

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЯ

УДК 56.074.6 : 551.312 (571.151)

КОМПЛЕКСНЫЕ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА МАНЖЕРОКСКОЕ В ПРЕДГОРЬЯХ АЛТАЯ

Т. А. Бляхарчук^{1,2}, Е. Ю. Митрофанова³, А. Н. Эйрих³

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения РАН

² Томский государственный университет

³ Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН

Сопряженный спорово-пыльцевой, диатомовый и геохимический анализ образцов сапропеля из верхней 80-см толщи озерных отложений озера Манжерокское, расположенного на западных предгорьях Алтая (51°49'15,5" с. ш., 85°48'35,7" в. д., 400 м н. у. м.), выявил взаимосвязь тенденций в изменении локальной обводненности озера с динамикой окружающего растительного покрова, обусловленной изменением общей увлажненности климата. Экологический анализ комплексов диатомовых водорослей изученного разреза донных отложений озера Манжерокское и реконструкция изменения рН и уровня озерных вод на основе индикаторных видов диатомей выявили существование стадии мелкого водоема во время накопления осадков нижней части керна, резкое обводнение озера во время накопления осадков средней части озерного керна, дальнейшее понижение уровня озера и современный подъем вод. При этом стадия резкого обводнения озера сопровождалась повышением в озерном сапропеле концентраций химических элементов терригенного сноса и сильной деградацией диатомовых комплексов. Выявленная картина изменения локальной обводненности озера хорошо согласуется с палинологическими данными, указывающими на изменения в региональном растительном покрове и увлажненности климата, выразившиеся в сукцессиях от березовой лесостепи к сосновым и кедровым лесам и впоследствии к березово-сосновой антропогенно измененной лесостепи. Антропогенное влияние на ландшафт просматривается по находкам в верхней части разреза пыльцы рудерального комплекса (*Triticum*, *Plantago*, *Cannabis*, *Secale*, *Fagopirum*) и пыльцы дуба (*Quercus*), экзотичной для сибирской флоры. Изменения в диатомоценозах изученной части озерных отложений указывают на более высокую климатическую чувствительность небольшого и мелководного озера Манжерокское, расположенного в лесостепной зоне Алтая, по сравнению с крупным и глубоководным Телецким озером, находящимся в горно-таежной зоне северного Алтая.

К л ю ч е в ы е с л о в а: палеолимнология; спорово-пыльцевой анализ; диатомовый анализ; растительный покров; экологические условия; предгорья Алтая; геохимия озерных отложений.

T. A. Blyakharchuk, E. Yu. Mitrofanova, A. N. Eirikh. INTEGRATED PALAEOECOLOGICAL INVESTIGATION OF BOTTOM SEDIMENTS FROM LAKE MANZHEROKSKOYE IN THE PIEDMONT ALTAI REGION

Complementary spore-pollen, diatom and geochemical analysis of samples from upper 80 cm of lake sediments from Lake Manzherokskoye, situated in the western piedmont region of Altai Mountains, revealed correlations between trends in the local water content in the lake and changes in the surrounding dry land vegetation triggered by the change of the overall climate humidity. Ecological analysis of diatom complexes from the studied sediment section and reconstruction of pH variation based on diatom indicator-species revealed the following successions: 1 – a shallow water pool during downcore sedimentation; 2 – a sharp rise in the lake water content during mid-core sedimentation; 3 – following decrease of the lake level, and 4 – contemporary new rise of the water level in Lake Manzherokskoye. The reconstructed second stage of change in local conditions in Lake Manzherokskoye agrees with pollen data demonstrated change of dry land vegetation from birch forest-steppe to pine and Siberian cedar forests and, finally, to contemporary birch-pine anthropogenically transformed forest-steppe. During the sharp water rise stage the content of terrigenous elements increased in the lake sediments, whereas diatom complexes degraded considerably during this stage. Human influence on the landscape is seen in the top part of the studied lake sediment as indicated by findings of ruderal pollen (*Triticum*, *Plantago*, *Cannabis*, *Secale*, *Fagopirum*), as well as pollen of *Quercus*, which is exotic for Siberian flora. Changes in the diatom complexes in the examined section of the lake sediments point to a higher climatic sensitivity of the small and shallow Lake Manzherokskoye compared to the large and deep Lake Teletskoye.

Key words: palaeolimnology; spore-pollen analysis; diatom analysis; plant cover; ecological conditions; piedmont Altai Region; geochemistry of lake sediments.

Введение

Исследование естественной динамики климата и ее влияния на природные экологические системы в последние годы особенно актуально в связи с продолжающейся научной дискуссией о роли антропогенного фактора в глобальном потеплении климата. В этой связи верхние слои озерных отложений могут дать информацию как о динамике климата, так и об изменении общей экологической обстановки региона и конкретного водоема под воздействием естественных и антропогенных факторов относительно недавнего прошлого. Донные отложения озер обладают преимуществом, связанным с возможностью применения комплексного подхода, включающего палинологические исследования – для характеристики ландшафта на региональном уровне и диатомовые исследования – для характеристики локальных условий озера. При аккуратном разборе на сантиметровые образцы верхней полужидкой части озерного керна в вертикальном его положении прямо в полевых условиях мы получаем временные серии экологических данных с довольно высоким временным разрешением. В результате, даже при отсутствии выраженной годичной слоистости озерных отложений, можно выявить естественные природные циклы, сукцессии и влияние антропогенного фактора

на региональном и локальном уровнях. Годично-ламинированные озерные отложения встречаются редко и в основном в глубоких и крупных водоемах. Малые же озера распространены очень широко, и в отличие от крупных озер они являются менее устойчивыми системами, более чутко реагирующими на колебания климата [Mason et al., 1994]. Поэтому донные отложения именно малых озер особенно перспективны для палеоэкологических и палеоклиматических исследований.

Несмотря на рост количества и уровня палеоклиматических исследований, по-прежнему ощущается недостаток достоверных данных по изменениям внутриконтинентального климата. Малоизученными в этом плане остаются регионы Алтае-Саянской горной области. Между тем Алтайские горы расположены на границе гумидной и аридной климатических зон, и их экосистемы, включающие множество малых озер, особенно чувствительны к изменениям увлажненности климата. Палеолетописи горных озер Алтая являются связующим звеном между палеогеографическими схемами гумидных регионов Сибири и аридных регионов Средней Азии. На хребтах Алтае-Саянской горной области встречаются воздушные потоки атлантических циклонов и юго-восточных муссонов. Однако, несмотря на сложную структуру рельефа, разнообразие климатов и растительного

покрова Алтая, до настоящего времени имеют лишь единичные работы, посвященные либо только палинологическим исследованиям [Чернова и др., 1991; Blyakharchuk et al., 2004, 2007, 2008; Andreev et al., 2007; Schlutz, Lehmkuhl, 2007; Бляхарчук, 2008], либо только диатомовым исследованиям [Westover et al., 2006; Митрофанова, 2009; Митрофанова, Сутченкова, 2014], но нет комплексных палинологических и диатомовых исследований, проведенных по одному объекту, которые могут более объективно характеризовать динамику природно-климатической обстановки различных округов российской части Алтая. Последнее крайне необходимо для расшифровки динамики растительности и климата в этом узловом центрально-континентальном регионе.

Объект исследования

В 2010 г. объединенной группой исследователей из ИМКЭС СО РАН и ИВЭП СО РАН был отобран 80-см керн верхних слоев донных отложений из центральной части озера Манжерокского Майминского района Республики Алтай (51°49'15,5" с. ш., 85°48'35,7" в. д.) для комплексных палеоэкологических исследований (рис. 1). Глубина воды в месте отбора озерного керна составляла 300 см. Озеро Манжерокское расположено на высокой древней террасе правого берега реки Катунь на высоте 423 м над уровнем моря, в 2,5 км от современного ее русла и в 18 км к юго-западу от города Горно-Алтайска. Район Манжерокского озера представляет собой правый коленообразный изгиб долины р. Катунь, выполненный отложениями высоких и низких надпойменных террас реки, сложенных песчано-гравийно-галечниковыми, песчано-глинистыми с валунами и глыбами, песчаными и другими осадками. Горная долина р. Катунь в районе местоположения озера расширена до 3 км и образует крутой изгиб к востоку. Уровень озера превышает уровень р. Катунь на 88 м, длина озера – 1112 м, наибольшая ширина – около 400 м, площадь – 0,4 км² [Селедцов, 1963]. По происхождению озеро представляет собой фрагмент древнего русла Катунь и располагается на пятой надпойменной террасе [Цимбалей, 2008]. Территория характеризуется низкогорным рельефом с небольшой глубиной расчленения, пологими склонами и широким развитием делювиальных плащей [Смагин и др., 1980]. Из склоновых процессов наряду с делювиальным смывом развито медленное смещение элювия вниз по склону.

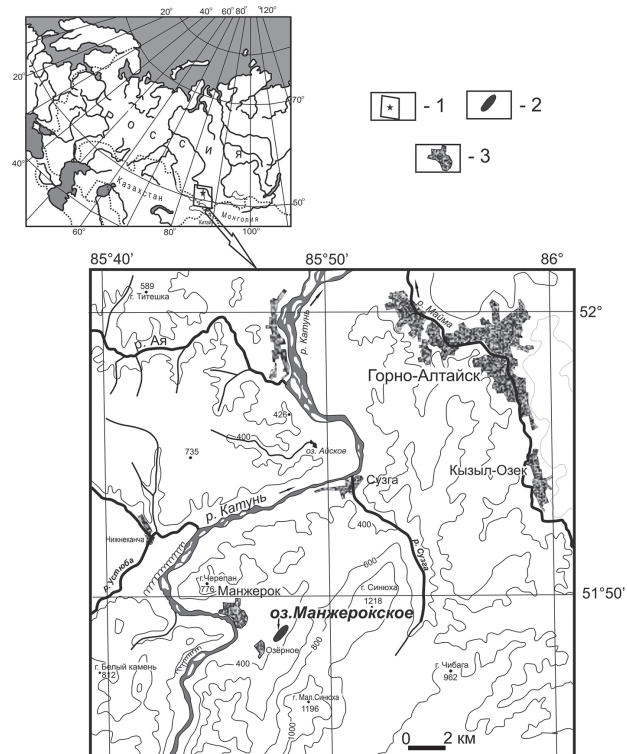


Рис. 1. Карта района исследований: 1 – район исследования; 2 – озеро Манжерокское; 3 – населенные пункты

Располагаясь на северо-западной периферии гор Южной Сибири, эта область выделяется наибольшей степенью увлажнения и сравнительно мягким, хотя и континентальным климатом, который классифицируется как континентальный западносибирский тип [Огуреева, 1980]. Осадков выпадает 500–700 мм в год. Сумма температур за безморозный период составляет 2430–2510°, наибольшая сумма положительных температур свыше 15° составляет 1280–1340° (пос. Кызыл-Озек). Средняя температура июля составляет +18 °С, января – 14–15° ниже нуля. Среднегодовые температуры колеблются в пределах от –4 до +2 °С.

Геоботанически район исследования находится в подтаежно-лесостепном высотном поясе в комплексе сосново-березовых лесов [Смагин и др., 1980], или в Северо-Алтайской таежно-лесостепной подпровинции [Куминова, 1960; Огуреева, 1980]. Сочетание растительных формаций создает ландшафт предгорной лесостепи, в которой степи сохранились только по южным склонам. Большие пространства заняты пахотными угодьями. Лесостепи окаймляют широкой полосой Горный Алтай по западным и северо-западным предгорьям, формируя лесостепной пояс в пределах абсолютных высот 500–700 м над уровнем моря. Нижняя и верхняя границы этого пояса в данном районе обусловлены годовым количеством осадков

600–800 мм. Сочетание луговых степей, остепненных лугов с березово-осиновыми перелесками по северным склонам носит характер западносибирской лесостепи. Встречаются сосняки разнотравно-ретидиевые, караганово-осоковые на серых лесных свежих и влажных суглинистых почвах и сосняки орляково-крупнотравно-снытевые на темно-серых лесных почвах.

Локальная растительность вокруг озера Манжерокское следующая. Склоны гор, расположенные к востоку и северо-востоку от озера, покрыты березово-осиновыми лесами с примесью сосны. На вершинах гор, возвышающихся над озером на 800–1000 метров, в состав древесных пород, помимо указанных выше, входят пихта, кедр, лиственница. Узкая полоса восточного побережья озера от основания склонов до берегов перекрыта озерными отложениями, заболочена, зарастает лесом и кустарниками. Западная сторона представляет собой полого-наклонную к озеру поверхность, распаханную на ширину до 600 м. На месте этого поля в первой половине прошлого века был сосновый лес с березой и луговыми полянами. Лес был постепенно вырублен, и после 1945 г. произведена распашка. За полем вся терраса на площади несколько квадратных километров покрыта сосновым бором с примесью березы и осины. Узкая (5–15 м шириной) прерывистая полоса кустарников (ива, черемуха, калина) окаймляет озеро. В 1973 г. вдоль его западного берега была заложена 50-метровая водоохранная лесополоса из дуба, сосны, тополя.

Озеро Манжерокское на современном этапе своего развития выделяется среди других водоемов Горного Алтая большим разнообразием водных растений. В. В. Ильин [1982] для данного водоема отмечает 25 видов погруженных и полупогруженных растений-макрофитов, среди которых и реликтовый эндемичный вид *Trapa pectinata* V. Vassil – водяной орех гребенчатый. И. М. Краснобров с соавторами [Краснобров и др., 2012] и А. Л. Эбель [2012] для Горного Алтая, и в частности в озере Манжерокском, отмечают вид водяного ореха – *Trapa natans*. По данным В. В. Ильина, в 70-е годы 20 века в озере была богатая водная растительность. Большие заросли водяного ореха располагались в юго-западной и северо-восточной оконечностях озера. Ближе к берегу шла узкая полоса, образованная кувшинково-разнотравной группировкой, в которой ассоциация с гидриллой мутовчатой находилась ближе всего к берегу. Непосредственно к берегу примыкала сплавина, образованная вахтой трехлистной, белокрыльником, болотными осоками,

рогозом, тростником. Во время отбора озерных отложений для палеоэкологических исследований в июле 2010 г. водяной орех встречался в озере лишь в виде редких разрозненных экземпляров. Плавающие макрофиты были представлены в основном лишь экземплярами кувшинки чисто-белой. Участки сплавины прослеживались только вдоль восточного берега озера. Таким образом, можно отметить, что за 28 лет, прошедших после описания водной растительности озера В. В. Ильиным [1982], обилие водных макрофитов в Манжерокском озере сильно сократилось.

В озеро впадает несколько небольших ручьев, стекающих со склонов горы Синюхи, а вытекает один ручей в юго-западной оконечности водоема. Питание озера осуществляется за счет атмосферных (талых и дождевых) и подземных вод. Озеро мелководное и слабoproточное. Озерная котловина представляет собой плоскодонную впадину с пологими склонами. Глубина постепенно увеличивается от берегов к центральной части озера. На основной площади глубина не превышает 2,5–2,8 м, максимальная – 3 м. По характеру господствующих донных отложений, представленных сапропелем, глубине и свойствам воды озеро Манжерокское относится к эвтрофному типу. В фитопланктоне преобладают в летний период в основном зеленые и синезеленые водоросли, в зимний период подо льдом – фллагелляты из криптофитовых, т. е. водоросли с мягкими клеточными оболочками, которые в донных отложениях не сохраняются. Диатомовые водоросли в фитопланктоне озера играют второстепенную роль.

Методы исследования

Для палеоэкологических исследований из верхней полужидкой части озерных отложений был отобран ненарушенный керн мощностью 80 см и диаметром 5 см. Отбор производился специальным озерным буром поршневого типа. Колонка полужидкого сапропеля в вертикальном положении транспортировалась на берег и в стационарных условиях в вертикальном же положении была разобрана на образцы с шагом 1 см для высокоразрешающих палеоэкологических исследований, результаты которых, требующие более длительного времени для их получения, будут опубликованы позднее. Для данной публикации из полученной серии образцов каждый пятый был проанализирован спорово-пыльцевым и диатомовым методами. К настоящему времени для изученных палеоэкологическими методами образцов

Таблица 1. Литология верхней 80-см толщи озерных отложений оз. Манжерокское

№ слоя	Глубина (см)	Визуальное описание текстуры донных отложений
1.	0–10	Полужидкий бурый тонкодисперсный гомогенный сапропель
2.	11–37	Желеобразный темно-бурый тонкодисперсный гомогенный сапропель
3.	38–43	Желеобразный темно-бурый тонкодисперсный сапропель с мелким растительным детритом и крупными включениями ореха <i>Trapa natans</i>
4.	44–52	Желеобразный темно-бурый сапропель с макроостатками хвоща, осок и других водно-болотных растений
5.	53–79	Темно-бурый сапропель с крупными макроостатками зеленого мха <i>Drepanocladus sentherii</i>
6.	80–81	Желеобразный темно-бурый гомогенный сапропель с крупными включениями ореха <i>Trapa natans</i>

определено содержание химических элементов (Mn, Fe, Cu, Ni, Pb, Cd, Zn, U, Th) в химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН и Институте минералогии УрО РАН.

Литологический анализ

Визуальное описание литологии колонки свежих донных отложений представлено в таблице 1.

Для количественного литологического анализа образцы высушивались при температуре 105 °С до постоянного веса [Heiri et al., 2001]. После определения потерь от прокаливания при температурах 550 и 950 °С определялось относительное содержание органики, карбонатов и минеральной фракции в донных отложениях.

Спорово-пыльцевой анализ

Для спорово-пыльцевого анализа образцы озерного сапропеля объемом 1 см³ были подвергнуты щелочной обработке по методике Поста [Гричук, 1948] и просеяны через сито 0,3 мм. Ацетализ не использовался. Из полученного отмытого от щелочи образца были изготовлены глицериновые препараты, предварительно окрашенные фуксином. Спорово-пыльцевой анализ образцов проводился Т. А. Бляхарчук в ИМКЭС СО РАН с помощью светового микроскопа при увеличении в 400 раз. Для определения форм пыльцы и спор использовались отечественные и зарубежные определители пыльцы [Куприянова, 1965; Куприянова и Алешина, 1972, 1978; Бобров и др., 1983; Reille, 1995; Moore et al., 1997], а также коллекция постоянных препаратов пыльцы известных видов растений флоры Сибири. При спорово-пыльцевом анализе в каждом образце определялось от 478 до 747 палиноморф. Видовое разнообразие в спектрах варьировало от 28 до 44 типов. Типы определялись до таксономических единиц: вида, рода, семейства или группы видов (type). При интерпретации палинологических данных использовался традиционный метод оценки общего

состава пыльцевых спектров по соотношению древесной, травяной и споровой групп палиноморф. Кроме того, для объединенной группы травяных и споровых палиноморф была проведена оценка по экологическим подгруппам [Бляхарчук, 2007]. При этом выделялись условные подгруппы, а именно: древесные, в которую входила пыльца древесных растений; кустарники, объединявшая пыльцу кустарников и кустарничков; рудералы, к которым мы отнесли пыльцу *Hordeum*, *Triticum*, *Secale*, *Fagopirum*, *Cannabis*, *Urtica*, *Plantago*, *Lactuca sativa*, *Sonchus arvensis*; ксерофиты, в которую входила пыльца полыни, маревых, эфедры, ковыля; подгруппа гидрофитов и аэрогидрофитов, в которую входила пыльца водно-болотных растений и осоки; подгруппа мезофитных трав, в которую входили все оставшиеся виды травянистых растений.

Диатомовый анализ

Для диатомового анализа образцы осадков высушивали до постоянного веса, отбирали навеску 0,005 г, в течение суток выжигали органику 30%-й перекисью водорода с добавлением нескольких капель соляной кислоты. После трехкратного промывания дистиллированной водой каплю объемом 0,01 мл с осадком наносили на предметное стекло, высушивали и заключали в канадский бальзам. Полученные препараты исследовали с помощью светового микроскопа Laboval 4 (Karl Zeiss). Диатомовый анализ выполнен Е. Ю. Митрофановой в ИВЭП СО РАН. Идентификацию и систематизацию диатомей проводили с использованием классических и современных определителей, сводок и атласов [Забелина и др., 1951; Диатомовые водоросли..., 1992; Hartley et al., 1996]. Эколого-географическая характеристика водорослей приведена по С. С. Бариновой [Баринова и др., 2006]. При подсчете створок в препаратах учитывали все встреченные панцири диатомовых водорослей, пересчет количества проводили на 1 грамм осадка. Реконструкцию значений pH проводили на основе уравнения линейной

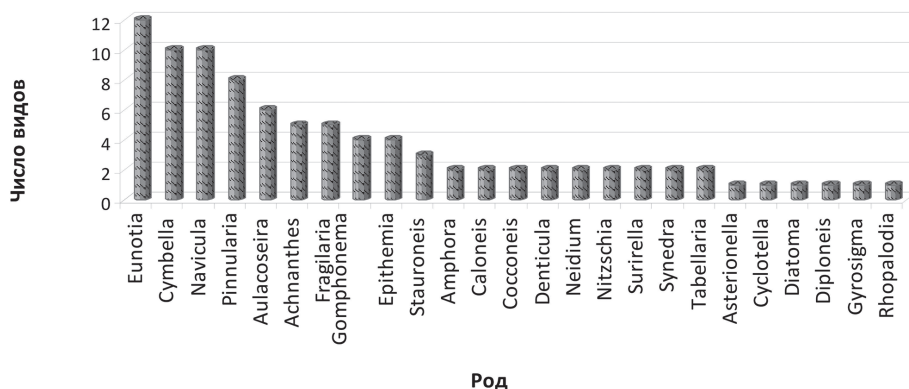


Рис. 2. Распределение выявленных видов диатомовых водорослей по родам в донных отложениях озера Манжерокское

регрессии по индексу В, разработанному для озер Швеции [Renberg, Hellberg, 1982]: $B = (\% \text{circ} + 5 \% \text{acf} + 40 \% \text{acb}) / (\% \text{circ} + 3,5 \% \text{alkf})$. Нами было использовано уравнение, полученное для одного из озер Кольского Севера [Моисеенко и др., 1997], близкого по уровню рН к озеру Манжерокское:

$$pH = 6,40 - 0,85 \log B.$$

Микроэлементный анализ

Высушенные образцы донных отложений массой 0,2–0,3 г помещали в тефлоновые стаканы, добавляли 5 мл концентрированной HNO_3 марки «особо чистые» (о. с. ч.) и разлагали в микроволновой печи MARS-5. Использовали метод US EPA, включающий программу SW-3051 (микроволновая пробоподготовка почв, донных отложений и шламов). Следует отметить, что по описанным методикам в пробах донных отложений определяют только подвижные формы металлов, то есть сорбированные на минеральном материале или содержащиеся в органической и легкоокисляемой составляющих. Концентрации тяжелых металлов (Mn, Fe, Cu, Ni, Pb, Cd, Zn) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием пламенного варианта (ацетилен-воздух) и электротермической атомизации на приборе SOLAAR M-6; для градуировки прибора использовали стандартные растворы ГСО определяемого элемента. Контроль правильности определений микроэлементов проводили с помощью метода добавок и образцов сравнения (stream sediment NCS DC 73307). Исследование содержания тяжелых металлов в донных отложениях озера Манжерокское выполнено в химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН, г. Барнаул.

Графика и статистическая обработка данных

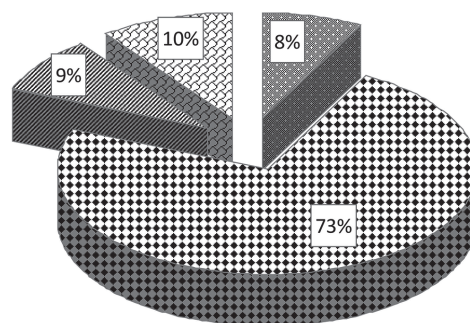
Для построения спорово-пыльцевой и общей диатомовой диаграммы использовалась

графическая программа Tilia 2 [Grimm, 2004]. Кластерный анализ численных данных спорово-пыльцевой и диатомовой анализов был выполнен с помощью программы CONISS, встроенной в Tilia 2. Построение циклограмм и расчет процентов осуществлялись с помощью программы Excel 2003. Для создания карты района исследования использовались программы CorelDRAW X3 и Adobe Photoshop CS2.

Результаты диатомового анализа

В донных отложениях озера выявлено 94 вида (115 видов, разновидностей и форм) диатомовых водорослей, принадлежащих к 25 родам (рис. 2). Наиболее насыщенным по числу видов является род *Eunotia*, далее следуют *Cymbella* и *Navicula*, а также *Pinnularia*. Все представители этих родов встречаются в бентосе и обрастаниях, многие из них обитают в закисленных условиях при заболачивании водоемов. Род *Aulacoseira*, следующий по числу видов, содержит истинно планктонных представителей.

По местообитанию весь выявленный комплекс диатомовых водорослей делится на четыре экологические группы, среди которых



■ Планктонные ■ Бентосные ■ Планкто-бентосные ■ неизв.

Рис. 3. Соотношение групп диатомовых водорослей по местообитанию в донных отложениях озера Манжерокское

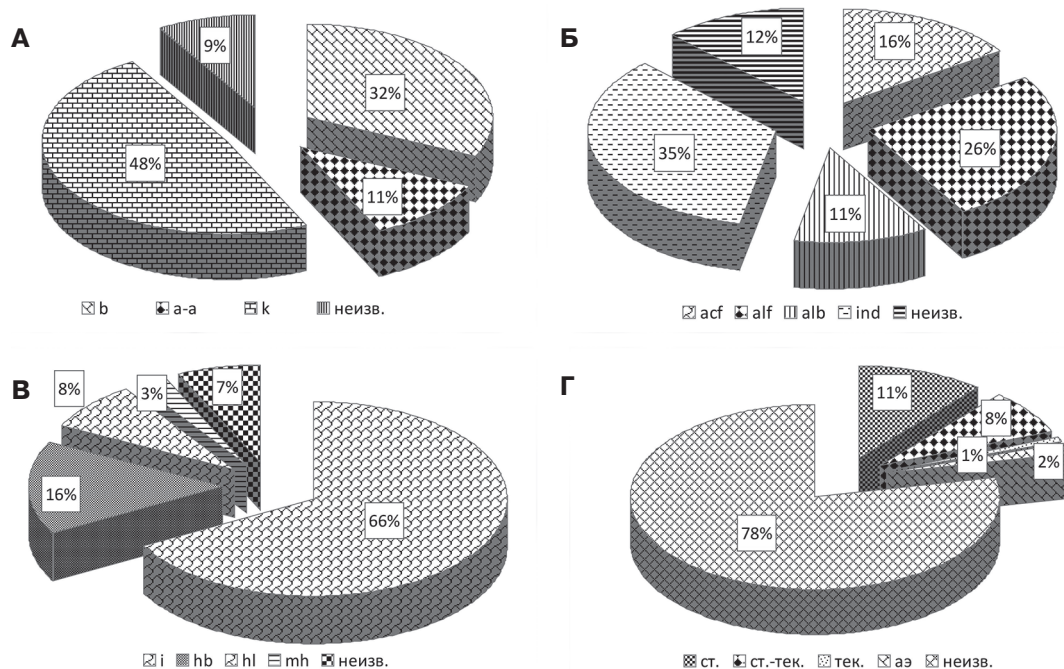


Рис. 4. Соотношение таксонов диатомовых водорослей в донных отложениях озера Манжерокское:

(А) по географическому распространению: к – космополит, b – бореальный, а-а – аркто-альпийский; (Б) по отношению к pH среды: alf – алкалифилы, alb – алкалибионты, acf – ацидофилы, ind – индифференты; (В) по галобности: mh – мезогалобы, hl – галофилы, hb – галофобы, i – индифференты; (Г) по реофильности: ст. – стоячий, тек. – текущий, ст.-тек. – стояче-текущий и/или индифферент, аэ – аэрофил

преобладают представители бентосных группировок и обрастаний (85 таксонов). Следующие три группы – планктонные виды (представлены 9 таксонами), планктонно-бентосные (выявлено 10 таксонов) и виды с невыясненной экологической характеристикой – присутствуют в танатоценозах озера примерно в равных долях (рис. 3).

По географическому распространению в сообществах диатомей преобладают космополиты и виды бореального комплекса – 56 и 37 таксонов соответственно (рис. 4, А). Среди индикаторов ацидификации наиболее многочисленны таксоны-индифференты (40) и алкалифилы (30) (рис. 4, Б); среди индикаторов галобности тоже преобладают индифференты (77 таксонов) (рис. 4, В). Индикаторов реофильности выявлено мало – 25 таксонов, большинство из которых – представители стоячих вод (13 видов); основная масса таксонов была с невыясненной характеристикой по этому показателю (рис. 4, Г). В целом экологический анализ выявленных таксонов показал, что из видов с известными характеристиками преобладают бентосные бореальные алкалифильные галофобные виды стоячих вод, это является характерным для мелководных стоячих небольших по площади пресных озер.

Сапробиологический анализ флоры диатомей в донных отложениях озера Манжерокское

показал, что индикаторами степени сапробности воды являются 71 таксон (62,3 % от общего их числа). Большая часть из выявленных таксонов – β-мезосапробионты (31 таксон, или 27,2 % от общего числа таксонов и 43,7 % от числа индикаторов сапробности). На втором месте стоит группа олигосапробионтов (29 таксонов, 25,4 и 40,8 % соответственно), третьими в ранжировании идут ксеносапробионты (10 таксонов, 8,8 и 14,1 % соответственно). Всего один таксон выявлен в группе α-мезосапробионтов (0,9 и 1,4 % соответственно). Таким образом, в составе диатомей в верхней части донных отложений озера преобладают индикаторы умеренно загрязненных и чистых вод.

Количество створок диатомей в исследованных слоях донных отложений озера тоже изменялось в значительных пределах – от 0,08 до 74,88 млн ств./г. От нижних слоев к верхним наблюдается незначительное уменьшение числа видов диатомей и увеличение количества их створок с максимумами в верхних 5–16 см керна. В средних слоях на глубине 30–41 см число створок диатомовых водорослей снижалось практически до минимальных значений (рис. 5). Такое резкое уменьшение количества створок может свидетельствовать о кардинальной смене экологических условий в водоеме в период накопления сапропеля этого уровня.



Рис. 5. Изменение количества створок диатомовых водорослей и числа цист золотистых водорослей в разных слоях донных отложений озера Манжерокское

Среди всех видов по количеству створок выделяется планктонный вид *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. (рис. 6, А), который, отсутствуя в нижней части озерного керна, резко возрастает в обилии с глубины 10 см, где составляет 33,5 %. Этот вид в поверхностных слоях донных отложений достигает численности 22,48 и 25,36 млн ств./г, что составляет 70,6 и 33,9 % от общего числа створок.

В отличие от *A. italica* другая диатомея, *Stauroneis anceps f. gracilis* (Ehr.) Cl., встречается практически во всех слоях исследованного керна, но с меньшей численностью (рис. 6, Б), и доля ее в общем количестве створок диатомовых водорослей максимальна в средней части керна на глубине 45–46 см. Как

отмечают исследователи современных водорослей [Куликовский, 2008], этому виду присуще обитание в заболоченных водоемах различной природы.

Распределение видов диатомовых водорослей в разных слоях донных отложений озера различно (рис. 7). Развитие бентосных видов рр. *Eunotia* и *Pinnularia* может свидетельствовать о заболачивании водоема ввиду его обмеления и закисления. Постепенное обмеление и заболачивание водоемов в результате их естественной эвтрофизации – это общая тенденция, наблюдаемая в небольших по площади и мелководных водоемах. Из литературы [Stefkova, 2008] известно, что вспышки численности видов р. *Eunotia* характерны для

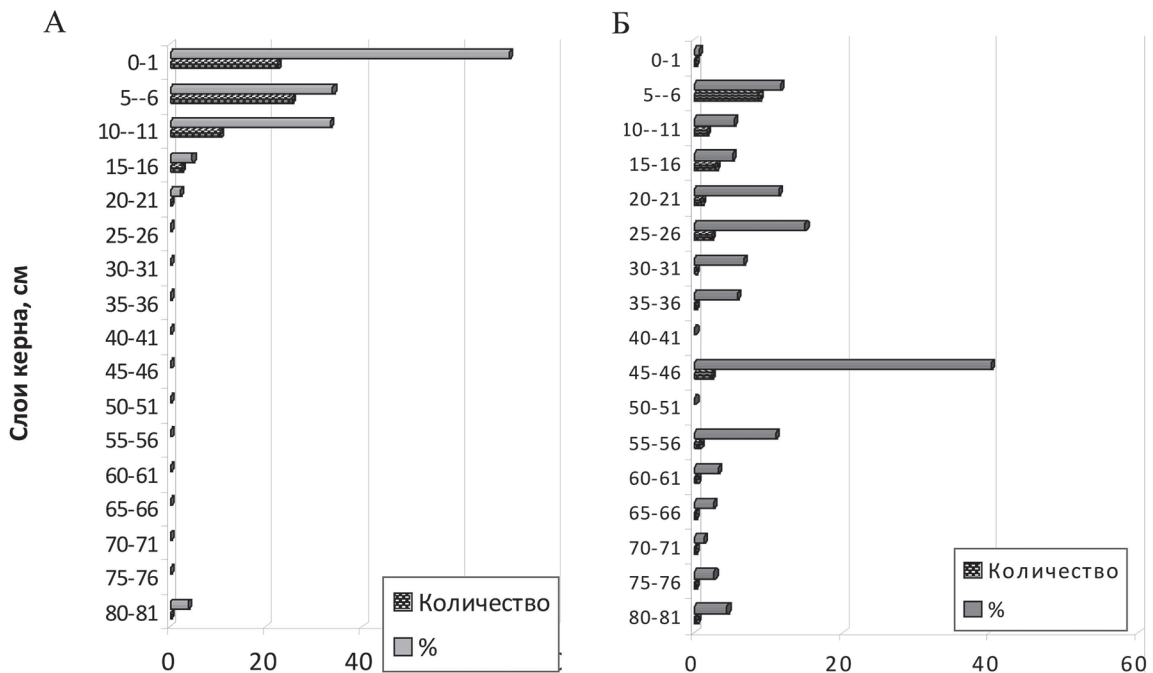


Рис. 6. Изменение количества створок, млн ств./г, и доли в общей численности *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. (А) и *Stauroneis anceps f. gracilis* (Ehr.) Cl. (Б) в донных слоях озера Манжерокское

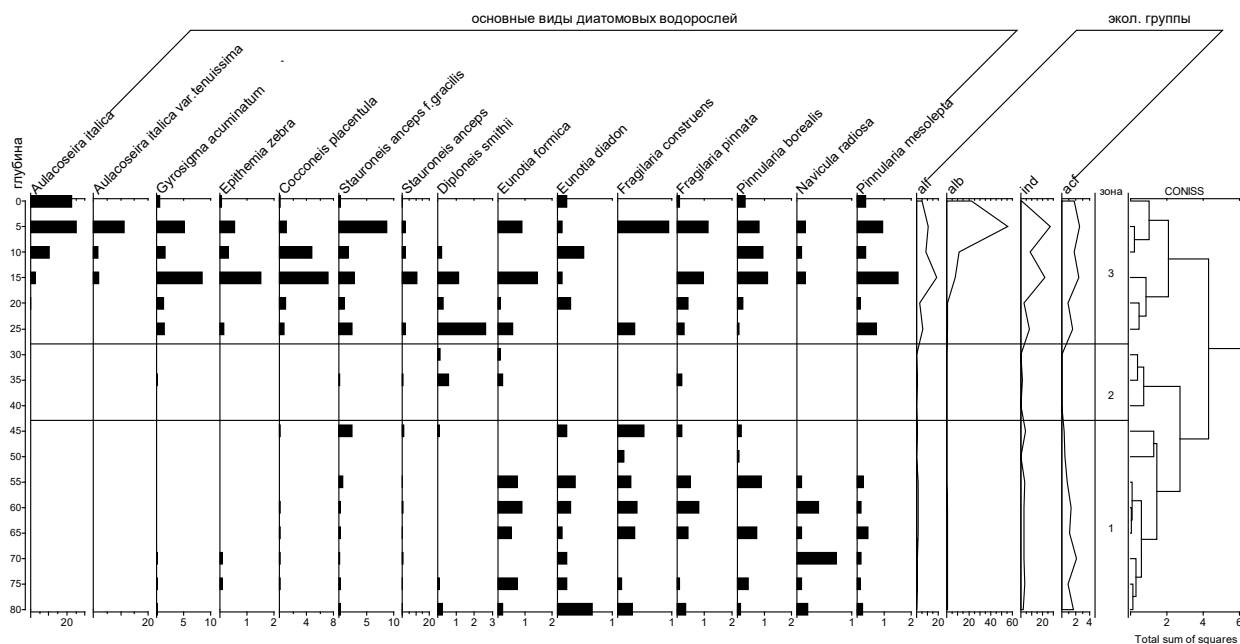


Рис. 7. Стратиграфия некоторых видов диатомовых водорослей в керне донных отложений озера Манжерокское (количество створок в млн ств./г)

периодов acidификации водоемов. Но при изменении гидрологических условий в водоеме, т. е. повышении его проточности и водообмена, деградационный путь развития может поменяться на эволюционный, что, вероятно, и произошло с озером Манжерокским в его историческом развитии. Планктонные виды родов *Aulacoseira* и *Cyclotella* приурочены в основном к верхней части керна, что может свидетельствовать о формировании истинно планктонного комплекса в водоеме в этот период.

Реконструкция pH по индикаторным видам диатомей

На изученном интервале керна донных отложений озера была реконструирована величина pH по наличию в составе диатомовых комплексов видов-индикаторов содержания водородного иона (см. рис. 7, 8). Выделение групп видов-индикаторов, чувствительных к изменению pH воды, было сделано в 30-е годы XX века Ф. Хустедтом. Он объединил такие виды в 11 групп: от алкалибионтов, обитающих в водах с pH = 8 и более, до ацидобионтов, живущих в кислых водах с pH = 5 и менее [Баринава и др., 2006]. Основные группы: alb – алкалибионты, предпочитающие среду с pH = 8,5; alf – алкалифилы, предпочитающие среду с pH > 7; circ (ind) – циркумнейтралы (индифференты) (pH = 7); acf – ацидофилы (pH < 7); acb – ацидобионты (pH = 5,5).

Анализ видов-индикаторов pH в изученном керне озерных отложений озера Манжерокское

показал, что их соотношение заметно изменяется вдоль по керну (см. рис. 7). В нижних частях керна повышена доля ацидофилов с максимумом на глубине 50–51 см, в верхних слоях более значимы виды-алкалибионты. Доля видов-алкалифилов максимальна в средней части керна на глубине 31–41 см.

Использование уравнения расчета pH по соотношению индикаторных видов диатомей [Моисеенко и др., 1997] позволило реконструировать величину pH для каждого из слоев исследованного отрезка керна донных отложений. Расчетная величина pH изменялась в пределах 6,09–6,96 (см. рис. 8) при среднем значении $6,54 \pm 0,06$, т. е. соответствовала слабокислой среде. Линия тренда показывает постепенное увеличение величины pH от основания керна к поверхности. При исследовании подледного фитопланктона Манжерокского озера в марте 2007 г. реакция среды также была слабокислая и величина pH изменялась в пределах 6,3–6,7 [Митрофанова, 2009].

Подобная реконструкция изменения величины pH была сделана и для глубокого Телецкого озера для керна донных отложений с подводного хребта Софьи Лепневой [Митрофанова, Сутченкова, 2014]. Оказалось, что на протяжении последних 2000 лет для Телецкого озера величина pH изменялась в интервале 7,51–7,69 при среднем значении $7,580 \pm 0,003$, т. е. соответствовала слабощелочной среде. Таким образом, диапазон изменения реконструированной pH для Телецкого озера был меньше, чем

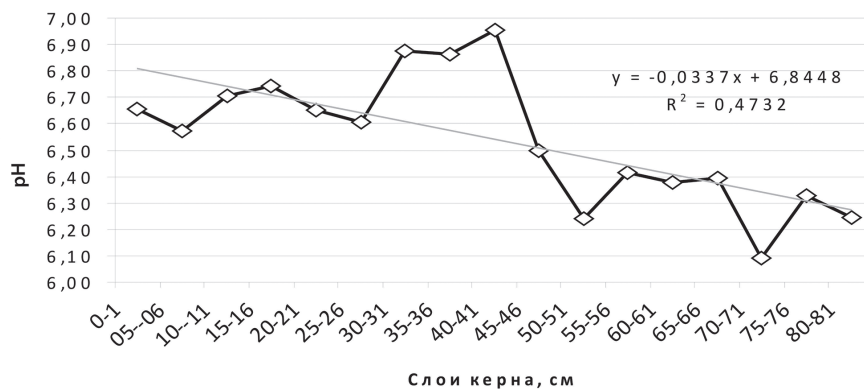


Рис. 8. Величина pH (с линией тренда), реконструированная по данным диатомового анализа в донных отложениях озера Манжерокское

таковой, выявленный для озера Манжерокское, что может свидетельствовать о большей стабильности глубокого и более крупного водоема по сравнению с более мелким и меньшим по объему озером.

Соотношение численности планктонных (P), бентосных (B) и планкто-бентосных (P-B) форм диатомовых водорослей в разных слоях донных отложений озера Манжерокское может косвенно свидетельствовать об изменении уровня воды в озере с течением времени [Wolin, Stone, 2010]. Так, развитию планктонных форм способствуют более спокойные и глубоководные условия озера. Развитию бентосных форм, напротив, способствует большая проточность воды в озере. Анализируя данные диатомового анализа для донных отложений озера Манжерокское, можно отметить, что в нижних слоях отложений более значимы были бентосные формы, а в верхних – планктонные (рис. 9). Поэтому можно заключить, что на более отдаленном историческом отрезке времени уровень озера был ниже, а в период, более близкий к современному, он стал выше. Резкое повышение уровня воды в озере, вероятно, имело место в период накопления средней части осадков изучаемого керна на глубине 40–41 см, так как бентосные формы на данном отрезке керна составляли 100 %. После этого периода уровень воды в озере несколько понизился и стабилизировался, что способствовало массовому размножению планктонных видов диатомей. Выводы по изменению уровня воды в озере хорошо согласуются с реконструированной величиной pH. При низком уровне воды в озере pH был низким, и накапливался сапропель нижней части керна. При резком повышении уровня озера pH увеличился, и отложился сапропель средней части керна. Позднее уровень воды в озере несколько понизился, и pH тоже снизился. Ближе к современности уровень воды

в озере Манжерокское вновь повысился, хотя и не достиг уровня, соответствовавшего средней части керна.

Индикаторами изменения уровня воды и изменения pH воды могут служить и высшие водные растения, или макрофиты. Выявлено, что погруженные гидрофиты существенно меняют ряд гидрохимических показателей среды. Так, в экспериментальных экосистемах при активном фотосинтезе погруженных растений (элодеи, роголистника) отмечали насыщение воды кислородом и изменение карбонатного равновесия значения pH в щелочную сторону [Курбатова и др., 2013]. Кривая реконструированной величины pH показывает более высокие значения pH для средней части керна донных отложений. Вероятно, во время накопления сапропеля этой части керна озеро было максимально глубоким и в нем доминировали погруженные макрофиты, тогда как до этого периода и после него глубина озера была меньше, и это благоприятствовало развитию зарослей плавающих гидрофитов и аэрогидрофитов, которые, напротив, способствуют acidификации водоема.

Наряду со створками диатомовых водорослей к кремнийсодержащим организмам, которые хорошо сохраняются с течением времени в донных отложениях и имеют индикаторное значение, принадлежат и цисты золотистых водорослей. В донных отложениях озера Манжерокское были встречены цисты различных морфотипов золотистых водорослей – сферической формы с простой порой и воротничками, удлинённой формы также с различными воротничками. В разных слоях донных отложений озера цисты встречались постоянно, не отмечены они только в слое с наименьшим количеством створок диатомовых водорослей – 40–41 см (рис. 5). Соотношение общего количества цист и створок диатомей в разных слоях керна было различным. В нижней части керна

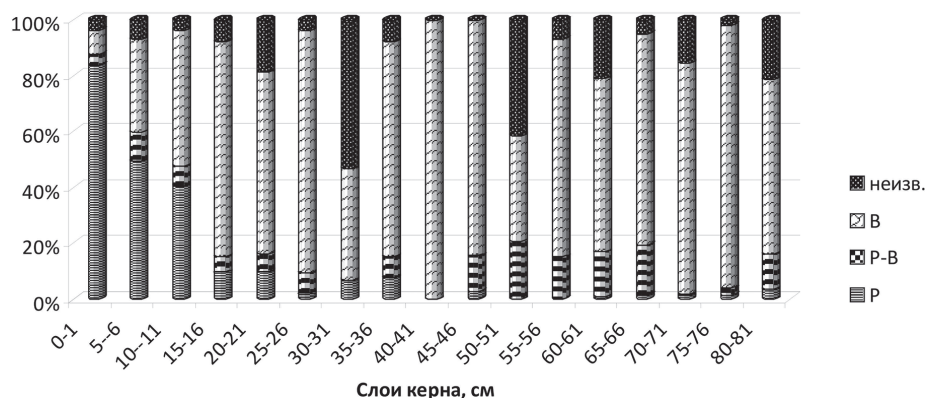


Рис. 9. Доля экологических групп водорослей в общем количестве створок диатомей в донных отложениях озера Манжерокское (расшифровка в тексте)

(65–81 см) оно было равно 1 : 10–19, в средней части (45–46 см) – 1 : 1, в верхней части (0–21 см) – как 1 : 25–60. Стоит отметить, что доля цист в общем количестве кремнистых образований увеличивалась в слоях, где были более значимы донные диатомеи.

Таким образом, анализируя данные по составу и количеству диатомовых водорослей в различных слоях керна донных отложений озера Манжерокское, можно отметить, что на изученном отрезке керна происходили сукцессии как отдельных видов диатомей, так и диатомоценозов озера в целом, свидетельствующие о существовании мелководного водоема во время накопления нижней трети озерного керна, резкого обводнения озера при накоплении средней части керна и постепенного снижения обводненности озера при отложении верхней части озерных осадков. Именно мелководные водоемы более подвержены быстрой смене альгоценозов в процессе естественной эволюции водоема и под действием колебаний уровня озерных вод. В мелководном Манжерокском озере с течением времени условия менялись, вероятно, более кардинально, чем в глубоководном Телецком озере, что нашло отражение в развитии диатомоценозов озера.

Результаты спорово-пыльцевого анализа

Данные спорово-пыльцевого анализа представлены в виде процентной диаграммы, в которой проценты высчитывались от суммы всей пыльцы и спор за вычетом локальных компонентов Bryales, Carex, пыльцы водных растений и непыльцевых палиноморф (рис. 10). С помощью кластерного анализа, встроенного в графическую программу Tilia 2 [Grimm, 1994], спорово-пыльцевая диаграмма озера Манжерокского была разделена на четыре спорово-пыльцевые зоны. Описание пыльцевых зон

приводится от нижней части озерного керна к его верхним слоям.

1. *Спорово-пыльцевая зона 1 (80–47 см) – Betula.* В спорово-пыльцевых спектрах этой зоны доминирует пыльца березы (*Betula pendula* Roth) при малом обилии пыльцы сосны лесной (*Pinus sylvestris* L.), составляющей от 10 до 17 %, и кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) – 4–7 %. Пыльца обоих видов сосен содержится в спектрах этой зоны в количествах, характерных для дальнего переноса. Для этой пыльцевой зоны отмечено повышенное обилие пыльцы полыни (*Artemisia*) (8,6–13 %) и высокое видовое разнообразие пыльцы травянистых растений (30 типов). Постоянно присутствует в спектрах пыльца погруженно-водных и прибрежно-водных растений.

2. *Спорово-пыльцевая зона 2 (47–23 см) – Pinus.* Данная спорово-пыльцевая зона выделяется по резкому возрастанию обилия пыльцы сосны и кедра (26–40 % и 4–16 % соответственно) при снижении участия пыльцы березы. Характерным является заметное снижение обилия пыльцы растений ксерофитного комплекса (*Artemisia* и *Chenopodiaceae*). Среди локальных компонентов спорово-пыльцевого спектра в верхней части пыльцевой зоны резко повышается обилие пыльцы и спор болотных растений: *Carex*, *Equisetum*, Bryales. Отличительным признаком этой пыльцевой зоны является также повышенное обилие микрогольков и пыльцы растений рудерально-сорного комплекса: *Triticum*, *Secale*, *Cannabis*, *Urtica*. По сравнению с предыдущей пыльцевой зоной видовое разнообразие пыльцы травянистых растений в этой зоне снижается до 18 типов.

3. *Спорово-пыльцевая зона 3 (23–13 см) – Betula – Pinus.* Спорово-пыльцевая зона отличается новым увеличением обилия пыльцы березы и снижением обилия пыльцы сосен. Заметно уменьшается обилие пыльцы

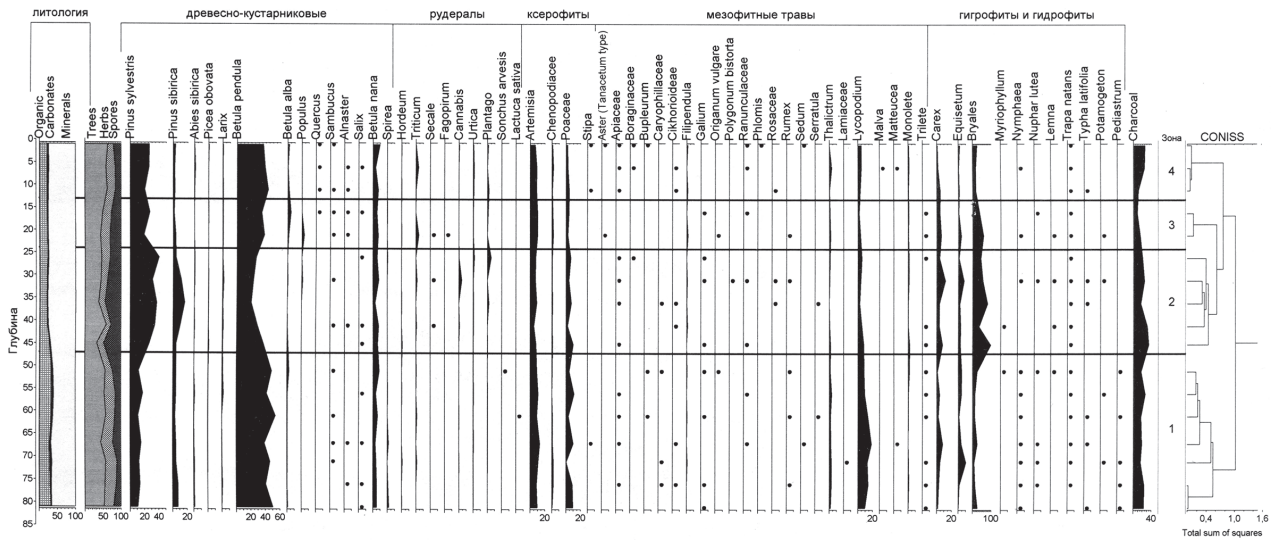


Рис. 10. Спорово-пыльцевая диаграмма 80 см керн озерных отложений озера Манжерокское Республики Алтай

кедра. Однако следует заметить, что хотя обилие пыльцы сосны лесной в этой зоне ниже, чем в предыдущей пыльцевой зоне, но все же больше, чем в пыльцевой зоне 1. Вновь возрастает обилие пыльцы ксерофитного комплекса – *Artemisia* и *Chenopodiaceae*. Больше становится видовое разнообразие пыльцы травянистых растений (30 типов). Из рудерально-сорного комплекса присутствует пыльца *Hordeum*, *Triticum*, *Secale*, *Fagopirum*, *Urtica*, *Plantago*. Резко снижается обилие пыльцы и спор водно-болотного комплекса: *Carex*, *Equisetum*, *Bryales*. Присутствует пыльца реликтового водного ореха (*Trapa natans*).

4. Спорово-пыльцевая зона 4 (13–0 см). Заключительная спорово-пыльцевая зона по составу региональных компонентов спектра практически идентична спорово-пыльцевой зоне 2, но выделяется кластерным анализом, вероятно, по резкому снижению обилия локального компонента, представленного группой *Bryales*. Также в поверхностном слое озерных отложений увеличивается обилие микрогольков.

Комплексная реконструкция палеоэкологических изменений озера Манжерокское и его окрестностей за последнее тысячелетие

Оценивая весь комплекс полученной палеоэкологической информации по верхнему 80-см слою донных отложений озера Манжерокское, мы реконструировали фазы развития растительности (на основе выделенных спорово-пыльцевых зон) в окрестностях указанного водоема и изменения локальных озерных условий (по диатомовым комплексам и локальным

компонентам спорово-пыльцевых спектров), а также геохимические процессы, происходившие на водосборном бассейне озера под воздействием антропогенного или климатического факторов (см. рис. 7, 10). Содержание химических элементов в донных отложениях озера Манжерокское приведено в таблице 2. На поступление тяжелых металлов в донные отложения водоемов значительное влияние оказывают окислительно-восстановительные условия (в первую очередь концентрация кислорода), величины pH, температура воды, концентрация органических и неорганических комплексообразователей, а также микробиологические процессы трансформации соединений элементов. Следует отметить, что определяющее влияние на концентрацию тяжелых металлов в донных отложениях оказывают pH условия [Папина, 2001]. Подкисление водоема может инициировать перераспределение металлов с поверхности частиц твердого вещества донных отложений или взвешенных веществ в водную толщу. Предложенная реконструкция величины pH (см. рис. 8) коррелирует с изменением концентраций металлов в донных отложениях Манжерокского озера. Максимальные концентрации металлов (Cu, Mn, Ni, Zn, Th) определены в слоях 35–36 и 40–41 см донных отложений, здесь же установлены более высокие значения величины pH. С понижением кислотности (уменьшение значений pH) происходит переход растворенных форм металлов из донных отложений в поровый раствор, а затем в водную толщу. Проведенные расчеты показали, что существует корреляционная зависимость концентрации металлов (Cu, Mn, Fe, Ni, Th, Zn) в донных отложениях озера Манжерокское с величиной pH,

Таблица 2. Содержание химических элементов в донных отложениях озера Манжерокское

Глубина	Элем.	Cu	Mn	Fe	Ni	Cd	Pb	Zn
		мкг/г	мкг/г	мкг/г	мкг/г	мкг/г	мкг/г	мкг/г
0–1		81,9	224	39003	61,5	0,64	20,1	149
5–6		91,3	229	46983	74,6	0,64	28,1	149
10–11		96,2	222	45668	69,3	0,55	20,5	149
15–16		99,1	207	48915	71,5	0,46	21,9	150
20–21		98,7	214	46673	61,8	0,31	19	142
25–26		106	223	48022	72,5	0,3	28,5	148
30–31		105	216	46763	73,5	0,27	10,3	145
35–36		124	228	46858	81,2	0,38	23,2	163
40–41		115	216	43568	74,7	0,36	7,99	142
44–45		99,9	199	42245	73,3	0,25	16,6	135
50–51		82,5	155	34235	65,5	0,19	9,12	109
55–56		83,5	150	35601	61,7	0,23	4,83	115
60–61		91,8	157	39544	65,8	0,22	13,2	121
65–66		100	169	40217	70,6	0,23	13,7	124
70–71		86,3	164	35427	57,2	0,23	9,66	113
75–76		96,7	160	37260	60,8	0,2	13	121
80–81		86,2	151	31070	53,2	0,22	9,62	103

коэффициент корреляции варьирует от 0,75 до 0,93, исключение составляют Pb, Cd и U. Наиболее активным, непосредственно участвующим в обменных процессах с поровой и придонной водой, является верхний слой донных отложений (0–10 см). В зависимости от гидрологических сезонов в нем могут превалировать либо окислительные ($Eh \geq -100$ мВ), либо восстановительные ($Eh \leq -100$ мВ) условия, которые определяют формы нахождения и содержания тяжелых металлов. В донных отложениях при анаэробных условиях вследствие процессов сульфат-редукции сероводорода происходит накопление сульфидов металлов. Сульфиды металлов Pb и Cd (халькофильные металлы) относятся к плохо растворимым в воде веществам и могут накапливаться в верхних слоях донных отложений. Наиболее высокие концентрации Pb в верхних слоях донных отложений озер связывают с образованием комплексных соединений с органическим веществом, окислами Fe и карбонатами [Koretsky et al., 2006].

1. Фаза березовой лесостепи (пыльцевая зона 1). В окрестностях озера Манжерокское существовала березовая лесостепь с польнейю и богатым разнотравьем. Сосна в ближайшем окружении озера не произрастала. Теплый и сухой климат, вероятно, способствовал понижению уровня озерных вод и эвтрофикации озера. О сокращении водного зеркала озера могут свидетельствовать обильные остатки болотного мха *Drepanocladus sentnerii*, обнаруженные в этой части озерного керна (табл. 1). Вероятно, они могли быть занесены в озеро от расширившихся болотистых окраин. В теплой и мелкой воде разрастались погруженные

и полупогруженные водные растения – гидрофиты (*Myriophyllum*, *Nymphaea*, *Nuphar lutea*, *Trapa natans*, *Potamogeton*, *Lemna*). Обмеление и закисление водоема стимулировало развитие в нем бентосных видов диатомей: *Eunotia diodon* и *E. formica*. Содержание исследуемого ряда химических элементов (Mn, Fe, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) в донных отложениях озера Манжерокское в эту фазу было значительно ниже, чем в более поздних фазах развития озера (табл. 2).

Судя по всему, в фазу березовой лесостепи озеро Манжерокское представляло собой эвтрофный мелководный водоем, меньший по площади, чем современное озеро, с обильной водной растительностью и диатомовыми комплексами, в которых доминировали бентосные формы. Водоем имел признаки естественной acidификации. Климат, вероятно, был теплее и суше современного. Эта фаза в развитии ландшафта и озера, скорее всего, предшествовала промышленной революции, что обусловило низкое содержание исследованных химических элементов в озерных отложениях.

2. Фаза березово-сосновых лесов (пыльцевая зона 2). В окрестностях озера Манжерокское появляются сосновые леса, а на более высоких гипсометрических уровнях гор распространяется кедр. В травяно-моховом покрове окружающих озеро лесов стало больше зеленых мхов. Палинологические данные указывают на то, что климат предгорий Алтая стал более влажным. Это подтверждается также независимыми данными диатомового анализа и химического анализа донных осадков этого интервала времени. Данная фаза началась резким увеличением обводненности озера за

счет усилившегося поверхностно-сточного питания, вероятно, вследствие увеличения количества годовых осадков. На это указывает доминирование бентосных видов диатомей, максимальные значения pH и всплеск содержания всех изученных химических элементов и микроугольков, приходящийся на этот период. Сапропелевые отложения предыдущей фазы, насыщенные остатками болотного мха *Drepanocladus sentnerii*, в фазе 2 сменяются гомогенным тонкодисперсным сапропелем (см. табл. 1). Это также указывает на смену болотно-водных растительных группировок более глубоководными аквальными сообществами организмов, сформировавших сапропель фазы 2. Присутствие пыльцы погруженно-водных растений (*Myriophyllum*) и растений глубоководной литорали (*Trapa natans*) говорит о том, что озеро было более полноводным. Резкое повышение глубины озера и интенсивный терригенный снос, вероятно, пагубно сказались на диатомовых комплексах прежде мелководного водоема. В результате резко упало обилие створок диатомовых водорослей. Следует отметить, что данное сокращение видового разнообразия диатомовых комплексов совпадает также с увеличением содержания Mn в донных осадках (см. табл. 2), что подтверждает аналогичную зависимость, выявленную для донных отложений устьевого части р. Лососинки в районе г. Петрозаводска [Рыбаков, Слукровский, 2012; Шелехова и др., 2013]. Кроме того, максимальное содержание Mn в донных осадках этой фазы сочетается с максимальным содержанием Cu, Cd и Zn. Катастрофическая смена диатомоценозов в результате изменения экологических условий началась уже с уровня 50–51 см, когда из них исчезли ацидофильные виды и массово размножились индифференты, и среди них – бентосные виды. В этом же слое отмечено максимальное обилие цист золотистых водорослей. После массовой вспышки обилия *Stauroneis anceps f. gracilis* диатомоценозы озера Манжерокское почти полностью деградировали. Лишь значительно позднее, после завершения фазы увлажнения климата, когда уровень озера и pH воды понизились, в нем сформировались новые диатомоценозы. Интересно, что увеличение содержания в озерных осадках элементов терригенного сноса в Уфимском озере на Южном Урале также сопровождалось отсутствием створок диатомей [Масленникова и др., 2014].

Другие особенности пыльцевых комплексов этой фазы включают присутствие пыльцы ольховника, сорных видов семейства астровых и лабазника. Не исключено, что данная фаза

в развитии ландшафта маркирует начало антропогенного воздействия на ландшафт, поскольку именно в эту фазу увеличивается обилие всех рудеральных видов: *Triticum*, *Secale*, *Cannabis*. Во вторую половину второй фазы формируется полоса эвтрофного осокового болота по берегам озера Манжерокское, на что указывает обилие пыльцы ивы, осоки, спор хвоща и зеленых мхов.

3. Фаза сосново-березовой лесостепи (пыльцевая зона 3). Начало этой фазы ознаменовалось уменьшением увлажненности климата, вследствие чего в горах Алтая сократились площади темнохвойных кедровых лесов, что отразилось на уменьшении обилия дальнезаносной пыльцы кедра до 1,5–4 % в спорово-пыльцевом спектре озера Манжерокское. В окрестностях озера меньшую роль стали играть сосновые леса и увеличилась роль березовой лесостепи. Однако теперь в лесостепной растительности, окружающей озеро Манжерокское, кроме березы присутствует и сосна лесная. Открытые пространства заняты полынно-разнотравной растительностью и сельскохозяйственными угодьями, на которых выращивают пшеницу, овес и гречиху (судя по составу найденной пыльцы). Вероятно, в течение этой фазы уровень воды в озере Манжерокском снизился относительно предыдущей фазы. Постепенная аридизация климата привела к резкому сокращению ранее обильного мохового покрова в лесах.

4. Заключительная фаза сосново-березовой антропогенно измененной лесостепи (пыльцевая зона 4). Уровень воды в озере Манжерокском повысился по сравнению с предыдущей фазой. Вследствие этого затопляется прибрежная болотная растительность, на что указывает сокращение обилия пыльцы осок, спор хвоща и зеленых мхов. Меньше становится в озере погруженно-водных растений *Trapa natans* и *Potamogeton*. Во флоре диатомовых комплексов озера Манжерокское доминирование бентосного вида *Eunotia diodon* сменяется доминированием планктонных видов *Aulacoseira italica*, *Cyclotella pseudostelligera* и *Cyclotella sp.* Для этой фазы характерны наиболее высокие концентрации Pb и Cd в колонке донных отложений Манжерокского озера, что может быть связано частично с образованием комплексных соединений с органическим веществом, окислами Fe и карбонатами в придонном слое воды, а частично – с антропогенным загрязнением. Как и в фазе 2, в заключительной фазе повышено содержание Mn, но в данном случае это не сочетается с падением видового разнообразия и обилия диатомовых

комплексов. Вероятно, резкое сокращение диатомоценозов (по видовому разнообразию и количеству створок) во время фазы 2 было связано не непосредственно с ингибирующим действием повышенного содержания Mn в осадках, а с действием комплекса гидрохимических факторов.

Выводы

1. Анализ данных по изменению видового состава и количества диатомовых комплексов в верхнем 80-см слое (керне) озерного сапропеля озера Манжерокское показал, что за время накопления данного слоя отложений происходили сукцессионные смены как отдельных видов диатомей, так и диатомоценозов озера в целом, свидетельствующие о существовании мелководного водоема во время отложения нижней трети озерного керна, резкого обводнения озера при накоплении средней части керна, постепенного снижения обводненности озера в верхней части озерных осадков и с новым подъемом воды в последние десятилетия.

2. Экологический анализ всех выявленных таксонов диатомовых водорослей в изученном слое сапропеля показал, что из видов с известными характеристиками в нем преобладают бентосные бореальные алкалофильные галофобные виды стоячих вод, что характерно для мелководных стоячих небольших по площади пресных озер, к которым и относится озеро Манжерокское. При этом среди них всегда преобладали индикаторы умеренно загрязненных и чистых вод.

3. Количество створок диатомей в исследованных слоях донных отложений озера изменялось в значительных пределах – от 0,08 до 74,88 млн ств./г. Почти полное выпадение диатомовых комплексов в слоях средней части керна свидетельствует о кардинальной смене экологических условий в водоеме в период накопления сапропеля этого уровня. Дополнительные индикаторы (возрастание обилия пыльцы мезофитного кедра и сокращение обилия пыльцы ксерофитных степных растений, и в частности полыни, увеличение содержания в донных осадках элементов терригенного сноса, исчезновение макроостатков болотного мха в сапропеле) указывают на резкое повышение уровня вод озера Манжерокское, вероятно, в результате увлажнения климата в период накопления слоя с глубины 31–41 см.

4. Реконструкция изменений pH по индикаторным видам диатомей показала, что за время накопления 80-см слоя сапропеля величина pH варьировала в пределах 6,09–6,96,

соответствуя слабокислой среде. Наблюдается постепенное увеличение величины pH от основания керна к поверхности с выраженным увеличением pH в средней части керна. Для Телецкого озера величина pH за последние 2000 лет изменялась в интервале 7,51–7,69, соответствуя слабощелочной среде. Сравнение динамик pH двух озер указывает на то, что в мелководном Манжерокском озере с течением времени условия менялись более кардинально, чем в глубоководном Телецком озере.

5. Резкое сокращение видового разнообразия диатомоценозов и их обилия во время более влажной фазы 2 было вызвано действием комплекса гидрохимических факторов.

6. Данные изменения локальных условий озера хорошо согласуются с изменением региональной увлажненности климата, выразившейся в сукцессиях суходольной растительности от березовой лесостепи к сосновым и кедровым лесам и затем к современной березово-сосновой антропогенно измененной лесостепи и в появлении пыльцы видов рудерального комплекса. Выявленная динамика растительности, климата и геохимии ландшафта исследуемого района несомненно отражает определенную периодичность в степени увлажнения западных предгорий и низкогорий Алтая. Ожидаемые радиоуглеродные датировки, а также детализация палеоэкологических и геохимических данных позволят установить точную хронологию выявленных рубежей и более детальную картину биогеохимических процессов, имевших место на западных предгорьях Алтая в последние тысячелетия и столетия нашей эры. За отсутствием таковых в настоящий момент мы можем лишь предположительно датировать 80-см керн донных отложений Манжерокского озера возрастом в 1000 лет по аналогии с датированными отложениями озера Дикое, расположенного в аналогичных низкогорных условиях восточных предгорий Кузнецкого Алатау [Бляхарчук, 2012]. В озере Дикое донные отложения с глубины 146 см (72 см + 74 см верхних полужидких осадков) имели возраст 2190 ± 70 лет, согласно АМС датировке, полученной в радиоуглеродной лаборатории университета Джорджии (США).

Авторы выражают глубокую благодарность Т. С. Папиной и П. А. Бляхарчуку за помощь в проведении полевых работ по бурению отложений озера Манжерокское, В. Н. Удачину за выполнение ряда геохимических анализов образцов, а также анонимному рецензенту за ценные замечания и советы по улучшению статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 13-04-00984а и 14-04-10054/к, а также средств в рамках гранта Постановления Правительства Российской Федерации № 220 от 09 апреля 2010 г. по договору с Министерством образования и науки Российской Федерации № 14. В25.31.0001 от 24 июня 2013 г. (BIO-GEO-CLIM).

Литература

- Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. 498 с.
- Бляхарчук Т. А. Реконструкция лесной и высокогорно-степной растительности юго-западной части Тувы с позднеледниковья до современности // География и природные ресурсы. 2008. № 1. С. 89–96.
- Бобров А. Е., Куприянова Л. А., Литвинцева М. В., Тарасевич В. Ф. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1983. 207 с.
- Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемой пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географиздат, 1948. 228 с.
- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). СПб.: Наука, 1992. Т. II, вып. 2. 125 с.
- Ильин В. В. Флора и растительность Манжерокского озера (Алтай) // Бот. журн. 1982. Т. 67, № 2. С. 210–220.
- Забелина М. М., Киселев И. А., Прошкина-Лавренко А. И. и др. Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Советская наука, 1951. Вып. 4. 620 с.
- Красноборов И. М. и др. Определитель растений Республики Алтай. Новосибирск: СО РАН, 2012. 640 с.
- Куликовский М. С. История изучения флор диатомовых водорослей в сфагновых болотах России и некоторых сопредельных государств // Новости систематики низших растений. 2008. № 42. С. 36–54.
- Куминова А. В. Растительный покров Алтая / Отв. ред. В. В. Ревердатто. Новосибирск: Сиб. отд. АН СССР, 1960. 449 с.
- Куприянова Л. А. Палинология сережкоцветных. Л.: Наука, 1965. 215 с.
- Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца и споры растений флоры Европейской части СССР. Л.: Наука, 1972. Т. 1. 170 с.
- Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. Л.: Наука, 1978. 184 с.
- Курбатова С. А., Лаптева Н. А., Ершов И. Ю., Борисовская Е. В. Средообразующая роль гидрофитов в развитии и функционировании планктонных сообществ // Тр. Карельского НЦ РАН. 2013. № 3. С. 119–128.
- Масленникова А. В., Удачин В. Н., Дерягин В. В. Палеоэкология и геохимия озерной седиментации голоцена Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 136 с.
- Митрофанова Е. Ю. Подледный фитопланктон мелководного Манжерокского озера, Горный Алтай, Россия // Мир науки, культуры и образования. 2009. № 5 (17). С. 16–19.
- Митрофанова Е. Ю., Сутченкова О. С. Диатомовые водоросли в донных отложениях глубокого озера Телецкое (Алтай, Россия) как индикаторы экологических условий в последние 2000 лет // Мир науки, культуры и образования. 2014. № 5 (48). С. 321–326.
- Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Каган Л. Я. Горные озера как индикаторы загрязнения воздуха // Водные ресурсы. 1997. Т. 23, № 5. С. 669–682.
- Огуреева Г. Н. Ботаническая география Алтая. М.: Наука, 1980. 188 с.
- Папина Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения водных экосистем: анализ. обзор. Новосибирск: Наука, 2001. 58 с.
- Рыбаков Д. С., Слуковский З. И. Геохимические особенности загрязнения донных осадков зарегулированной городской реки // Учен. зап. ПетрГУ, сер. Естеств. и техн. науки. 2012. № 4 (125). С. 67–73.
- Селедцов Н. Г. Айское, Манжерокское и Тенгинское озера Горного Алтая // Изв. Алт. отд. геогр. об-ва СССР. 1963. Вып. 2. С. 54–73.
- Смагин В. Н., Ильинская С. А., Назимов Д. И. и др. Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. 336 с.
- Цимбалей Ю. М. Экологические проблемы рекреационного освоения Манжерокского озера (Северный Алтай) // Мир науки, культуры, образования. 2008. № 2 (9). С. 22–26.
- Чернова Г. М., Михайлов Н. Н., Денисенко В. П., Козырева М. Г. Некоторые вопросы палеогеографии голоцена юго-западного Алтая // Изв. всесоюзного геогр. общ. 1991. Т. 123, вып. 2. С. 140–146.
- Шелехова Т. С., Рыбаков Д. С., Слуковский З. И. Оценка состояния водных экосистем в условиях урбанизации по диатомовым комплексам и концентрации химических элементов в донных осадках // Водные объекты города Петрозаводска. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 59–66.
- Эбель А. Л. Конспект флоры северо-западной части Алтае-Саянской провинции. Кемерово: КРЭОО Ирбис, 2012. 568 с.
- Andreev A. A., Pierau R., Kalugin I. et al. Environmental changes in the northern Altai during the last millennium documented in Lake Teletskoye pollen record // Quaternary Research. 2007. No 67. P. 394–399.
- Blyakharchuk T. A., Wright H., Borodavko P. S. et al. Late Glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia // Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology. 2004. No 209. P. 259–279.
- Blyakharchuk T. A., Wright H., Borodavko P. S. et al. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia) // Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology. 2007, No 245. P. 518–534.
- Blyakharchuk T. A., Wright H., Borodavko P. S. et al. The role of pingos in the development of the Dzungarskol lake-pingo complex, central Altai Mountains, south-

ern Siberia // *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 2008, No 257. P. 404–420.

Hartley B. B., Barber H. G., Carter J. R. An Atlas of British Diatoms // Biopress Ltd., 1996. 601 p.

Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // *Journal of Paleolimnology*. 2001, No 25. P. 101–110.

Grimm E. Tilia. TGView Version 2.0.2. Illinois State Museum Research and Collections Center, Springfield IL. 2004.

Koretsky C. M., Haas J. R., Miller D., Ndenga N. T. Seasonal variations in pore water and sediment geochemistry of littoral lake sediments (Asylum Lake, MI, USA). *Geochemical Transactions*, 2006. P. 7–11.

Mason I. M., Guzkoeska M. A., Rapley C. G. The response of lake levels and areas to climatic change // *Climate Change*. 1994, No 27. P. 161–197.

Moore P. D., Webb J. A., Collinson M. E. Pollen analysis. Second edition. London: Blackwell Science Ltd, 1997. 217 p.

Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord // Vfrseille Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, 1995. 327 p.

References

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushchei sredy [Biodiversity of algal environmental indicators]. Tel'-Aviv: PiliesStudio, 2006. 498 p.

Blyakharchuk T. A. Rekonstruktsiya lesnoi i vysokogorno-stepnoi rastitel'nosti yugo-zapadnoi chasti Tuvy s pozdnelednikov'ya do sovremennosti [Reconstructing the vegetation of forest and alpine-steppe landscapes in the southwestern part of Tuva since the Late Glacial period till the present]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources]. 2008. No 1. P. 89–96.

Bobrov A. E., Kupriyanova L. A., Litvintseva M. V., Tarasevich V. F. Spory paprotnikoobraznykh i pyl'tsa golosemennykh i odnodol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR [Spores of pteridophytes and pollen of gymnosperms and monocotyledons from the flora of the European part of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1983. 207 p.

Chernova G. M., Mikhailov N. N., Denisenko V. P., Kozyreva M. G. Nekotorye voprosy paleogeografii golotsena yugo-zapadnogo Altaya [Some questions of the Holocene paleogeography of southwestern Altai]. *Izv. vsesoyuznogo geogr. obshch.* [Proc. All-Union Geogr. Soc.]. 1991. Vol. 123, iss. 2. P. 140–146.

Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennye) [Diatoms of the USSR (fossil and recent)]. St. Petersburg: Nauka, 1992. Vol. II, iss. 2. 125 p.

Ebel' A. L. Konspekt flory severo-zapadnoi chasti Altae-Sayanskoi provintsi [Synopsis of flora of the northwestern part of the Altai-Sayan province]. Kemerovo: KREOO Irbis, 2012. 568 p.

Grichuk V. P., Zaklinskaya E. D. Analiz iskopaemoi pyl'tsy i spor i ego primenenie v paleogeografii [Analysis of fossil pollen and spores and its application in paleogeography]. Moscow: Geografizdat, 1948. 228 p.

Renberg J., Hellberg T. The pH history of lakes in south-western Sweden, as calculated from the subfossil diatom flora of the sediments // *AMBIO*. 1982. Vol. 11. P. 30–33.

Schlutz F., Lehmkuhl F. Climatic change in the Russian Altai, southern Siberia, based on palynological and geomorphological results, with implications for climatic teleconnections and human history since the middle Holocene // *Veget' Hist Archeobot*. 2007. No 16. P. 101–118.

Stefkova E. Diatom species composition in the sediment core of Plesne Lake (Bohemian Forest, Czech Republic) // *Silva Gabreta*. 2008. Vol. 14 (2). P. 73–84.

Westover K. S., Fritz S. C., Blyakharchuk T. A., Wright H. E. Diatom Paleolimnological record of the Holocene climatic and environmental change in the Altai Mountains, Siberia // *Journ. of Paleolimnology*. 2006. No 35. P. 519–541.

Wolin J. A., Stone J. R. Diatoms as indicators of water-level change in freshwater lakes // *The diatoms: applications to the environmental and earth sciences*. Cambridge: University Press, 2010. P. 174–185.

Поступила в редакцию 28.04.2015

Il'in V. V. Flora i rastitel'nost' Manzherokskogo ozera (Altai) [Flora and vegetation of Lake Manzherok (Altai)]. *Bot. zhurn.* [Bot. J.]. 1982. Vol. 67, No 2. P. 210–220.

Krasnoborov I. M. et al. Opredelitel' rastenii Respubliki Altai [Key to the plants of the Republic of Altai]. Novosibirsk: SO RAN, 2012. 640 p.

Kulikovskii M. S. Istoriya izucheniya flor diatomovykh vodoroslei v sfagnovykh bolotakh Rossii i nekotorykh sopredel'nykh gosudarstv [History of the study of diatom flora in the sphagnum dominated mires of Russia and some adjacent states]. *Novosti sistematiki nizshikh rastenii* [News of systematics of lower plants]. 2008. No 42. P. 36–54.

Kuminova A. V. Rastitel'nyi pokrov Altaya [Plant cover of the Altai region]. Ed. V. V. Reverdatto. Novosibirsk: Sib. otd. AN SSSR, 1960. 449 p.

Kupriyanova L. A. Palinologiya serezhkotsvetnykh [Palynology of the Amentiferae]. Leningrad: Nauka, 1965. 215 p.

Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. Pyl'tsa i spory rastenii flory Evropeiskoi chasti SSSR [Pollen and spores of plants from the European part of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1972. Vol. 1. 170 p.

Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. Pyl'tsa dvudol'nykh rastenii flory Evropeiskoi chasti SSSR [Pollen of dicotyledonous plants of the European part of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1978. 184 p.

Kurbatova S. A., Lapteva N. A., Ershov I. Yu., Borisovskaya E. V. Sredoobrazuyushchaya rol' gidrofitov v razvitiy i funktsionirovaniy planktonnykh soobshchestv [Environmental role of hydrophytes in development and functioning of planktonic communities]. *Tr. Karelskogo NTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2013. No 3. P. 119–128.

Maslennikova A. V., Udachin V. N., Deryagin V. V. Paleokologiya i geokhimiya ozernoi sedimentatsii

golotsena Urala [Paleoecology and geochemistry of Holocene lake sedimentation in the Urals]. Ekaterinburg: RIO UrO RAN, 2014. 136 p.

Mitrofanova E. Yu. Podlednyi fitoplankton melkovodnogo Manzherokskogo ozera, Gornyi Altai, Rossiya [Under-ice phytoplankton of shallow Lake Manzherokskoye, the Altai Mountains, Russia]. *Mir nauki, kul'tury i obrazovaniya* [The world of science, culture and education]. 2009. No 5 (17). P. 16–19.

Mitrofanova E. Yu., Sutchenkova O. S. Diatomovye vodorosli v donnykh otlozheniyakh glubokogo ozera Teletskoe (Altai, Rossiya) kak indikatory ekologicheskikh uslovii v poslednie 2000 let [Diatom algae in the bottom sediments of Lake Teleskoye (Altai, Russia) as indicators of environmental conditions during the last 2000 years]. *Mir nauki, kul'tury i obrazovaniya* [The world of science, culture and education]. 2014. No 5 (48). P. 321–326.

Moiseenko T. I., Dauval'ter V. A., Kagan L. Ya. Gornyye ozera kak indikatory zagryazneniya vozdukh [Mountain lakes as markers of air pollution]. *Vodnye resursy* [Water resources]. 1997. Vol. 23, No 5. P. 669–682.

Ogureeva G. N. Botanicheskaya geografiya Altaya [Botanical geography of the Altai]. Moscow: Nauka, 1980. 188 p.

Papina T. S. Transport i osobennosti raspredeleniya tyazhelykh metallov v ryadu: voda – vzheshennoe veshchestvo – donnye otlozheniya vodnykh ekosistem: analit. obzor [Transport and peculiarities of heavy metals distribution in the row: water – suspended substance – bottom sediments of aquatic ecosystems. Analyt. rev.]. Novosibirsk: Nauka, 2001. 58 p.

Rybakov D. S., Slukovskii Z. I. Geokhimicheskie osobennosti zagryazneniya donnykh osadkov zaregulirovannoi gorodskoi reki [Geochemical characteristics of contaminated bottom sediments of regulated urban river]. *Uchen. zap. PetrGU*, ser. Estestv. i tekhn. nauki [Proc. PetrSU. Series: Natural and engineering sciences]. 2012. No 4 (125). P. 67–73.

Seledtsov N. G. Aiskoe, Manzherokskoe i Tenginskoe ozera Gornogo Altaya [Aiskoe, Manzherokskoe and Tenginskoe Lakes of the Altai Mountains]. *Izv. Alt. otd. geogr. ob-va SSSR* [Proc. Alt. Br. Geogr. Soc.]. 1963. Iss. 2. P. 54–73.

Smagin V. N., Il'inskaya S. A., Nazimov D. I., Novosel'tsev I. F., Cherednikova Yu. S. Tipy lesov gor Yuzhnoi Sibiri [Forest types of the South Siberia mountains]. Novosibirsk: Nauka, 1980. 336 p.

Tsimbalei Yu. M. Ekologicheskie problemy rekreatsionnogo osvoeniya Manzherokskogo ozera (Severnyi Altai) [Ecological problems of recreation development of Lake Manzheroksk (North Altai)]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya* [The world of science, culture and education]. 2008. No 2 (9). P. 22–26.

Shelekhova T. S., Rybakov D. S., Slukovskii Z. I. Otsenka sostoyaniya vodnykh ekosistem v usloviyakh urbanizatsii po diatomovym kompleksam i kontsentratsii khimicheskikh elementov v donnykh osadkakh [Assessment of urbanized aquatic ecosystems based on diatom complexes and trace element concentrations in bottom sediments]. *Vodnye ob'ekty goroda Petrozavodsk* [Water bodies of Petrozavodsk]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2013. P. 59–66.

Zabelina M. M., Kiselev I. A., Proshkina-Lavrenko A. I. et al. Diatomovye vodorosli. Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR [Diatoms. Key to freshwater algae of the USSR]. Moscow: Sovetskaya nauka, 1951. Iss. 4. 620 p.

Andreev A. A., Pierau R., Kalugin I., Daryin A. V., Smolyaninova L. G., Diekmann B. Environmental changes in the northern Altai during the last millenium documented in Lake Teletskoye pollen record. *Quaternary Research*. 2007, No 67. P. 394–399.

Blyakharchuk T. A., Wright H., Borodavko P. S., van der Knaap W. O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 2004, No 209. P. 259–279.

Blyakharchuk T. A., Wright H., Borodavko P. S., van der Knaap W. O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 2007, No 245. P. 518–534.

Blyakharchuk T. A., Wright H., Borodavko P. S., van der Knaap W. O., Ammann B. The role of pingos in the development of the Dzangyskol lake-pingo complex, central Altai Mountains, southern Siberia. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 2008, No 257. P. 404–420.

Hartley B. B., Barber H. G., Carter J. R. An Atlas of British Diatoms. *Biopress Ltd.*, 1996. 601 p.

Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*. 2001, No 25. P. 101–110.

Grimm E. Tilia. TGView Version 2.0.2. Illinois State Museum Research and Collections Center, Springfield IL. 2004.

Koretsky C. M., Haas J. R., Miller D., Ndenga N. T. Seasonal variations in pore water and sediment geochemistry of littoral lake sediments (Asylum Lake, MI, USA). *Geochemical Transactions*, 2006. P. 7–11.

Mason I. M., Guzkoeska M. A., Rapley C. G. The response of lake levels and areas to climatic change. *Climate Change*. 1994, No 27. P. 161–197.

Moore P. D., Webb J. A., Collinson M. E. Pollen analysis. Second edition. London: Blackwell Science Ltd, 1997. 217 p.

Reille M. Pollen et spores d'europa et d'afrique du nord. *Vfrseille Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie*, 1995. 327 p.

Renberg J., Hellberg T. The pH history of lakes in south-western Sweden, as calculated from the subfossil diatom flora of the sediments. *AMBIO*. 1982. Vol. 11. P. 30–33.

Schlutz F., Lehmkuhl F. Climatic change in the Russian Altai, southern Siberia, based on palynological and geomorphological results, with implications for climatic teleconnections and human history since the middle Holocene. *Veget' Hist Archeobot*. 2007. No 16. P. 101–118.

Stefkova E. Diatom species composition in the sediment core of Plesne Lake (Bohemian Forest, Czech Republic). *Silva Gabreta*. 2008. Vol. 14 (2). P. 73–84.

Westover K. S., Fritz S. C., Blyakharchuk T. A., Wright H. E. Diatom Paleolimnological record of the Holocene climatic and environmental change in the Altai Mountains, Siberia. *Journ. of Paleolimnology*. 2006. No 35. P. 519–541.

Wolin J. A., Stone J. R. Diatoms as indicators of water-level change in freshwater lakes. *The diatoms: applications to the environmental and earth sciences*. Cambridge: University Press, 2010. P. 174–185.

Received April 28, 2015

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Бляхарчук Татьяна Артемьевна

ведущий научный сотрудник, д. б. н.
Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН
Академический пр., 10/3, Томск, Россия, 634055
Национальный исследовательский
Томский государственный университет
пр. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050
эл. почта: tarun5@rambler.ru

Митрофанова Елена Юрьевна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных и экологических проблем
Сибирского отделения РАН
ул. Молодежная, 1, Барнаул, Алтайский край,
Россия, 656038
эл. почта: emit@iwep.ru

Эйрих Алла Николаевна

старший научный сотрудник, к. т. н.
Институт водных и экологических проблем
Сибирского отделения РАН
ул. Молодежная, 1, Барнаул, Алтайский край,
Россия, 656038
эл. почта: tanya.papina@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Blyakharchuk, Tatiana

Institute of monitoring of climatic and ecological systems,
Siberian branch, Russian Academy of Sciences
10/3 Akademicheskoy Pr., 634055 Tomsk, Russia
National Research Tomsk State University
36 Lenin St., 634050 Tomsk, Russia
e-mail: tarun5@rambler.ru

Mitrofanova, Elena

Institute for water and environmental problems,
Siberian branch, Russian Academy of Sciences
1 Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Altai Krai, Russia
e-mail: emit@iwep.ru

Eirikh, Alla

Institute for water and environmental problems,
Siberian branch, Russian Academy of Sciences
1 Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Altai Krai, Russia
e-mail: tanya.papina@mail.ru