РЕЖИМ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В РАЗНОТИПНЫХ ОЗЁРАХ ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Д.И. Соколов[1], О.Н. Ерина[1], М.А. Терёшина[1], Е.Н. Вилимович[1], Л.Е. Ефимова[1]
[1]МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ORGANIC MATTER REGIME IN DIVERCE LAKES OF PROTECTED NATURAL AREAS

D.I. Sokolov[1], O.N. Erina[1], M.A. Tereshina[1], E.N. Vilimovich[1], L.E. Efimova[1]
[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Описан современный режим содержания органических веществ в озере Глубоком одноименного природного заказника Московской области и двух озерах Керженского природного заповедника Нижегородской области.

The modern regime of organic matter content in Glubokoye lake of the eponymous nature reserve in the Moscow region and two lakes of the Kerzhensky nature reserve in the Nizhny Novgorod region is described.

Введение

В настоящее время чрезвычайно сложно отделить воздействие природных факторов формирования гидроэкологического состояния водоемов от техногенных, так как процент водных объектов, чьи экосистемы не были трансформированы в результате человеческой деятельности, невелик и продолжает стремительно уменьшаться (особенно в Московском регионе). Тем больший интерес представляют исследования подобных водоемов. Статья посвящена трем разнотипным озерам Московской и Нижегородской области, водосборы которых отличаются малой антропогенной нарушенностью.

Озеро Глубокое расположено на территории одноименного государственного природного заказника в Рузском районе Московской области. Длина озера составляет 1200 м, ширина – 850 м, максимальная глубина 32 метров, средняя – 9,3 м. Площадь зеркала составляет около 60 га. Озеро не имеет притоков (74% от общего питания составляют осадки [1]), характеризуется малой минерализацией воды и невысокой биологической продуктивностью [2]. По происхождению озеро относят к ледниковому [3] или карстовому [4] типу.

Озера Нижнее Рустайское и Круглое – небольшие озера в пойме р. Керженец на территории Керженского биосферного заповедника Нижегородской области. Эти водоемы можно считать репрезентативными для достаточно специфичных гидролого-гидрохимических условий центральной части ЕТР, характеризующихся высоким содержанием железистых соединений и органического вещества (ОВ) [5]. Старичное Нижнее Рустайское озеро, расположенное ближе к руслу р. Керженец – узкое (средняя ширина около 20 м, максимальная 25 м), сильно вытянутое в плане (длина более 440 м) неглубокое (средняя глубина 1,5 м, максимальная 5,5 м), площадью 0,84 га. Оз. Нижнее Рустайское и получает больше ОВ из реки.

Круглое озеро площадью 1,04 га имеет длину 175 м, максимальную ширину 90 м, среднюю – около 60 м и морфологически разделено на два плеса: больший глубоководный (более 8,5 м) и меньший мелководный (до 2 м). Оз. Круглое гидравлически связывается с р. Керженцец только при максимальных уровнях воды в реке и более ограничено во внешнем притоке ОВ, но при этом характеризуется намного более высоким содержанием трудноокисляемых ОВ и недостатком кислорода, необходимого для его окисления [6].

Материалы и методы

С весны 2017 г. (на регулярной основе – с весны 2018 г.) по настоящее время авторы проводят параллельные комплексные исследования гидроэкологического режима указанных озер. Полевые работы включают измерение температуры, электропроводности воды, содержания растворенного кислорода, величины pH портативными приборами YSI (ProSolo, Pro30, ProODO, Pro10), прозрачности воды по диску Секки, а также отбор проб с 3-6 характерных горизонтов (в соответствии с характером стратификации водной толщи) для последующего гидрохимического анализа.

Мониторинг на оз. Глубоком производится со средней частотой 2 раза в месяц (в период открытой воды до 4 раз в месяц, в зимние месяцы реже, но не менее 1 раза в месяц). На Керженских озерах с мая по октябрь наблюдения проводили каждый месяц, зимой – однократно (в феврале 2019 г.).

Отобранные пробы анализировали в химической лаборатории Красновидовской учебно-научной базы географического факультета МГУ. Наряду с содержанием основных ионов, биогенных веществ, оптической и весовой мутностью, концентрацией хлорофилла, в них определяли косвенные показатели содержания ОВ: цветность воды ЦВ (фотометрическим методом), химическое потребление кислорода ХПК (титриметрическим методом бихроматного окисления) и перманганатную окисляемость ПО (методом Кубеля в кислой среде). Дополнительно определяли содержание растворенных форм ОВ в пробах, фильтрованных через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм.

Массовое содержание ОВ в озерных водах (в пересчете на органический углерод $C_{орг}$) вычисляли по величине ХПК (как наиболее близкой к теоретическому полному потреблению кислорода на химическое окисление ОВ) с использованием общепринятого коэффициента 0,375 (отношения количества вещества – эквивалента углерода к количеству вещества – эквивалента кислорода).

Обсуждение результатов

Берега Глубокого озера покрыты лесом, заболочены. Русловой сток в озеро отсутствует, вода с водосбора поступает преимущественно из болот и канав. Однако мелиоративные мероприятия на водосборе в 1970-х гг. позволили заметно снизить смыв с водосбора аллохтонных гумусовых ОВ, что привело к существенному снижению ЦВ в озере. В настоящее время величина ЦВ в оз. Глубоком составляет в среднем 20 град, изменяясь в течение года в пределах 12-30 град во всей водной толще за исключением придонных слоёв, где к концу периода летней стратификации ЦВ все три года возрастала до 40-80 град (рис. 1, а). Это может быть связано с образованием темноокрашенной закиси железа в аноксидной зоне, которая начинает формироваться в придонных слоях в середине июля – начале августа, а к октябрю ее верхняя граница поднимается до горизонта 16 м. В поверхностных слоях (а при активном конвективном перемешивании – и на большей глубине) ЦВ повышается при интенсификации смыва аллохтонных ОВ с талыми и дождевыми водами.

Керженский заповедник – единственный район Нижегородской области, где в естественном состоянии сохранились крупные торфяные болота, что предопределяет значительную роль в формировании химического состава озерных вод ОВ гумусового происхождения [7]. Кроме того, для большинства озер данной географической зоны величина ЦВ в намного большей степени, чем для оз. Глубокого, обусловлена присутствием в воде не только ОВ, но и соединений железа, содержание которого максимально в природных слоях. Однако режим содержания ОВ в рассматриваемых керженских озерах существенно различается, что связано прежде всего с характером гидравлической связи с рекой.

В оз. Нижнем Рустайском ЦВ изменяется в схожих пределах (20-40 град), однако максимальные значения ЦВ (до наблюдаются в поверхностном слое (рис. 1, б). Во-первых, в период весеннего половодья благодаря устойчивой гидравлической связи с р. Керженец озеро питается высокоцветными речными водами, богатыми аллохтонными ОВ, причем эти воды распространяются по продольной оси старичного озера преимущественно в поверхностных слоях. Во-вторых, оз. Нижнее Рустайское относительно мелководно, и, хотя в нем также успевает сформироваться зона гипоксии в периоды и летней, и зимней стратификации, однако столь острой аноксии, как в глубоководном оз. Глубоком, и восстановительных условий, приводящих к образованию темноокрашенных соединений железа в придонных слоях, здесь все же не формируется.

Озеро Круглое характеризуется гораздо более высокоцветными водами: от 80-120 град у поверхности до 300 град и более у дна (рис. 1, в). Крайне устойчивая стратификация оз. Круглого приводит к тому, что озеро почти не перемешивается до дна, в результате чего формируется обширная зона аноксии, иногда сохраняющаяся даже тогда, когда на других озерах региона наблюдается гомотермия. При этом происходит, во-первых, накопление ОВ (в том числе окрашенного), поскольку на его окисление нет кислорода, и, во-вторых, восстановление железа до темноокрашенных форм.

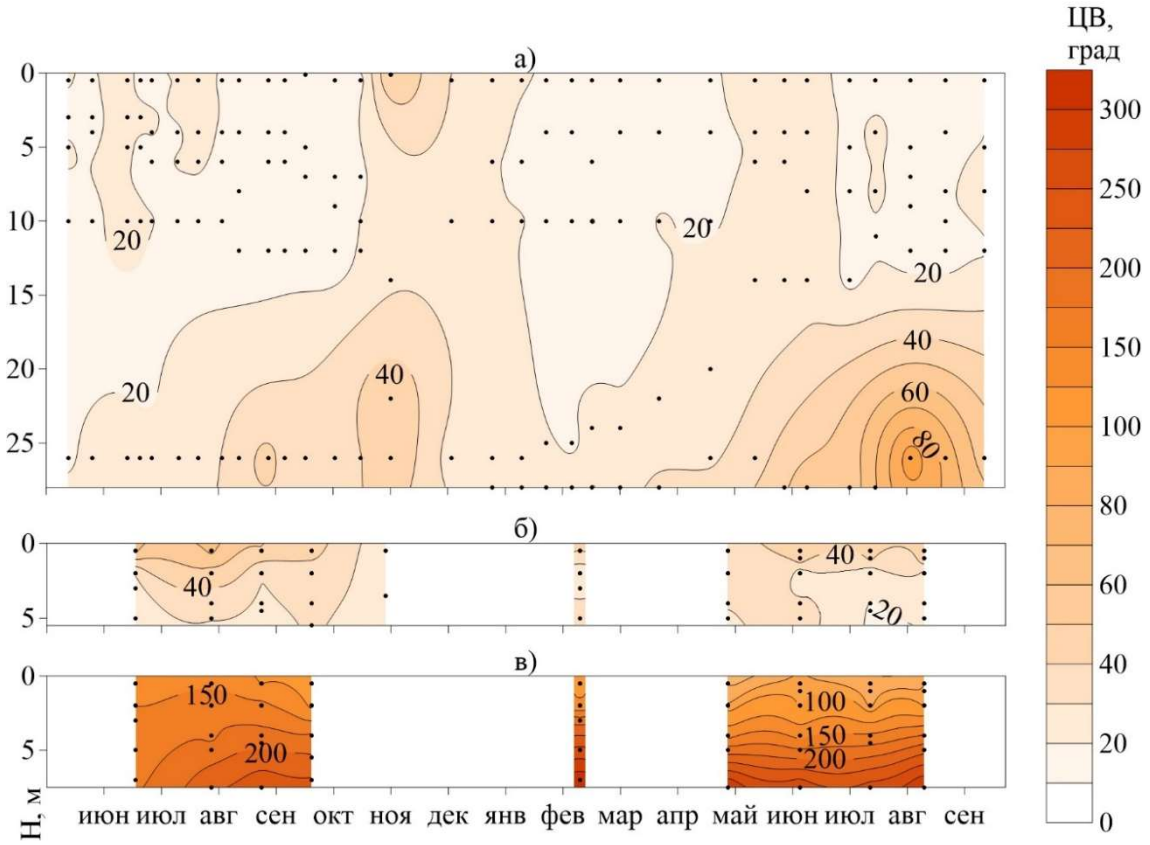

Рис. 1. Пространственно-временное распределение цветности воды ЦВ в оз. Глубоком (а), Нижнем Рустайском (б), Круглом (в) с мая 2018 г. по сентябрь 2019 г.

Содержание $C_{ОРГ}$ в воде оз. Глубокого изменялось в диапазоне 4,5-9,3 мг/л (рис. 2, а), в оз. Нижнем Рустайском – 4,0-9,0 мг/л (рис. 2, б). В обоих озерах максимальное содержание ОВ наблюдалось в поверхностных горизонтах, но в Нижнем Рустайском озере это связано в большей степени с эпизодическим питанием речными водами (ср. схожие рис. 1, б и 2, б), а в Глубоком – с продуцированием автохтонного ОВ при развитии фитопланктона (ср. различающиеся рис. 1, а и 2, а), что подтверждается данными о прозрачности воды, содержании растворенного кислорода и хлорофилла «а». В дистрофном оз. Круглом развития планктона практически не происходит, и максимальные концентрации $C_{ОРГ}$ (и остальных показателей ОВ) наблюдаются у дна (рис. 2, в).

В отличие от ЦВ, на суммарное содержание ОВ, косвенно оцениваемое по величине ХПК, влияет не только поступление с водосбора ОВ гумусовой природы, но и биопродуктивность водоема и характер продукционно-деструкционных процессов, и не влияет наличие темноокрашенных минеральных железистых соединений. Что касается величины ПО, принято считать, что перманганат калия, являющийся более слабым окислителем по сравнению с бихроматом калия, эффективно окисляет аллохтонные гумусовые ОВ, но при этом очень слабо – лабильное ОВ. Этим определяются сходства и различия режимов ЦВ, $C_{ОРГ}$ (и ХПК) и ПО.

В Нижнем Рустайском и Круглом озерах наблюдается тесная связь между всеми показателями содержания ОВ (для ПО и ХПК r=0,97, для ПО и ЦВ r=0,94 при n=71). Для оз. Глубокого, отличающегося от оз. Нижнего Рустайского наличием устойчивой аноксидной зоны с восстановительными условиями, а от обоих керженских озер (особенно от оз. Круглого) – сравнительно большей продуктивностью, характерно полное отсутствие связи между ПО и ЦВ и менее значимая связь между ПО и ХПК (r=0,58 при n=151).

Соотношение ПО/ХПК, иногда используемое для оценки доли аллохтонных веществ в общем содержании ОВ, в оз. Глубоком и Нижнем Рустайском изменялось в схожих пределах 0,34-0,64, в оз. Круглом – 0,50-0,80. При этом во всех озерах доля аллохтонного ОВ в 2019 г. оказалась заметно ниже, чем в 2018 г., что можно связать с меньшим объемом весеннего стока и смывом ОВ с водосбора (так, оз. Круглое в половодье 2019 г. вовсе не имело гидравлической связи с рекой).

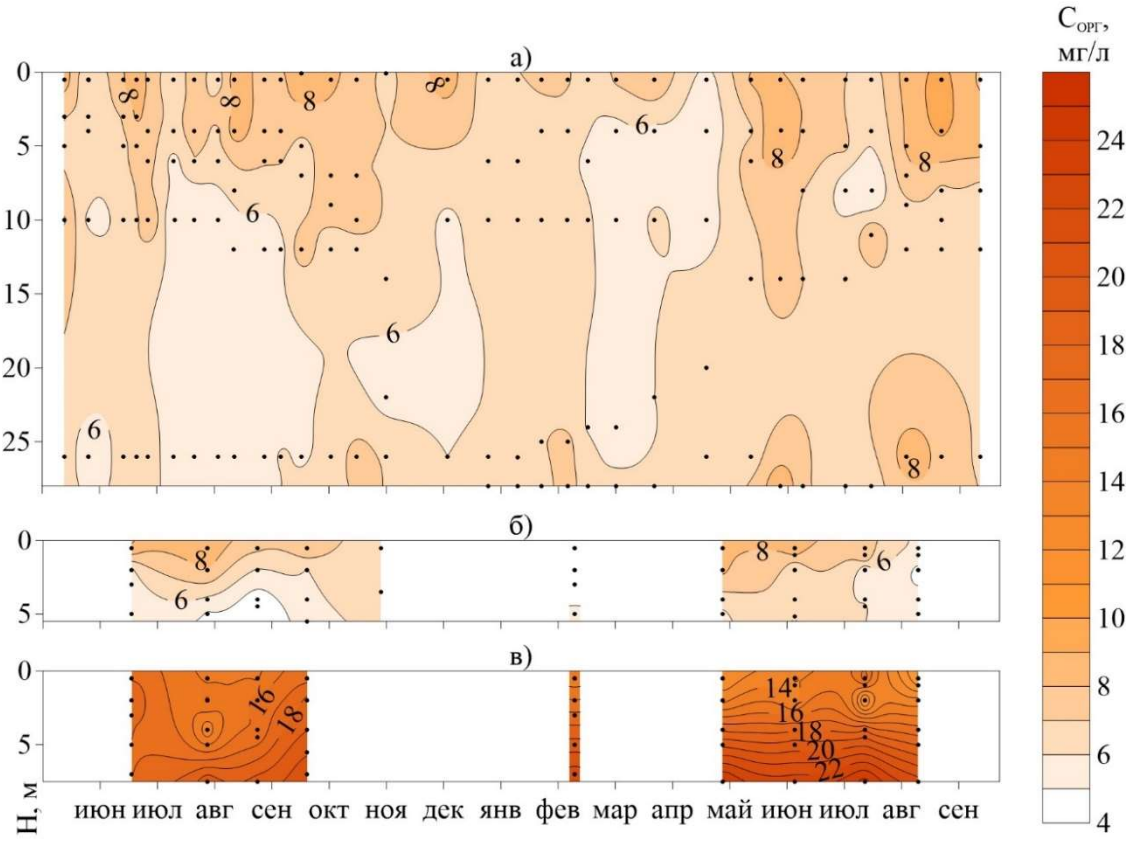

Рис. 2. Пространственно-временное распределение содержания органического углерода $C_{ОРГ}$ в воде оз. Глубокого (а), Нижнего Рустайского (б), Круглого (в) с мая 2018 г. по сентябрь 2019 г.

В озерах преобладает растворенная форма ОВ. Доля взвешенного ОВ редко превышает 20%, изменяясь от 0-3% до 40% (прежде всего при «цветении» или смыве ОВ с водосбора).

Заключение

Режим содержания ОВ в рассмотренных озерах имеет ряд общих черт, поскольку ландшафтные условия их водосборов схожи высокой залесенностью и заболоченностью. Однако значительные отличия в морфометрии, гидрологическом, термическом и динамическом режиме (глубоководное неприточное оз. Глубокое с преобладанием дождевого питания, регулярно гидравлически связанное с рекой и питаемое богатыми ОВ речными водами мелководное и лучше перемешиваемое оз. Нижнее Рустайское, застойное устойчиво стратифицированное оз. Круглое) определяют и существенные различия в режиме ОВ этих озер.

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

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 Московской, Владимировской и Тверской губерний // Землеведение, 1922. Т. 25. Вып. 3-4.
5. Efimova L.E., Korabliova O.V., Lomova D.V. Landscape dynamics and lakes hydrology of Kerzhenets river floodplain // Riparian zones. Characteristics, management practices, and ecological impacts. Pokrovsky O.S. (Ed.). Nova Science Publishers, Inc. United States, New York, 2016. Pp. 125–148.
6. Баянов Н.Г., Кривдина Т.В. Межсезонная динамика гидролого-гидрохимических показателей реки Керженец и ее стариц // Известия РАН. Сер. географическая. 2013. № 2. 2013. С. 52-67.
7. Ефимова Л.Е., Ерина О.Н., Ефимов В.А., Ломова Д.В., Соколов Д.И. Гидрохимические показатели в водах заповедника «Керженский»: особенности и сезонная изменчивость // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Тр. VI Всерос. симпоз. с междун. уч. Барнаул, 2017. С. 84-90.