УДК 535.015

ГИДРООПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ОЗЁР АЛТАЙСКОГО КРАЯ

И. А. Суторихин, В. И. Букатый, О. Б. Акулова
Институт водных и экологических проблем СО РАН,
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет»,
г. Барнаул

Статья посвящена изучению сезонной динамики спектральной прозрачности водоемов, рассматривается влияние основного фотосинтетического пигмента на спектральную прозрачность водоема в различные времена года.

Ключевые слова: прозрачность, спектрофотометрический метод, световой микроскоп

Проблема сохранения чистоты и высокого качества природных вод является одной из актуальнейших и в то же время наиболее сложных проблем нашего времени.

В условиях наметившихся тенденций ускоренной трансформации водоёмов Алтайского края под влиянием естественных и антропогенных факторов изучение структуры и функционирования водных экосистем имеет общебиологическое значение.

Данные о комплексных исследованиях озёр, имеющих различный генезис, химический состав, трофический статус, гидрологический и термический режимы и неодинаковую степень антропогенной нагрузки, являются весьма значимыми и актуальными. Это связано с тем, что мониторинг на водоёмах, включающий постоянные экспериментальные наблюдения, оценку состояния и прогноз изменения водного объекта сокращён до минимума, остановлены многие научные исследования, позволяющие своевременно выявлять различные изменения в водных объектах.

Особое место при изучении озёрных экосистем занимает соотношение прозрачность − хлорофилл, которое имеет очень важное значение для получения характеристик качества воды, а уровни накопления хлорофилла в объёме воды − для оценки степени эвтрофирования водоёмов и санитарно-биологического состояния, в частности масштабов биологического загрязнения.

Вышеизложенное послужило основанием для проведения наших исследований, основной целью которых является:

– изучение сезонных изменений спектральной прозрачности воды на различных глубинах разнотипных озер;

− нахождение эмпирической зависимости прозрачности воды от содержания хлорофилла "a";

− оценка влияния дисперсных частиц (клеток) водорослей фитопланктона на показатель ослабления света в водных пробах.

Подобные исследования представляются актуальными, так как между концентрацией хлорофилла "a", являющимся основным фотосинтетическим пигментом фитопланктона, и прозрачностью существует определённая зависимость. Содержание хлорофилла позволяет выражать биомассу водорослей в единицах важнейшего компонента растительной клетки и широко используется для оценки обилия фитопланктона, а прозрачность воды находится в обратной зависимости от интенсивности развития фитопланктона [1-4].

В настоящее время разработано множество детальных классификаций озёрных экосистем по конкретным признакам, при этом возникает проблема в определении точного количества озёр, расположенных на данной территории [5]. В качестве примера можно привести озёра Алтайского края, количество которых (по разным подсчётам) колеблется в пределах от 11000 до 13000.

Исследуемые нами озёра (Лапа, Красиловское и Большое Островное) относятся к водоёмам различного происхождения и степени трофности (трофность − это характеристика водоёма по его биологической продуктивности), т.е. являются разнотипными, что обусловлено гидрологическими особенностями экосистем, литологией пород, составом вод питающего бассейна и различной степенью антропогенной нагрузки.

Пойменное озеро (озеро-старица) Лапа принадлежит к придаточной системе правобережной поймы реки Оби и расположено в окрестностях г. Барнаула. Озеро является непроточным и сообщается с рекой только в период весеннего половодья. Максимальная глубина озера 9 м**,** по результатам наших исследований его можно отнести к эвтрофному типу.

Надпойменное озеро Красиловское расположено на правобережье реки Оби, в зоне сочленения так называемых боровых террас с четвёртой террасой Верхней Оби на абсолютной высоте 220 м. Озеро питается как поверхностными, так и грунтовыми водами. Является Бессточным. По биопродуктивности оно относится к мезотрофному типу [6]. Максимальная глубина озера равна 11 м (батометрические данные любезно предоставлены с.н.с. ИВЭП СО РАН Галаховым В.П.).

Эрозионное озеро Большое Островное расположено в долине древнего стока реки Касмалы. Озеро является проточным. Максимальная глубина − 5,6 м. Берега большей частью низкие, заболоченные. Вдоль восточного берега тянется Касмалинский ленточный бор. Дно озера песчаное, по трофности − гиперэвтрофное [7].

Из трёх изучаемых водоёмов наибольшей освоенностью водосборной площади и степенью антропогенного воздействия отличаются озёра Лапа и Бол. Островное. Озеро Лапа расположено в пригородной части Барнаула, а большинство случаев антропогенного загрязнения водоёмов было отмечено в пределах именно таких территорий. Живописные ландшафты окрестностей озера привлекают к себе множество отдыхающих. Но в результате в местах массового отдыха накапливается мусор, а рыбные запасы хищнически уничтожаются. На экосистему озера Бол. Островное отрицательное влияние оказали факторы увеличения распаханности и снижения лесистости, а также ликвидация мельничных плотин по руслу западной Касмалы, что впоследствии привело к снижению проточности озера [8]. В меньшей степени хозяйственная деятельность затронула озеро Красиловское, на северном берегу которого располагается учебно-научная база Алтайского государственного университета. Однако и это озеро подвержено загрязнению отходами животноводства; уникальные луга распахиваются; в окружающих лесах ведётся вырубка, которая не всегда оправданна.

В гидрооптическом отношении озёра Алтайского края изучены совершенно недостаточно. В этом направлении исследования только начинают развиваться [9, 10]. В связи с этим изучение сезонной динамики спектральной прозрачности водоёмов, а также влияния на неё дисперсной структуры водорослей фитопланктона представляется актуальной задачей.

Для определения коэффициента пропускания (прозрачности) воды мы использовали спектрофотометрический метод, в основу которого положен принцип измерения отношения двух световых потоков, проходящих через объёмы с исследуемой и эталонной средами. Спектральные измерения проводились с помощью спектрофотометра СФ-46. Концентрацию хлорофилла в ацетоновых экстрактах определяли стандартным спектрофотометрическим методом согласно ГОСТу 17.1.4.02-90 и методическим рекомендациям [11]. Погрешность определения хлорофилла в нашем случае составила не более 10%. Количество и размеры клеток водорослей фитопланктона определялись с помощью счётной камеры Нажотта и светового микроскопа Nikon Eclipse 80 i.

Исследования на озёрах проводились в разные сезоны в период 2011-2012 гг. В ходе исследований в лабораторных условиях проводились измерения спектральной прозрачности (коэффициента пропускания) воды в диапазоне 400–800 нм на спектрофотометре СФ-46 с погрешностью, равной 0,5%. Водные пробы, взятые на различных глубинах озёр, помещались в кварцевые кюветы. В различных сериях измерений использовались кюветы с длиной пути 12 мм и 10 мм. Необходимо отметить, что измерения прозрачности проводились спустя 1-3 часа после взятия проб. Далее рассчитывалась важная гидрооптическая характеристика – показатель ослабления света ε в воде (физическая величина, являющаяся суммой показателей поглощения и рассеяния света).

Результаты наших расчётов по спектральному показателю ослабления света на различных глубинах озер по данным сезонных измерений спектральной прозрачности показали, что максимальные его значения имеют место в пробах воды, отобранных в придонном слое водоёмов. Следует иметь в виду, что глубина озера Бол. Островное в месте отбора проб − 2 м, озера Красиловское − 4,5 м, оз. Лапа − 7 м. В разные сезоны, когда проводились исследования, глубина озёр незначительно менялась. В целом для оз. Лапа показатель ослабления в диапазоне длин волн 400−800 нм зимой (15.02.2012) и

весной, до (15.03.2012) и после (02.05.2012) вскрытия льда на различных глубинах существенно меньше, чем летом (30.07.2012). Это может быть обусловлено изменением соотношения между размерами клеток водорослей фитопланктона и их счётной концентрацией в различные периоды, что подтверждается нашими расчётами показателя ослабления света на основе табличных данных, приведённых в работе [12]. Для сравнения на рисунках 1 и 2 приведены спектральные зависимости показателя ослабления в придонном слое исследуемых озёр в весенне-летний период 2012 г.

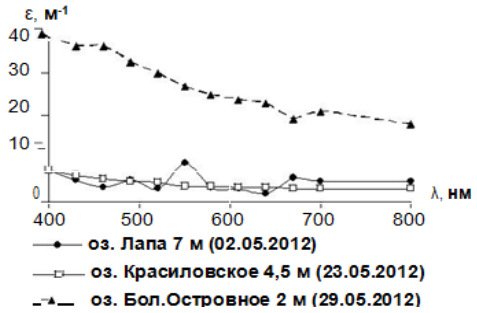

Рисунок 1 − Спектральная зависимость показателя ослабления ε в диапазоне длин волн 400-800 нм в придонном слое разнотипных озёр весной 2012 г.

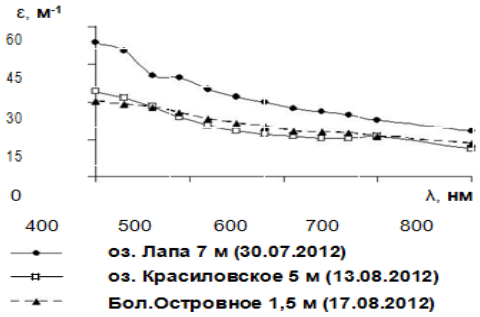

Рисунок 2 − Спектральная зависимость показателя ослабления ε от длины волны λ в придонном слое разнотипных озёр летом 2012 г.

Результаты определения концентрации хлорофилла "а" в озёрах выявили различия вертикального распределения содержания пигмента в разные сезоны. Исследуемые озера характеризуются более высокими показателями концентрации хлорофилла "а", в основном, в придонном горизонте водоёмов по сравнению с поверхностным, что обусловлено, на наш взгляд, процессами разложения и минерализации растительных остатков и активными процессами химического обмена, происходящими на границе водораздела вода-дно (слой иловых масс). В сезонной динамике распределение содержания хлорофилла в озёрах отмечена тенденция накопления его в течение вегетационного периода и снижения его содержания в условиях подлёдного режима, когда подо льдом и покрывающим его слоем снега фотосинтез фитопланктона практически прекращается и величины первичной продукции становятся близкие к нулю. Концентрация хлорофилла "а" в поверхностном слое озера Лапа 15 февраля 2012 г. равна 0,53 мг/м3, 15 марта 2012 г. равна 0,95 мг/м3, но для оз. Бол. Островное 22 марта 2012 г. концентрация составила 15,06 мг/м3. В этом случае можно предположить, что при малой глубине оз. Бол. Островное его фотический слой простирается до дна. В этих условиях при слабом перемешивании водных масс органическое вещество, синтезируемое водорослями, накапливается в донных отложениях и в придонных слоях. Содержание хлорофилла в придонном слое озёр Лапа (30 июля 2012 г.), Красиловское (13 августа 2012 г.), Бол. Островное (17 августа 2012 г.) составило соответственно 25,26 мг/м3, 212,67 мг/м3, 63,09 мг/м3.

В ходе исследований необходимо было определить микрофизические параметры гидрозолей, в связи с тем, что ослабление света в сравнительно чистых озёрных экосистемах обусловлено, в основном, поглощением и рассеянием на взвешенных частицах биологического происхождения.

По данным сезонных измерений размеры клеток в пробах оз. Лапа находились в пределах 0,3−6,5 мкм по радиусу. При этом среднеарифметический радиус клеток составил 1,0 мкм (13.10.2011), 0,5 мкм (15.02.2012), 0,7 мкм (15.03.2012), 0,4 мкм (02.05.2012) и 0,6 мкм (30.07.2012). Среднее значение счётной концентрации, измеренной с помощью камеры Нажотта, составило порядка 1,3·107 см-3 (15.03.2012), 4,4·107 см-3 (02.05.2012) и 1,1·107 см-3 (30.07.2012). Среднее значение счётной концентрации, измеренной с помощью оптического метода флюктуаций прозрачности, составило порядка 5,0·107 см-3 (15.02.2012). В пробах оз. Красиловское 0,6 мкм (23 мая и 13 августа 2012 г.), 1,94·107 см-3 (23.05.2012) 3,0·107 см-3 (13.08.2012). В пробах оз. Бол. Островное 0,7 мкм (29.05.2012) 0,5 мкм (17.08.2012) $1{,}75\cdot10^{7}$ $см^{-3}$ (29.05.2012) $2{,}2\cdot10^{7}$ $см^{-3}$ (17.08.2012).

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

Проведены экспериментальные исследования спектральной прозрачности воды в диапазоне 400−800 нм в различные сезоны 2011-2012 гг. для трёх разнотипных озёр Алтайского края. Полученные данные можно считать репрезентативными применительно к средним и малым водоёмам. Рассчитанные нами спектральные показатели ослабления на основе экспериментальных данных о прозрачности изучаемых озёр (Лапа, Красиловское, Бол. Островное) испытывают заметные изменения по спектру и не коррелируют с показателями поглощения для чистой воды. На наш взгляд, это обусловлено рассеянием и поглощением света на органических и минеральных частицах микровзвеси в воде вышеуказанных озёр. По данным сезонных измерений спектральной прозрачности воды и концентрации хлорофилла "а" на разных глубинах озёр обнаружена обратная зависимость величины прозрачности на исследуемых длинах волн от концентрации основного фотосинтетического пигмента. Прозрачность водоёмов несколько уменьшается в придонном слое вследствие оседания отмерших клеток водорослей фитопланктона и взмучивания донных отложений.

Исследования сезонной динамики гидрооптических характеристик показали, что наибольшие значения показателя ослабления практически во всём изучаемом спектральном диапазоне наблюдаются в конце летнего периода, наименьшие − зимой, до вскрытия льда. Это обусловлено массовым развитием водорослей фитопланктона, более высокой концентрацией и большими размерами частиц (клеток) водорослей.

Авторы благодарят н.с., к.б.н. Котовщикова А.В. за предоставленные данные измерений концентрации хлорофилла, с.н.с., к.б.н. Митрофанову Е.Ю. и аспирантку Сутченкову О.С. за предоставленные фотографии водорослей фитопланктона, а также аспиранта Чикалина Е.Н. и инженера Петрова С.А. за помощь при обработке данных.

Работа выполнена при поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН 131. «Математическое и геоинформационное моделирование в задачах мониторинга окружающей среды и поддержки принятия решений на основе данных стационарного, мобильного и дистанционного наблюдения» и программы фундаментальных исследований в рамках проекта научно-образовательного комплекса №2 «Геоэкологический мониторинг и прогнозирование состояния климата и устойчивого социально-экономического развития региона».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Carlson R. E. A trophic state index for lakes // Limnology and Oceanography. 1977. Vol. 22, N 2. P. 361−369.

2. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л., 1983. 150 с.

3. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоёмов. Минск., 1960. 329 с.

4. Сиренко Л.А., Курейшевич А.В. Определение содержания хлорофилла в планктоне пресных вод. Киев., 1982. 52 с.

5. Захаров С.Г. К вопросу о классификации озёр и озёровидных водоёмов // Известия русского гео-графического общества. 2002. Т. 134.− май-июнь. Вып. 3. С. 25−27.

6. Информационный портал Алтая [Электронный ресурс]: Озера Алтая. Режим доступа - www.altai.tv/geo-id-18.html - Загл. с экрана.

7. Кириллов В.В., Зарубина Е.Ю., Безматерных Д.М. и др. Сравнительный анализ экосистем раз-нотипных озёр Касмалинской и Кулундинской до-лин древнего стока. Наука − Алтайскому краю, 2009 год. Сборник научных статей. Вып. 3. − Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. − 354 с.

8. Веснина Л.В. Гидробиологический мониторинг озёр Алтайского края // Сибирский экологический журнал. 2000. № 3. С. 263−269.

9. Суторихин И.А., Букатый В.И., Котовщиков А.В., Акулова О.Б. Исследования спектральной прозрачности и концентрации хлорофилла в пойменном озере (бассейн Верхней Оби, Алтайский край)//Известия АлтГУ. №1/1. – Барнаул, 2012.−С.226−228.

10. Суторихин И.А., Букатый В.И., Котовщиков А.В., Акулова О.Б. Исследования спектральной прозрачности воды и концентрации хлорофилла с учётом дисперсности гидрозольных частиц водоёма (на примере озера-старицы Лапа Алтайского края) // Ползуновский вестник №2/1, 2012, С. 16−21.

11. ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрическо-го определения хлорофилла "а". М., Изд-во стан- дартов, 2003. С. 587–600.

12. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л., 1983, 279 с.

Суторихин Игорь Анатольевич – д.ф.-м.н., профессор, тел.: (3852) 666-502, e-mail: sia@ iwep.asu.ru; Букатый Владимир Иванович – д.ф.-м.н., профессор, научный сотрудник лаборатории водной экологии; Акулова Ольга Борисовна – аспирантка.