорослей, как структурообразующего фактора для озерных экосистем, позволило существенно дополнить и в значительной степени пересмотреть концепцию трансформации пресноводных экосистем. На основании метода графического анализа было установлено, что внешняя стабильность таксономической структуры не является абсолютным показателем отсутствия изменений под воздействием природных или антропогенных факторов.

Таблица 2. Сравнительная таблица этапов трансформации в малых озерах Кавказа (по Абакумову, 1991)

экологические модификации (по В.А.Абакумову, 1991)	таксономические пропорции в диатомовых комплексах	инвариантность смены таксономического состава
<p><b>экологическое благополучие</b></p> <p>стабильное состояние биоценозов (экологический стазис)</p>		<p><b>многовариантная</b></p>
<p><b>экологическое напряжение</b></p> <p>обратимость количественного и качественного состава биоценозов на фоне слабых флуктуационных изменений трофо-метаболических процессов</p>		<p><b>сокращение многовариантности</b></p>
<p><b>экологический регресс</b></p> <p>необратимые изменения количественного состава на фоне изменяющихся трофо-метаболических процессов</p>		<p><b>инвариантность ограничена 1-2 таксонами</b></p>
<p><b>метаболический регресс</b></p> <p>полная смена таксономического состава на фоне качественного изменения трофо-метаболических процессов</p>		<p><b>инвариантность отсутствует</b></p>

Примером могут служить многолетние таксономические изменения в составе диатомовых комплексов оз. Кардывач при отсутствии изменений таксономических пропорций. Метод графического анализа не выявил заметных трансформаций в их таксономической структуре.

Анализ в линейной и логарифмической системах координат указывал на высокий уровень устойчивости и стабильности в экосистеме данного озера. Однако, анализ трендов изменений относительной численности в группе доминирующих и сопутствующих таксонов выявил направленные многолетние процессы, которые были идентифицированы как экзогенная сукцессия антропогенного генезиса (рис.15) (Разумовский, 2013а). На основе этого методологического подхода была выявлена аналогичная «скрытая» перестройка таксономической структуры диатомовых комплексов в оз. Зеркальное (рис. 16). При отсутствии изменения таксономических

пропорций, за последние десятилетия произошли существенные таксономические изменения, которые могут привести к необратимым экологическим последствиям для водоема.

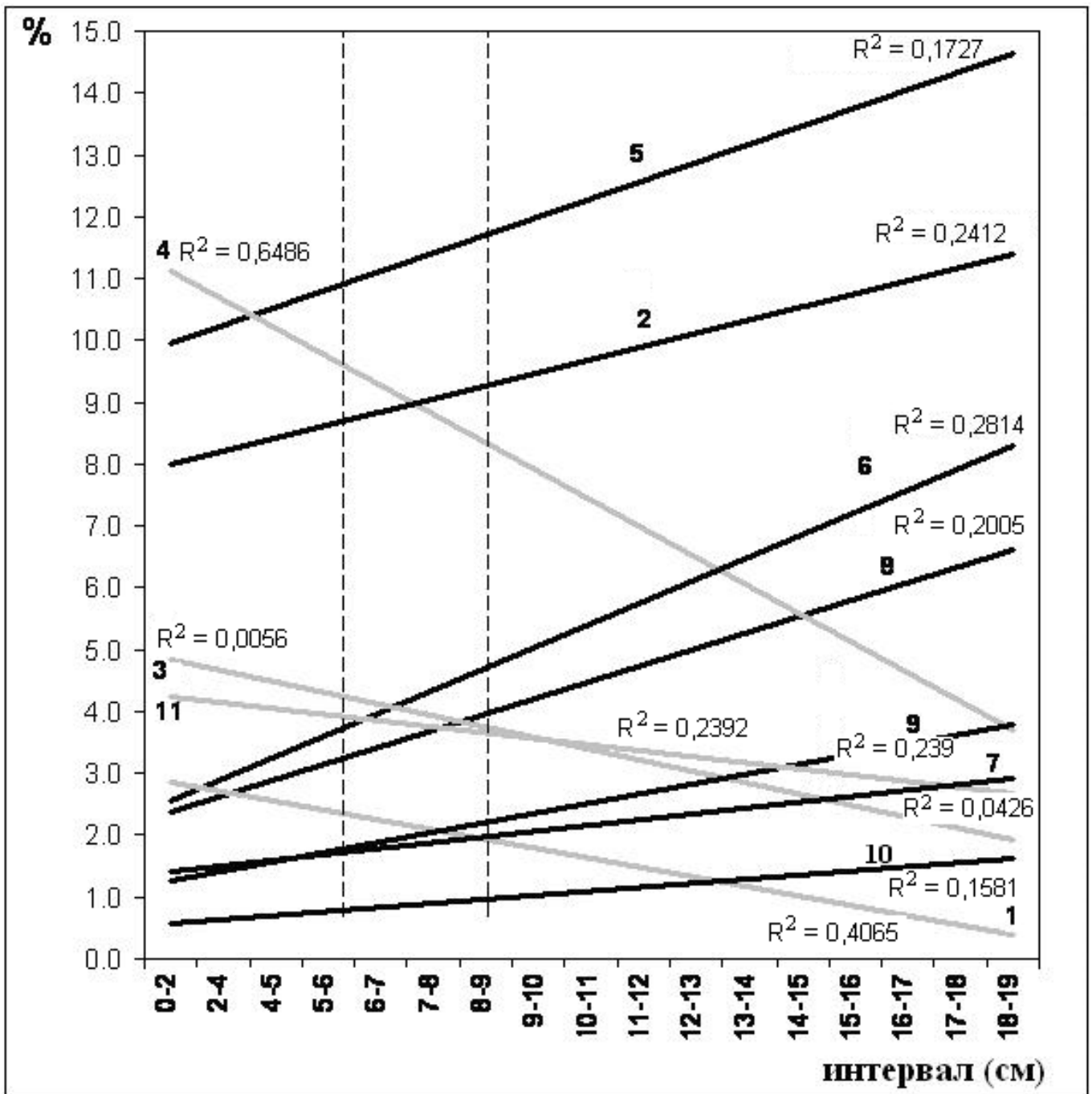


Рис. 15. Смена доминирующего комплекса видов в колонке донных отложений оз. Кардывач. Условные обозначения: черными цветом показаны результирующие линии (тренды) относительной численности видов, которые утратили доминирующее положение: 5- *Diploneis elliptica*, 2 – *Amphora ovalis*, 6 - *Fragilaria brevistriata*, 8 - *Fragilaria construens*; серым цветом – результирующие линии относительной численности видов, которые заняли доминирующее положение в комплексе: 4 – *Cymbella ventricosa*, 3 – *Ceratoneis arcus*, 11 - *Navicula lanceolata*. В первую группу сопутствующих видов (черные линии трендов) входят: 9 - *Navicula cocconeiformis*, 7 - *Fragilaria capucina*, 10 - *Navicula ingrata*; во вторую группу сопутствующих видов (серая линия тренда) входит: 1 – *Achnanthes affinis*. Пунктирными линиями обозначен временной промежуток (60-70-е гг. прошлого столетия), когда произошла кардинальная перестройка диатомового комплекса.

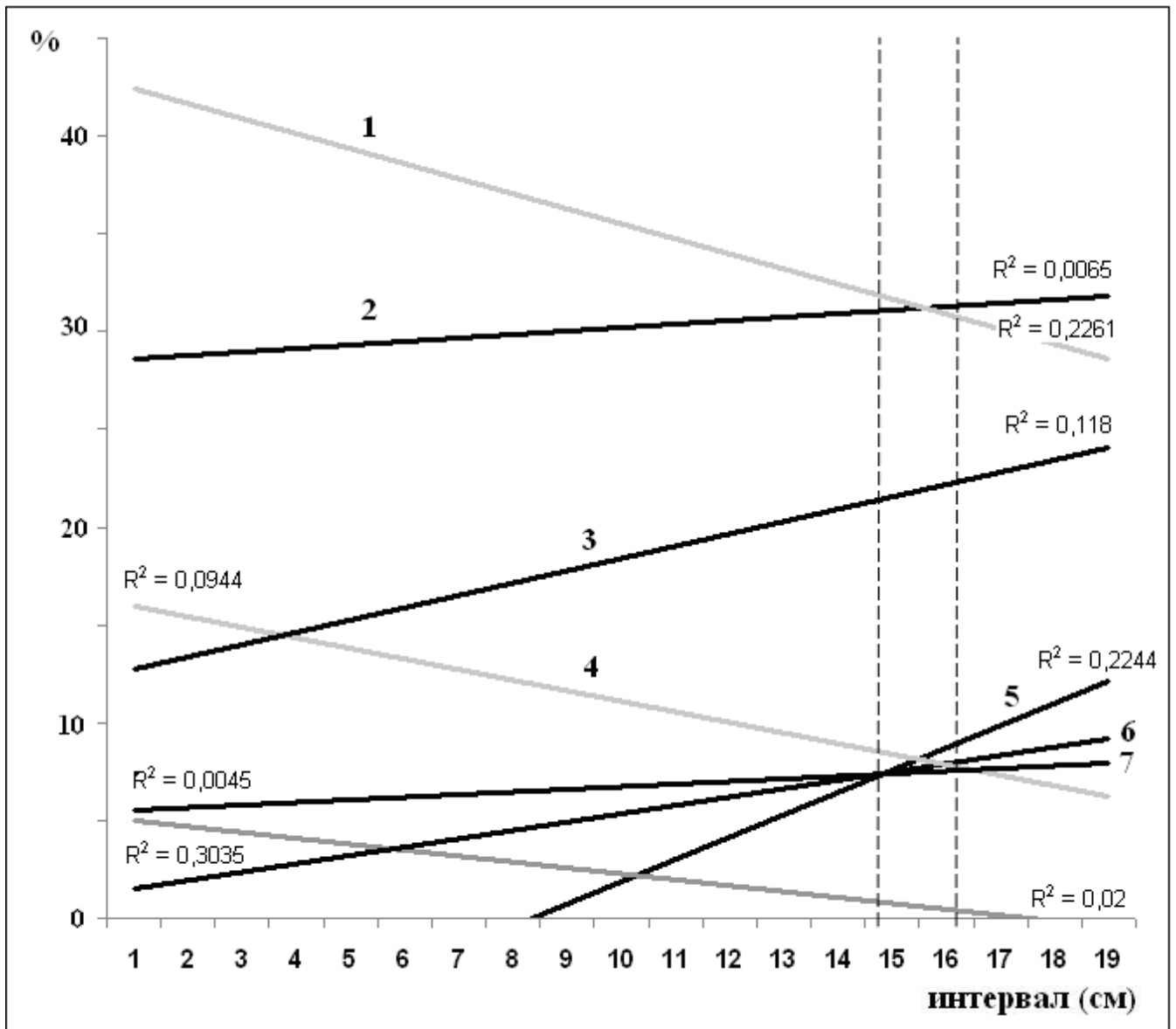


Рис. 16. Смена доминирующего комплекса видов в колонке донных отложений оз. Зеркальное.

Условные обозначения: черными цветом показаны результирующие линии (тренды) относительной численности видов, которые утратили доминирующее положение: 2 - *Pinnularia interrupta* ssp. *interrupta*, 3 - *Navicula subtilissima*; серым цветом – результирующие линии относительной численности видов, которые заняли доминирующее положение в комплексе: 1 - *Tabellaria flocculosa*, 4 - *Eunotia lunaris*. В первую группу сопутствующих видов (черные линии трендов) входят: 5 - *Cocconeis* sp., 6 - *Achnanthes* sp., 7 - *Pinnularia gibba* var. *gibba*; во вторую группу сопутствующих видов (серая линия тренда) входит: 8 - *Eunotia alpina*. Пунктирными линиями обозначен временной промежуток (60-70-е гг. прошлого столетия), когда произошла кардинальная перестройка диатомового комплекса.

## 5.2. Выбор оптимального интервала (частоты) апробации колонок ДО.

Разрешающие особенности отбора донных отложений и температурных реконструкций были выявлены, когда по вышеописанной методике, были построены графики изменения температурного режима в озерах Каракель и Донгузорун. Было установлено, что процессы переотложения всегда совпадают с интервалами относительного повышения температуры, причем это повышение имеет более масштабный по длительности характер, чем перепады температурных значений в соседних интервалах (Разумовский и др., 2014а).

По результатам проведенных исследований констатируется, что наибольшая изменчивость (повышение и понижение) рассчитанных температурных значений для озерных вод отмечена в тех временных интервалах, где отсутствуют процессы переотложения.

Изменение интервала апробации (т.е. на образцы какой толщины разрезается колонка ДО: 1 см, 0.5 см, 0.25 см и т.д.) может существенно повлиять на конечный результат расчетов по диатомовым комплексам, содержащимся в каждом образце. Это связано с тем, при уменьшении интервала апробации соотношение теплых и холодных годовых сезонов будет существенно меняться. При более детальном отборе в интервале апробации может содержаться осадок сформировавшийся 2 холодных цикла и 1 теплый, а в следующем интервале за 2 теплых и 1 холодный. Соответственно, при менее детальном отборе (интервале апробации) это соотношение будет более сбалансированным (4 к 5 или 9 к 10). Поэтому выбирая интервал апробации необходимо учитывать темпы осадконакопления в исследуемом озере.

### **ВЫВОДЫ**

1. Выделенные пять эталонных озер, вне зависимости от их происхождения (карстового, тектонического или моренного), имеют общую совокупность признаков, которая позволяет формироваться ДО с диатомовыми комплексами хорошей сохранности.

2. Проведенное изучение диатомовых комплексов из осадков обследованных озер, позволило выделить значимое количество таксонов индикаторов (> 100) и сформировать региональные биоиндикационные таблицы для дальнейших геоэкологических и палеоэкологических реконструкций.

3. Систематизация всех типов распределения таксономических пропорций в диатомовых комплексах, позволила установить границы применения метода графического анализа, а также выделить два новых типа трансформации: возврат к исходным таксономическим пропорциям после восстановления экосистемы озер и образование новой озерной экосистемы с сопутствующим формированием устойчивых диатомовых ассоциаций.

4. При восстановлении экосистемы озер были достоверно идентифицирован этап формирования переотложенных диатомовых комплексов. Информативность и достоверность метода распознавания переотложенных диатомовых комплексов и восстановления озерных экосистем (оз. Донгузорун и оз. Каракель) после селевых сходов подтверждается геохимическими, литологическими и изотопными методами.

5. По новому, ранее не идентифицированному, типу трансформации диатомовых комплексов можно определить образование новой озёрной экосистемы (оз. Нижнее Хаймашинское). В этом случае, трансформация диатомовых комплексов образует единый процесс: от заселения, до образования устойчивого сообщества гидробионтов. Возраст образования нового озера подтвержден изотопным методом.

6. Унифицированная методика расчёта рН, температуры и сапробности, позволяют достоверно установить процессы долговременных изменений этих параметров озерных вод: процессы последовательного подщелачивания озёрных вод, подтвержденные современными гидрохимическими исследованиями; изменения температуры водоёмов за длительный период (125-2000 лет); значимое изменение показателя сапробности в оз. Донгузорун при деградации ледникового покрова (ледник Донгуз-Орун-Кель).



## СПИСОК ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ

Публикации по теме диссертации в изданиях, включенных в список, рекомендованный ВАК:

1. Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В., Гашкина Н.А., Шевченко А. В., Разумовский В.Л., Машуков А.С., Хорошавин В.Ю. Палеоэкологические исследования горных озер // Водные ресурсы. 2012. Т.39, № 5. С. 543-557.

2. Разумовский Л.В., Разумовский В.Л. Регистрация новейших экосистемных событий в озере Каракель по переотложенным диатомовым комплексам // Вестник Тюменского Государственного Университета. 2013. № 12. Экология. С. 121-127.

3. Разумовский В.Л. Оценка экологического состояния высокогорных озер Приэльбрусья по результатам диатомового анализа // Водные ресурсы. 2014 а. Т. 41, № 2. С. 200-205.

4. Разумовский В.Л. Формирование экосистемы карстового озера в степном поясе гор Кавказа (диатомовый анализ) // Аридные экосистемы. 2014 б. № 2 (59). С.69 -73.

5. Разумовский Л.В., Калугин И.А., Дарьин А.В., Шелехова Т.С., Разумовский В.Л. Реконструкция температурного режима двух горных озер Кавказа по результатам диатомового анализа // Вестник Тюменского Государственного Университета. 2014 а. № 4. Науки о Земле. С. 67-75.

6. Разумовский Л.В., Шелехова Т.С., Разумовский В.Л. Новейшая история озер Большое и Зеркальное по результатам диатомового анализа // Водные ресурсы. 2014 б. Т. 41. № 5. С. 1-5. (в печати).

Публикации в прочих изданиях:

1. Разумовский Л.В., Разумовский В.Л. Оценка экологического состояния высокогорных озер Приэльбрусья по результатам диатомового анализа / Тезисы докладов IV Международной конференции «Актуальные проблемы современной альгологии» (Киев, Украина, 23-25 мая 2012 г.). Киев: ООО «Видавництво“Аспект-Поліграф”», 2012. С. 247-248.

2. Разумовский В.Л. Анализ таксономической структуры диатомовых комплексов в двух искусственных водоемах города Дубна (Московская обл., Россия) / Тезисы докладов IV Международной конференции «Актуальные проблемы современной альгологии» (Киев, Украина, 23-25 мая 2012 г.). Киев: ООО «Видавництво“Аспект-Поліграф”», 2012 а. С. 245-246.

3. Разумовский В.Л. Оценка экологического состояния высокогорных озер Приэльбрусья по результатам диатомового анализа / Тезисы докладов IV Молодежной школы-семинара и конференции «Природно-антропогенные геосистемы: мировой и региональный опыт» (Курская биосферная станция ИГ РАН, 13-16 сентября 2012 г). М.: «11-й ФОРМАТ», 2012 б. С. 67-68.

4. Разумовский В.Л. Оценка негативной нагрузки в двух искусственных водоемах г. Дубна (диатомовый анализ) / Сб. трудов VI Международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (28-30 ноября 2012 г. Москва, Россия) М.: ИВП РАН, 2012 в. С. 147-150

5. Разумовский В.Л. Анализ экологического состояния высокогорных озер Приэльбрусья по структуре современных диатомовых комплексов / Сб. трудов VI Международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (28-30 ноября 2012 г. Москва, Россия) М.: ИВП РАН, 2012 г. С. 150-152.

6. Разумовский В.Л. Новые данные по таксономической структуре современных диатомовых комплексов Западного и Центрального Кавказа / Материалы XIII Международной конференции альгологов «Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований» (24-29 августа 2013 г, Борок, Россия). Кострома, 2013 а. С. 76-77

7. Разумовский В.Л. Геоэкологические исследования высокогорных озер Западного и Центрального Кавказа по результатам диатомового анализа / Сб. трудов VII Международной научной конференции «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (11-13 декабря 2013, Москва, Россия) М.: ФГБУН ИВПРАН, 2013 б. С. 187-189.

8. Разумовский В.Л. Долговременные изменения таксономической структуры диатомовых комплексов в двух горных озерах Кавказа / Материалы докладов III Международной научной конференции «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» (24-29 августа 2014 г, Борок, Россия). Ярославль: Филигрань, 2014 в. С. 229-230.