

УДК 574.5; 561.26; 551.583.7

РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДИАТОМОВЫМ КОМПЛЕКСАМ ИЗ ОЗЁРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Член-корреспондент РАН Т. И. Моисеенко¹, Л. В. Разумовский^{2,*}

Поступило 27.11.2018 г.

Проведена оценка информативности озёрных отложений в Западной Сибири для реконструкции новейших геоэкологических и климатических изменений. Установлена возможность достоверной регистрации негативных изменений физико-химических параметров озёрных вод на основе классических и инновационных методов диатомового анализа.

Ключевые слова: озёрные отложения, диатомовые комплексы, геоэкологические реконструкции.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524872192-197>

Проблема прогнозирования возможных негативных изменений в результате комплексного загрязнения озёрных вод является приоритетным направлением в области природопользования и охраны окружающей среды. Как в планетарном, так и в региональном масштабе гидрологическая среда является системой, которая мобильно реагирует на подобное воздействие. К наиболее чувствительным системам относятся озёрные экосистемы, особенно расположенные в зоне арктической тундры.

В свою очередь, в любой подобной системе можно вычленить отдельные звенья, которые наиболее показательно регистрируют смену природных и антропогенных событий. В эту категорию входят диатомовые сообщества, поскольку они являются структурообразующей группой для большинства озёрных систем и руководящими микрофоссилиями при палеорекострукциях [1–4].

В качестве объекта для оценки перспективности реконструкции новейших климатических изменений в Западной Сибири были выбраны два озера, расположенные в зоне тундры. Отобраны 2 колонки донных отложений (ДО) из центральных частей озёр Гольцовое (71°24'84" с.ш., 78°50'58" в.д.) и Лангтибейто (71°03'50" с.ш., 70°19'18" в.д.).

Озеро Лангтибейто находится в северной части полуострова Ямал. Озеро имеет округлую форму; площадь водной поверхности 10 км²; максимальная глубина 4 м. Озеро Гольцовое расположено в север-

ной части Гыданского полуострова; площадь водной поверхности 4,3 км². Озеро образовано двумя котловинами, из которых одна в северной части более глубокая (3 м).

Отбор образцов, обработка проб, изготовление постоянных препаратов, подсчёт и идентификация створок диатомей проводились по стандартным методикам [5, 6].

ОСОБЕННОСТИ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ В ИЗУЧЕННЫХ ОЗЁРАХ

Выявленная диатомовая флора ДО оз. Лангтибейто включает 124 вида, относящихся к 34 родам отдела *Bacillariophyta*. Створки имеют хорошую сохранность. Планктонные диатомеи составляют до 15%. Наибольшее видовое разнообразие принадлежит бентосным диатомеям: до 82% от общего количества таксонов. В образцах идентифицировано 3 вида древних морских переотложенных диатомей, створок которых особенно много в самом верхнем слое осадков.

На диатомовой диаграмме показано распределение по разрезу некоторых доминирующих и показательных видов диатомей, а также приведены четыре экозоны, выделенные по характеру диатомовых комплексов из оз. Лангтибейто (рис. 1).

Видовой состав и категории экологических групп в диатомовых комплексах типичны для пресных водоёмов с холодной и чистой водой, со слабощелочной или нейтральной реакцией среды. Следует отметить, что диатомовые комплексы из оз. Лангтибейто отличаются от озёрных комплексов Европейского Севера России отсутствием ярко выражен-

¹ Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского

Российской Академии наук, Москва

² Институт водных проблем

Российской Академии наук, Москва

*E-mail: lazy-lion@mail.ru

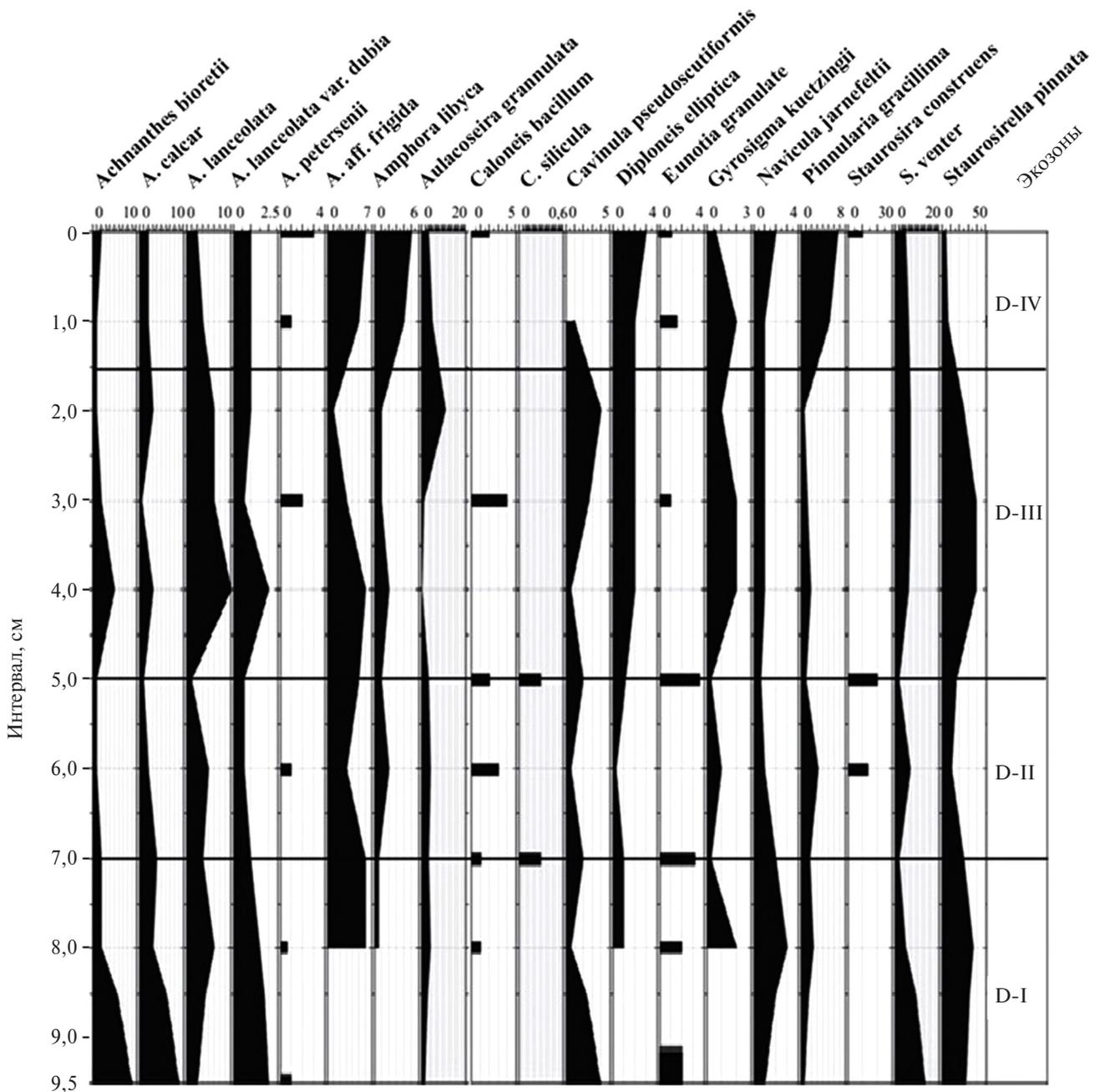


Рис. 1. Диатомовая диаграмма донных отложений оз. Лангтибейто.

ных доминант в составе ассоциаций и большим видовым разнообразием (124 вида).

Для диатомовых комплексов, выявленных в самой верхней зоне (D-IV), характерно заметное уменьшение доминирования первого по относительной численности таксона, а в самом верхнем интервале (0,0–0,5 см) наблюдается полное исчезновение выраженного доминирования всех идентифицированных таксонов. Подобная направленность трансформации таксономической структуры диатомовых комплексов обычно свидетельствует

о процессах общего угнетения озёрной экосистемы под воздействием внешних факторов.

В донных осадках оз. Гольцовое выявлена чрезвычайно бедная количественно, но достаточно разнообразная по составу диатомовая флора. В образцах определено 107 видов и разновидностей диатомей, а также 5 таксонов силикофлагеллят. К пресноводным и пресноводно-солонатоводным диатомеям относятся 79 таксонов, из них 8 принадлежит планктонным видам, 44 относятся к донным диатомеям, а 27 являются видами-обрастателями.

К солоноватоводным диатомеям, переносящим лёгкое осолонение, относятся 5 видов. Наибольшего видового разнообразия достигают донные диатомеи. Обрастатели представлены 27 видами и разновидностями. Все створки пресноводных диатомей имеют хорошую сохранность и относятся к современной флоре.

Наряду с современными диатомеями, все изученные образцы содержат переотложенные морские диатомеи и силикофлагелляты палеогенового возраста. Всего установлено 22 таксона диатомей и 5 силикофлагеллят. Большинство переотложенных диатомей имеют плохую сохранность.

Характерным для исследуемой колонки является присутствие в ряде образцов золотистых водорослей (*Chrysophyta*), которые являются представителями голарктических планктонных форм, характерных для стоячих пресных вод.

На диатомовой диаграмме показано распределение по разрезу некоторых доминирующих и показательных видов диатомей из оз. Гольцовое, а также приведены четыре экозоны, выделенные по диатомеям (рис. 2).

Отмечено изменение соотношений между донными видами и обрастателями (уменьшение доли последних) снизу вверх по разрезу колонки ДО, что свидетельствует о некотором увеличении глубины озера в каждом из выделенных этапов осадконакопления.

Во время осадконакопления на первом этапе (экозона D-I) диатомовые комплексы характеризуют условия формирования литоральной зоны с нейтрально-слабощелочной реакцией среды. Во втором этапе развития озера (экозона D-II) возрастает эвтрофированность бассейна. Во время накопления осадков третьей экозоны (D-III) в большинстве образцов отмечены представители золотистых водорослей, их обилие превышает количество пресноводных диатомей. В составе диатомового комплекса отмечается увеличение количества видов — индифферентов и галофилов. Возможно увеличение площади озера и одновременное повышение его трофического статуса.

Четвёртый этап (экозона D-IV) отмечен снижением и без того невысокой численности диатомей. Вероятно, это связано с ухудшением условий их

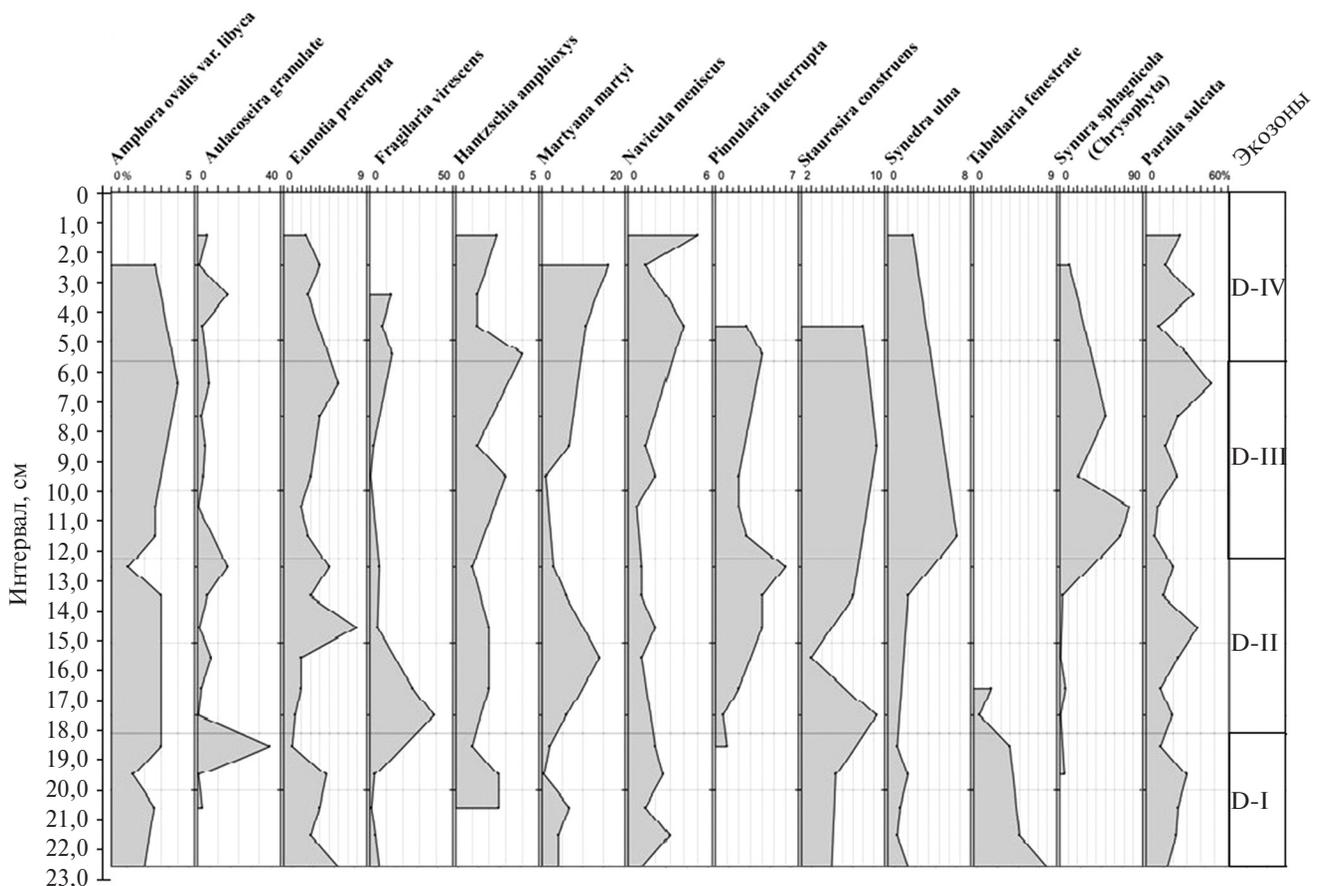


Рис. 2. Диатомовая диаграмма донных отложений оз. Гольцовое.

существования — похолоданием или осолонением бассейна.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЗЁР В НОВЕЙШЕЕ ВРЕМЯ

Помимо классических форм диатомового анализа в работе был применён принцип унификации биоиндикационных методов (УБМ) [2].

Принцип УБМ состоит в следующем: в качестве образца реконструкции численных значений рН и температуры была взята методика расчёта индекса сапробности S по Сладечеку [7]:

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

где s_i — индивидуальное численное значение сапробности для каждого таксона-индикатора, а k — коэффициент относительного обилия каждого таксона-индикатора, рассчитанный по шестиступенчатой шкале [8].

Соответственно при расчёте рН и температуры (T) применён аналогичный метод, что и при расчёте численных значений S :

$$pH = \frac{\sum ph_i \times k}{\sum k}, \quad T = \frac{\sum t_i \times k}{\sum k},$$

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

При наличии данных, представленных в виде численного интервала, рассчитывается его среднее значение:

$$ph_i = \frac{ph_{\min} + ph_{\max}}{2}, \quad t_i = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2}.$$

Исходной информационной базой данных для расчёта численных значений рН и T послужила работа [9].

Следует особо подчеркнуть, что основной положительной стороной авторской методики является достоверная реконструкция темпов и направленно-

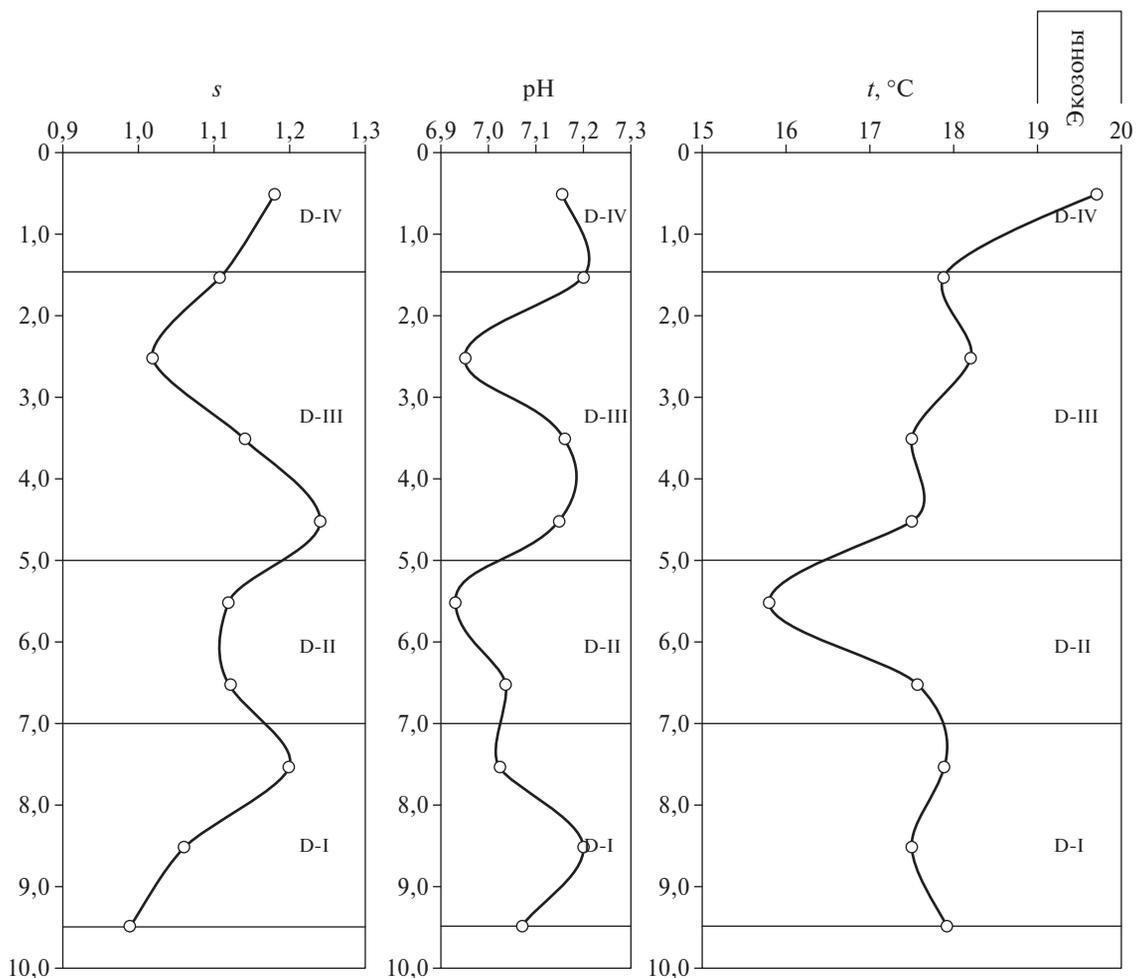


Рис. 3. Изменение численных значений параметров гидросреды в оз. Лангтибейто: сапробности, рН, температуры.

сти изменения рН и T , а не расчёт численных значений как таковых.

В образцах ДО из оз. Лангтибейто было идентифицировано 57 таксонов, входящих в группу индикаторов сапробности. В группу по рН-приуроченности включён 71 таксон-индикатор; в группу по температурной приуроченности — 13 таксонов.

Расчёт численных значений палеотемператур установил их изменение в интервале 19,7–15,8 °С (рис. 3). Это свидетельствует о высокой степени прогрева водных толщ в периоды “открытой воды” и деградации ледяного покрова. Никаких значимых изменений показателя индекса сапробности S не зарегистрировано (1,24–0,99). Озеро характеризуется как олиго-сапробный водоём, что типично для этих широт (рис. 3).

Расчёт численных значений рН подтвердил выводы, сделанные на основе классических методов диатомового анализа: водоём характеризуется слабощелочной или нейтральной реакцией среды, значения рН меняются в интервале 6,93–7,2 (рис. 3).

В образцах ДО из оз. Гольцовое было идентифицировано 47 таксонов, входящих в группу индикаторов сапробности. В группу по рН-приуроченности включено 70 таксонов, в группу по температурной

приуроченности — 17 таксонов. Расчёт численных значений палеотемператур характеризует озеро как холодноводный водоём (16,75–10,0 °С) (рис. 4). Для холодноводного заполярного водоёма у оз. Гольцового установлен достаточно высокий трофический статус: среднее значение индекса сапробности $S_{cp} = 1,46$, что находится практически на границе между олигосапробной и β -мезосапробной зонами (рис. 4). Изменение значений рН меняется в интервале 7,34–6,16 (рис. 4). Характер изменения значений рН может определяться трансгрессивными воздействиями на акваторию озера.

Результаты исследования озёрных отложений наглядно продемонстрировали перспективность применения биоиндикационных методов на основе диатомового анализа для реконструкции новейших климатических изменений в арктических районах Западной Сибири.

В донных отложениях из обоих озёр выявлена значимая сопряжённость между экозонами, выделенными классическими методами диатомового анализа, и характером изменения реконструированных гидрологических параметров на основе УБМ.

Несмотря на то что корреляционные связи между параметрами гидросреды выражены слабо,

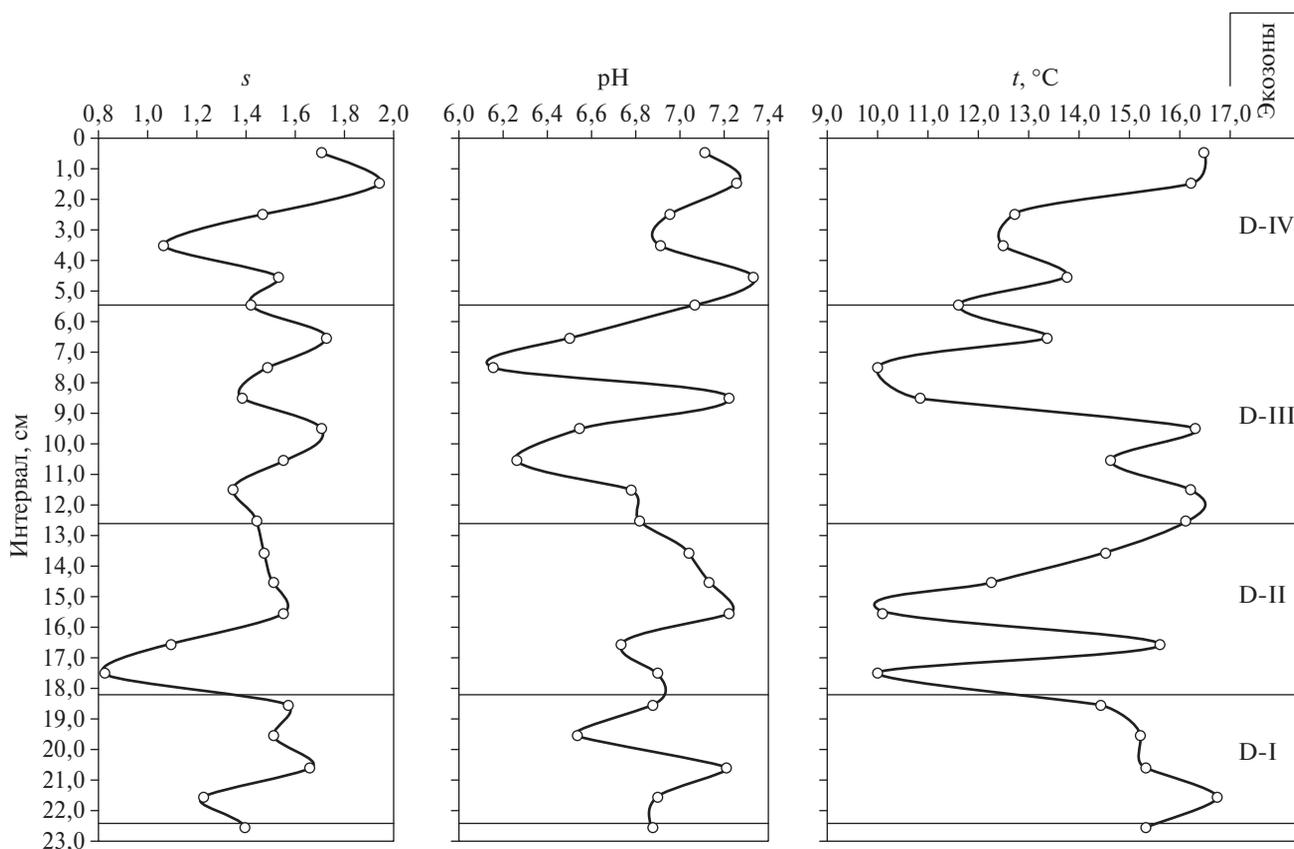


Рис. 4. Изменение численных значений параметров гидросреды в оз. Гольцовое: сапробности, рН, температуры.

в оз. Лангтибейто отмечена сходная траектория увеличения численных значений сапробности и температуры.

Источники финансирования. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18–05–60012 и № 17–05–00673/19.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Ильяшук Б.П., Каган Л.Я., Ильяшук Е.А. Палеоэкологическая реконструкция антропогенной нагрузки // ДАН. 2000. Т. 370. № 1. С. 115–200.
2. Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В. Новая методика реконструкции катионно-анионного баланса в озерах (диатомовый анализ) // ДАН. 2009. Т. 427. № 1. С. 132–135.
3. Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // ДАН. 2009. Т. 429. № 2. С. 274–277.
4. Walker T.R., Crittenden P.D., Dauvalter V.A., Jones V., Kuhry P., Loskutova O., Mikkola K., Nikula A., Paltova E., Ponomarev V.I., Pystina T., Rätti O., Solovieva N., Stenina A., Virtanen T., Young S.D. Multiple Indicators of Human Impacts on the Environment in the Pechora Basin, North-Eastern European Russia // Ecol. Indicators. 2009. V. 9. P. 765–779.
5. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли — индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
6. Renberg I. A Procedure for Preparing Large Sets of Diatom Slides from Sediment Cores // J. Paleolimnol. 1990. V. 4. P. 87–90.
7. Sládeček V. System of Water Quality from Biological Point of View // Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol. 1973. № 7. 218 p.
8. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 320 с.
9. Барينوва С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей — индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 500 с.

RECONSTRUCTION OF ENVIRONMENTAL CHANGES BY THE DIATOM COMPLEXES OF LAKE SEDIMENTS IN WESTERN SIBERIA

Corresponding Member of the RAS T. I. Moiseenko¹, L. V. Razumovsky²

¹Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Received November 27, 2018

Evaluation of Western Siberia lake sediments information content to reconstruct the latest geo-environmental and climatic changes. The possibility of reliable registration of negative changes in physical and chemical parameters of lake waters on the basis of classical and innovative methods of diatom analysis.

Keywords: lake sediments, diatom complexes, geoecological reconstructions.