

СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕРА ГЛУБОКОГО

Д.И.Соколов¹, О.Н.Ерина¹, М.А.Терёшина¹, Е.Н. Вилимович¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

PRESENTHYDROECOLOGICALREGIMEOFLAKE GLUBOKOE

D.I. Sokolov¹, O.N. Erina¹, M.A. Tereshina¹, E.N. Vilimovich¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Работа посвящена мониторингу озера Глубокое (Московская область) в 2017-2018 гг., включавшему исследование термического режима, содержания кислорода, хлорофилла, биогенных и органических веществ.

The work focuses on the monitoring of Lake Glubokoe (Moscow region) in 2017-2018 including study of temperature regime, content of oxygen, chlorophyll, biogenic and organic substances.

Введение.

Озеро Глубокое расположена на территории одноименного государственного природного заказника в Рузском районе Московской области. Водосбор озера отличается малой антропогенной нарушенностью, что для Московского региона в настоящее время является большой редкостью.

Максимальная длина озера составляет 1200 м, ширина – 850 м, максимальная глубина достигает 32 метров, средняя глубина – 9,3 м. Площадь зеркала составляет 593 тыс. м², объем – около 5,5 млн м³, длина береговой линии – 3414 м. Вода в озеро поступает преимущественно из болот и канав, осадки составляют 74% от общего питания [1].

По термодинамическому режиму оз. Глубокое можно отнести к димиктическому типу. Озеро не имеет притоков, характеризуется малой минерализацией воды и невысокой биологической продуктивностью [2]. Берега Глубокое озера покрыты лесом, сильно заболочены. По происхождению озеро относят к ледниковому [3] или карстовому [4] типу.

Исследования озера начались в конце XIX в. и неразрывно связаны с деятельностью расположенной на его берегу гидробиологической станции имени Н.Ю. Зографа – первой в России, одной из первых и старейшей из действующих в мире. Первые наблюдения за температурой воды озера и гидрохимическими показателями датируются началом XX в. Результаты проводимых на озере исследований публикуются в сборниках «Трудов гидробиологической станции на Глубоком озере», в 2017 г. выпущен их одиннадцатый том [5].

В настоящее время станция является подразделением Института экологии и эволюции имени А.Н. Северцова и под руководством Н.М. Коровчинского продолжает наблюдения за температурным и кислородным режимом озера. Однако подавляющая часть работ на озере Глубоком посвящена всестороннему исследованию его гидробиологического режима; главным объектом для изучения всегда были планктон и прибрежная растительность. Между тем комплексных и систематических гидрологических и гидрохимических наблюдений до последнего времени не проводилось, поэтому гидроэкологический режим озера изучен несоизмеримо хуже по сравнению с его биотой.

Материалы и методы.

Летом 2017 г. авторы организовали на озере Глубоком и осуществляют по сей день мониторинговые наблюдения за динамикой гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик. Столь подробные и регулярные наблюдения на озере реализованы впервые.

Мониторинг проводится с середины июня 2017 г. на рейдовой вертикали в центральной, самой глубоководной (около 30 м) части озера. Летом 2017 г. (июнь-август) наблюдения осуществляли 2 раза в месяц, осенью (сентябрь-октябрь) – 1 раз в месяц; в 2018 г. первый рейд выполнен в период ледостава в конце марта, последующие – с мая по настоящее время в среднем каждые 2 недели. Всего в 2017 г. выполнено 13 рейдов (включая ежесуточные рейды в первую неделю наблюдений), в 2018 г. (по октябрь включительно) – 15 рейдов, отобрано и проанализировано 140 проб воды.

Полевые работы включают измерение температуры и электропроводности воды портативным термокондуктометром YSI Pro 30, содержания растворенного в воде кислорода (O_2) портативным оксиметром YSI Pro ODO с оптическим датчиком, величины pH портативным pH-метром YSI Pro 10, прозрачности воды по диску Секки, а также отбор проб для последующего гидрохимического анализа (из поверхностного, придонного слоя и на трех промежуточных характерных горизонтах в соответствии со стратификацией водной толщи).

В химической лаборатории Красновидовской учебно-научной базы географического факультета МГУ в отобранных пробах определяли содержание взвешенных веществ и оптическую мутность воды (NTU), содержание биогенных элементов (минерального $R_{мин}$ и валового $R_{вал}$ фосфора, нитратов, минерального кремния; с 2018 г. также общего азота), косвенные показатели содержания органических веществ ОВ (химическое потребление кислорода ХПК, цветность ЦВ и перманганатную окисляемость ПО воды), концентрацию сульфатов, хлоридов, фторидов, гидрокарбонатов и карбонатов, а также содержание хлорофилла «а». Дополнительно определяли содержание растворенных форм фосфора в пробах, фильтрованных через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм.

Содержание взвесей измеряли гравиметрическим методом, NTU – нефелометрическим. Содержание форм фосфора определяли фотометрическим методом Морфи-Райли, нитратов – методом ионной хроматографии, кремния – фотометрическим методом в виде желтой формы молибдодокремниевой кислоты. Величину ХПК определяли титриметрическим методом бихроматного окисления, ПО – методом Кубеля в кислой среде, ЦВ и общее содержание азота – фотометрическим методом. Концентрацию сульфатов, хлоридов, фторидов определяли методом ионной хроматографии, гидрокарбонатов и карбонатов – титриметрическим методом, содержание хлорофилла – спектрофотометрическим методом с экстрагированием в ацетоне.

Кроме того, в мае 2018 г. на 9 горизонтах рейдовой вертикали (0,5, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, и 26 м) были установлены логгеры температуры воды НОВО 64К Pendant (два верхних из них снабжены датчиками освещенности), а в августе 2018 г. – логгер PHE Cyclops-7 для измерения содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое (по интенсивности его флуоресценции).

Обсуждение результатов.

По данным рейда 24 марта 2018 г. (в конце периода ледостава) в озере наблюдалась обратная стратификация: температура возрастала с глубиной от 0 °С у нижней границы льда до 2 °С на глубине 2 м и затем плавно до 3,4 °С у дна (рис. 1, а). В летний период водная масса в озере четко разделялась на три термические зоны, сохранившиеся до начала осени. Эпилимнион прогревался от 16-17 °С в мае – начале июня до 25 °С и более в начале августа, его интенсивное охлаждение начиналось в сентябре. Верхняя граница металимниона постепенно заглублялась от 2-3 м в середине мая до 7-8 м в начале осени и 10 м в конце октября. Нижняя граница металимниона заглублялась от 7-9 м в мае – начале июня до 12-14 м в октябре. Гиполимнион характеризовался практически неизменной температурой, составлявшей в 2017-18 гг. 4,7-4,9 °С (рис. 1, а).

Озеро Глубокое характеризуется низкой минерализацией, что обусловлено незначительной долей грунтового питания и отсутствием русловых притоков. В 2017-18 гг. электропроводность воды изменялась от 86 до 99 мкСм/см в основной толще воды и до 121 мкСм/см у дна (рис. 1, б). Минимальная электропроводность в эпилимнионе (86-89 мкСм/см) зафиксирована в мае – начале июня, что связано с опресняющим влиянием талых и дождевых вод, максимальная (92-93 мкСм/см) – в августе при интенсивном испарении и отсутствии атмосферных осадков. В гиполимнионе оба года отмечалось постепенное увеличение электропроводности к концу лета – началу осени до 100 мкСм/см и более (у дна в октябре она достигала 110-120 мкСм/см), что может быть связано с накоплением в глубоководной части озера грунтовых вод.

Содержание O_2 в конце периода ледостава (24 марта 2018 г.) снижалось от 8,9 мг/л (62% насыщения) подо льдом и 5,0-6,5 мг/л (менее 50% нас.) в основной толще воды практически до аналитического нуля у дна (рис. 1, в). Летом концентрация O_2 в эпилимнионе составляла 9,5-11,5 мг/л и более, определяясь прежде всего сочетанием двух основных факторов – температуры воды, влияющей на растворимость газов, и интенсивности продукционных процессов. Все лето (с мая по начало сентября) наблюдалось пересыщение эпилимниона кислородом, в периоды активного «цветения» в августе достигавшее 120-130% и более, причем максимальные концентрации O_2 отмечены на глубине до 4 м, где, очевидно, условия развития

фитопланктонанаиболее благоприятны. К октябрю содержание O_2 в эпилимнионе снижалось до 80-85%.

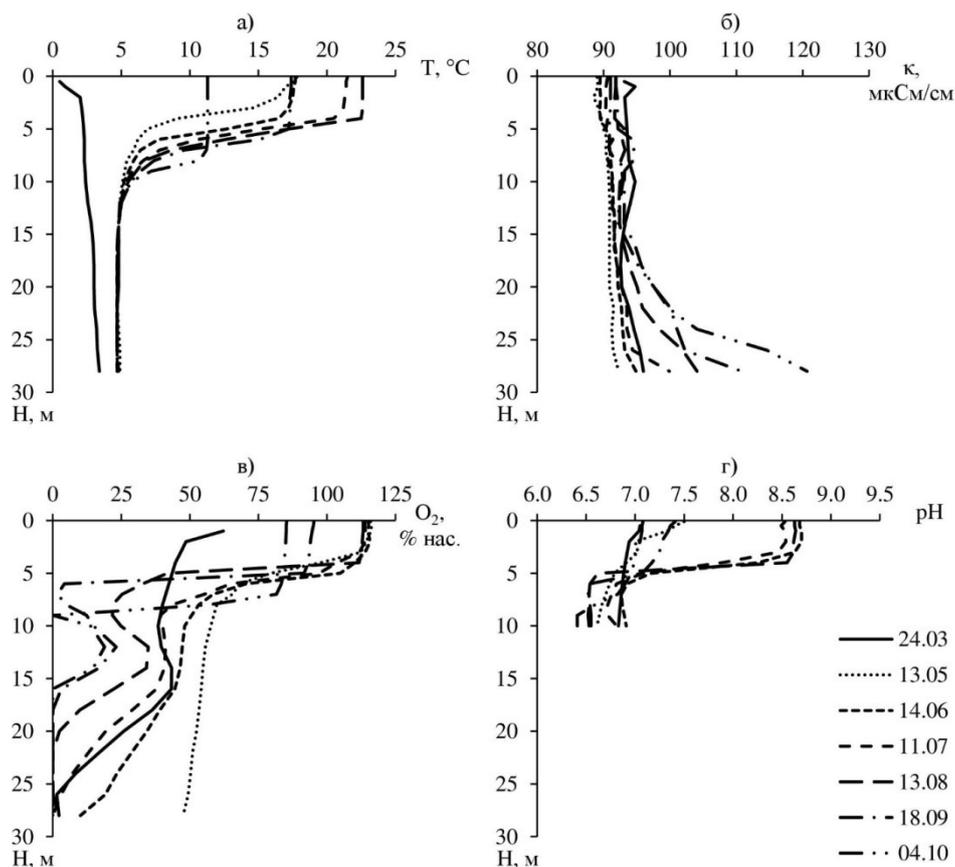


Рис. 1. Изменение температуры воды Т(а), удельной электропроводности κ (б), насыщения воды растворенным кислородом O_2 (в) и величины рН (г) в озере Глубоком в 2018 г.

На верхней границе металимниона, где плотностной скачок служит «жидким дном» для оседающих органических и органоминеральных частичек, на окисление которых расходуется кислород, стабильно наблюдался локальный минимум содержания O_2 (вплоть до полного истощения в октябре 2018 г.). В верхнем слое гиполимниона, куда эпизодическое поступление O_2 возможно при нарушении стратификации (например, в результате интенсивного ветроволнового воздействия) и где темпы его расходования ниже, чем в более глубоких слоях, напротив, отмечался локальный максимум содержания O_2 .

В гиполимнионе происходило постепенное истощение запасов O_2 на протяжении летне-осеннего периода от 6,5-7,5 мг/л (50-60% нас.) в мае до нуля. Формирование аноксидной зоны начиналось в придонных слоях в середине июля – начале августа; к октябрю ее верхняя граница оба года поднималась до горизонта 16 м.

Для озера Глубокого характерна реакция среды от нейтральной до слабощелочной (рис. 1, г). В эпилимнионе по мере интенсификации фотосинтеза происходило увеличение рН от 7,0-7,5 в мае-июне до 8,8-9,2 в июле-августе; осенью величина рН вновь снижалась до 7,0-7,5 в условиях снижения активности фитопланктона и подкисляющего влияния атмосферных осадков. В толще гиполимниона вертикальное распределение рН весьма однородно; в конце зимы 2018 г. величина рН составляла 6,8-6,9, в мае снизилась до 6,5-6,7, в июне возросла до 6,9, затем постепенно снижалась и с августа до октября составляла 6,4-6,7.

Прозрачность воды изменялась в 2017 г. от 2,4 до 4,0 м, в 2018 г. – от 2,5 до 4,9 м. В середине мая 2018 г., когда обычно происходит развитие холодолюбивых видов фитопланктона, прозрачность составила 3,3 м. Максимальная прозрачность оба года зафиксирована в июне, в так называемую фазу «чистой воды», минимальная – в середине августа 2017 г. и в конце июля 2018 г., во время вспышек «цветения» летних групп водорослей (что подтверждается

максимальным за период наблюдений пересыщением воды кислородом и концентрациями хлорофилла «а» в пробах воды из эпилимниона в соответствующие даты).

Величины ПО и ХПК в эпилимнионе составляли соответственно от 9 и 18 мг О/л весной до 10-11 и 24-28 мг О/л летом; повышение ПО и ХПК может быть связано как со смывом аллохтонных ОВ с водосбора дождевым стоком, так и с продуцированием автохтонного ОВ биотой. В гипolimнионе ПО составляло в среднем 8-9 мг О/л, ХПК – 15-20 мг О/л. Вода озера характеризуется низкой цветностью (в среднем 15-20 град), за исключением придонного слоя, где ЦВ возрастала от 18-19 град в начале лета до 40 град и более осенью, что может быть связано с образованием темноокрашенной закиси железа в аноксидной зоне. Мутность воды в эпилимнионе изменялась от 1,5 NTU и менее в мае-июне до 5-10 NTU и более в июле-августе при активном развитии планктона. Основная толща гипolimниона характеризовалась минимальной мутностью (1,0-1,5 NTU), в придонном слое NTU возрастала от 2,0-2,5 в начале лета до 10-15 осенью (что, как и в случае ЦВ, вероятно, связано с развитием аноksии).

Количество $P_{\text{вал}}$ и $P_{\text{мин}}$ (преимущественно в растворенной форме) в эпилимнионе достигало соответственно 20-25 и 3-6 мкг/л весной, в фазу «чистой воды» и осенью, снижаясь при вспышках «цветения» до 15-20 и 1-2 мкг/л и менее вследствие потребления фосфора фитопланктоном (при увеличении доли органического фосфора преимущественно во взвешенном состоянии). В гипolimнионе концентрации $P_{\text{вал}}$ составляли 15-25 мкг/л, $P_{\text{мин}}$ – 2-4 мкг/л, у дна повышаясь к концу лета соответственно до 45 и 25 мкг/л и более, что связано, очевидно, с восстановлением из донных отложений в бескислородных условиях. Содержание кремния в эпилимнионе составляло 0,4-0,7 мг/л, в гипolimнионе – от 0,7-0,9 до 1,1 мг/л у дна. Концентрации общего азота в эпилимнионе возрастали от 0,5-0,6 мг/л в начале лета до 0,6-0,7 мг/л в августе-сентябре, в гипolimнионе увеличиваясь до 1,0 мг/л в придонном слое.

Содержание хлорофилла «а» в эпилимнионе колебалось от 1,5-2,0 мкг/л при неблагоприятных условиях развития фитопланктона (как правило, у поверхности) до 10-15 мкг/л и более в периоды интенсивного «цветения» (как правило, над слоем скачка); в гипolimнионе в среднем составляло 1,5-3,0 мкг/л, временами достигая 3-5 мкг/л и снижаясь у дна до 1 мкг/л и менее летом в фазу «чистой воды» и осенью.

Заключение.

Материалы мониторинга были использованы авторами для калибровки гидроэкологической модели озера Глубокого [6]. Продолжение мониторинга, и прежде всего сбор и анализ уникального массива данных с установленных логгеров, позволит детальнее изучить особенности современного гидрологического и гидрохимического режима озера при формировании, развитии и разрушении стратификации водной толщи в вегетационный период.

Литература

1. Муравейский С.Д. Морфометрия Глубокого озера // Труды Лимнол. станции в Косине, 1931. Вып. 13-14. С. 29-46.
2. Щербаков А.П. Озеро Глубокое. М.: Наука, 1967. 380 с.
3. Шпицмахер И.А. Геоморфологический очерк Глубоко-Истринского участка Московского гос. заповедника (рукопись). Архив биостанции на Глубоком озере. 1947.
4. Борзов А.А. Геоморфологические наблюдения в сопредельных частях Московский, Владимирской и Тверской губерний // Землеведение, 1922. Т. 25, Вып. 3-4.
5. Гидробиологическая станция на Глубоком озере: Труды / Под ред. д.б.н. Н.М. Коровчинского. Т. 11. (Надзаг.: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академия наук). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 206 с.
6. Вилимович Е.А., Ерина О.Н., Терешина М.А., Соколов Д.И., Коровчинский Н.М. Оценка современного гидроэкологического состояния озера Глубокое (Московская область) // Избранные труды Междунар. конф. по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2018. Томск, 2018. С. 201-204.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект 18-35-00691 мол а).

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-35-00691 mol a).