

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ОЗЁРАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ В ПЕРИОД 2011–2013 гг.

И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.Б. Акулова, У.И. Залаева

Институт водных и экологических проблем СО РАН
г. Барнаул

В период с 2011 г. по 2013 г. наряду с сезонными исследованиями спектральной прозрачности в диапазоне длин волн 400–800 нм и температуры воды на разных глубинах озёр проводились измерения концентрации хлорофилла "а" с учётом дисперсного состава частиц органо-минеральной взвеси.

Ключевые слова: озёра, спектральная прозрачность воды, показатель ослабления света, хлорофилл, органо-минеральная взвесь.

В настоящее время на фоне интенсивного антропогенного воздействия на природные экосистемы возрастает общественный интерес к их состоянию, охране и рациональному использованию. Это в полной мере можно отнести к водоёмам Алтайского края. Оценка качества воды по гидрофизическим характеристикам и контроль состояния таких водоёмов необходимы для проведения и выполнения комплекса водоохраных мероприятий, направленных на предотвращение отрицательных экологических последствий антропогенного воздействия, защиту водоёмов от истощения, загрязнения и эвтрофикации. Как известно, озёра в ландшафте играют роль накопительных систем, аккумулируя приносимые с притоками минеральные и органические вещества [1].

В последние годы в изучении водных экосистем в нашей стране и за рубежом успешно разрабатывается структурно-функциональный метод, связывающий гидрофизические и гидробиологические характеристики с дисперсной структурой экосистем (концентрацией хлорофилла, растворённого и адсорбированного вещества, среднего размера взвешенных органо-минеральных частиц и др.). Однако результаты, полученные различными авторами, характеризуются разобщённостью и нередко несопоставимостью, выполнены зачастую на уникальном единичном оборудовании, с использованием нередко субъективных методов (диск Секки), что требует проведения дальнейших исследований в этом направлении с учетом комплексной оценки сложных полидисперсных поликомпонентных водных экосистем, в частности, внутренних водоемов [2–5]. За рубежом аналогичные исследования проводятся преимущественно с помощью спектрофотометрических и зондовых методов [6–9].

Вышеизложенное послужило основанием для проведения исследований, основной целью которых является: изучение сезонной динамики спектральной прозрачности и температуры воды, а также содержания хлорофилла "а" на различных глубинах озёр; определение концентрации и размеров клеток водорослей фитопланктона; изучение состава и структуры водной взвеси озёр.

Основными объектами исследований были выбраны три озера: пойменное озеро Лапа, надпойменное озеро Красиловское и эрозийное озеро Большое Островное, трофический статус которых по значениям прозрачности и содержанию хлорофилла "а" соответствует эвтрофным, мезотрофным и гиперэвтрофным водоёмам, соответственно.

Для определения коэффициента пропускания (прозрачности) воды использовался спектрофотометрический метод. Спектральные измерения проводились с помощью спектрофотометров СФ-46 и ПЭ-5400УФ с погрешностью, равной 0,5%.

Концентрация хлорофилла в ацетоновых экстрактах водорослей фитопланктона определялась стандартным спектрофотометрическим методом согласно ГОСТу 17.1.4.02-90 [10]. Погрешность определения концентрации хлорофилла в нашем случае составила не более 10%. Количество и размеры частиц взвеси определялись с помощью камеры Нажотта объёмом 0,05 мл с использованием светового микроскопа Nikon Eclipse 80i.

Исследования на озёрах проводились в разные гидрологические сезоны в период 2011–2013 гг., в ходе которых осуществлялся отбор проб воды батометром от поверхностного горизонта до дна с интервалом 1 м. В лабораторных условиях спустя 1–3 часа после взятия проб проводились измерения спектральной прозрачности воды в диапазоне

не 400–800 нм на спектрофотометрах указанных выше. По результатам измерений рассчитывалась важная гидрооптическая характеристика – *показатель ослабления света* ϵ в пробах воды, отобранных на различных глубинах озёр по формуле:

$$\epsilon = (1/I) \cdot \ln(100/I),$$

где l – рабочая длина кюветы,
 I – относительная интенсивность света (в процентах), прошедшего через воду, другими словами, прозрачность.

Результаты расчётов по спектральному показателю ослабления света, выполненные по вышеуказанной формуле, для различных глубин озёр 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 Лапа в месте отбора проб – 10 м, оз. Красиловское – 5 м, оз. Бол. Островное – 2 м. В разные сезоны года, 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 04.02.2013), весной, до (15.03.2012) и после (02.05.2012 и 07.05.2013) вскрытия льда, осенью (12.10.2012) до ледостава в придонном слое водоёма существенно меньше, чем летом (30.07.2012 и 06.08.2013). Аналогичная динамика сохраняется и для двух других озёр. Это, на наш взгляд, обусловлено изменением соотношения между размерами частиц органико-минеральной взвеси и их счётной концентрацией в различные периоды, что подтверждается нашими расчётами показателя ослабления света на основе табличных данных, приведённых в работе [11]. Для сравнения на рисунках 1 и 2 приведены спектральные зависимости показателя ослабления трёх разнотипных озёр Алтайского края в поверхностном слое в зимний и летний периоды 2013 г.

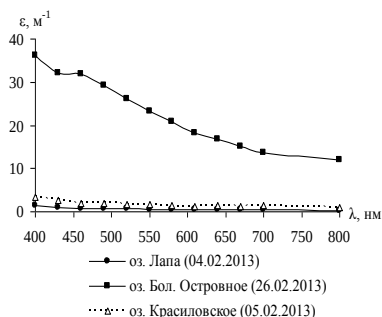


Рисунок 1 – Спектральная зависимость показателя ослабления ϵ в диапазоне длин волн

400–800 нм в поверхностном слое разнотипных озёр зимой 2013 г.

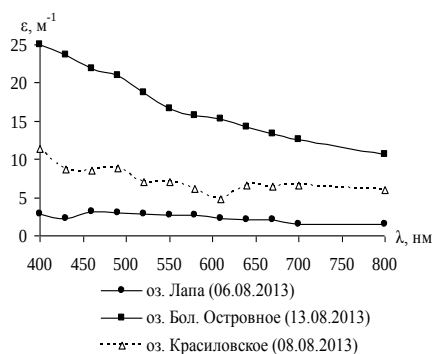


Рисунок 2 – Спектральная зависимость показателя ослабления ϵ от длины волны λ в поверхностном слое разнотипных озёр летом 2013 г.

Для оценки влияния рассеивающих и поглощающих свойств частиц (клеток) фитопланктона на прозрачность нами проводились измерения коэффициента пропускания воды как до, так и после фильтрации пробы через мембранный фильтр с размером пор 0,8 мкм. Полученная разность спектральной зависимости $\Delta\epsilon$ представляет собой фактически показатель ослабления света пробой воды, содержащей крупные частицы (с диаметром более 0,8 мкм).

Полученная сезонная динамика стратификации температуры от глубины для трёх озёр представлена на рисунках 3 – 5.

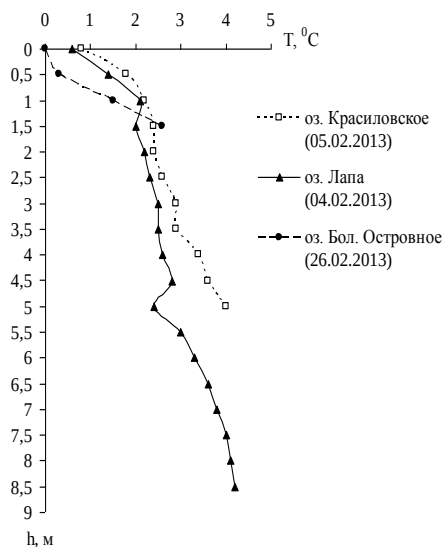


Рисунок 3 – Вертикальное распределение температуры в озёрах зимой 2013 г.

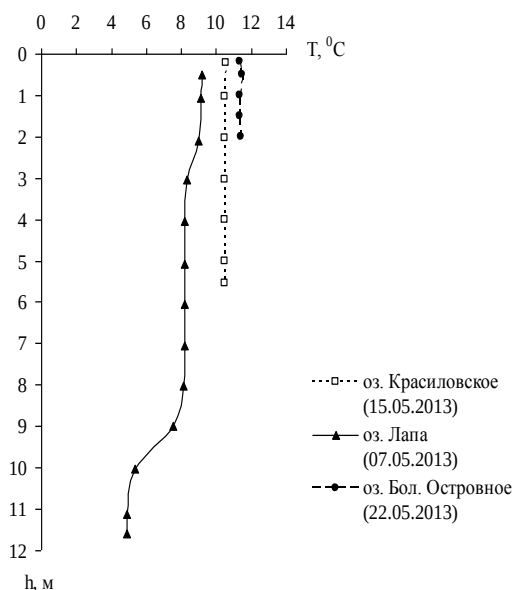


Рисунок 4 – Вертикальное распределение температуры в озёрах весной 2013 г.

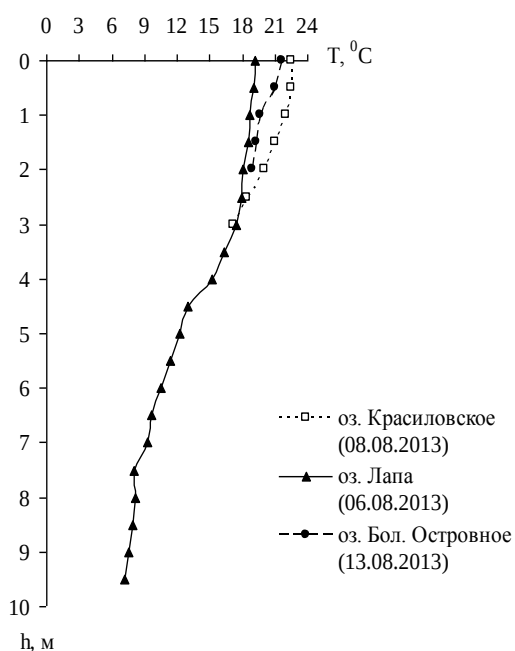


Рисунок 5 – Вертикальное распределение температуры в озёрах летом 2013 г.

В сезонной динамике распределение содержания хлорофилла в озёрах отмечена тенденция накопления в течение вегетационного периода и снижения его концентрации в условиях подлёдного режима, когда под льдом и покрывающим его слоем снега фотосинтез фитопланктона практически прекращается и величины первичной продукции становятся близкими к нулю. Сравнение вер-

тикального распределения содержания хлорофилла "а" в разнотипных озёрах в зимний и летний периоды 2013 г. представлено на рисунках 6 и 7.

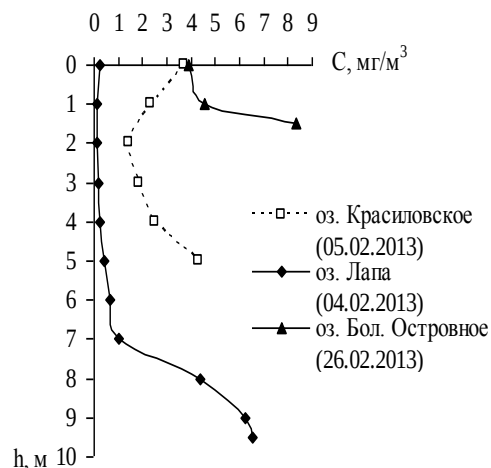


Рисунок 6 – Вертикальное распределение содержания хлорофилла "а" в разнотипных озёрах зимой 2013 г.

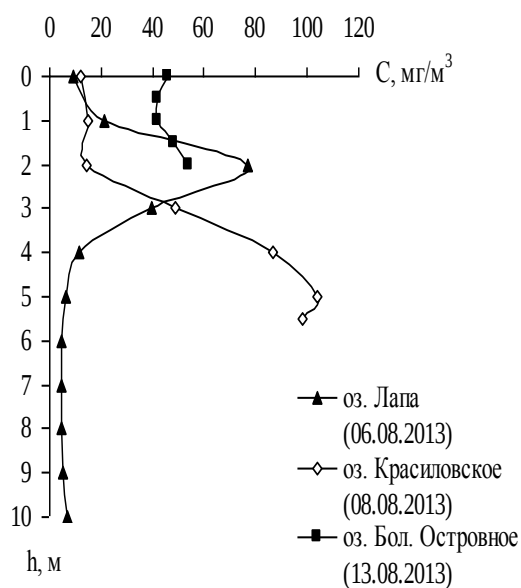


Рисунок 7 – Вертикальное распределение содержания хлорофилла "а" в разнотипных озёрах летом 2013 г.

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 озёр находились в пределах 0,3–8,5 мкм

по радиусу. Аппроксимация экспериментальных точек проводилась в соответствии с формулой Юнге. При этом коэффициент корреляции лежит в диапазоне от 0.85 до 0.99, что говорит об удовлетворительной аппроксимации.

Выводы

В результате проведённых исследований обнаружено, что между прозрачностью озёр и концентрацией хлорофилла "а" существует обратная зависимость, которая может быть представлена в виде аппроксимационной кривой, удовлетворяющей закону Бугера, что позволяет по данным оптических измерений оценивать биомассу фитопланктона и, в конечном счёте, определять трофический статус водоёма. Также показано существенное влияние дисперсных частиц взвеси на показатель ослабления света в водных пробах озёр. Получена сезонная динамика стратификации температуры от глубины для трёх озёр, что характерно для водоёмов умеренных широт.

Исследования сезонной динамики гидрофизических характеристик показали, что наибольшие значения показателя ослабления света практически во всём изучаемом спектральном диапазоне наблюдаются в конце летнего периода, наименьшие – зимой, до вскрытия льда. Это обусловлено колебаниями температуры воды и, как следствие, изменением концентрации хлорофилла в фитопланктоне озёр.

Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией водной экологии к.б.н. В.В. Кириллову за помощь в работе, н.с., к.б.н. А.В. Котовщикову за предоставленные данные измерений концентрации хлорофилла и аспиранту О.С. Сутчевой за предоставленные фотографии частиц взвеси.

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 Президиума РАН 4.2 «Комплексный мониторинг современных климатических и экосистемных изменений в Сибири».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меншуткин, В.В. Гидрофизика и экология озёр / В.В. Меншуткин, К.В. Показеев, Н.Н. Филатов // М., 2004. – Т.2. 269 с.
2. Carlson, R. E. A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. 1977. Vol. 22, N 2. P. 361–369.
3. Carstensen, J. Censored data regression: Statistical methods for analyzing Secchi transparency in shallow systems // *Limnology and Oceanography: methods* 8, 2010, P. 376–385.
4. Vollenweider, R.A. The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication / R.A. Vollenweider, J. Kerekes // *Progr. Water Technol.* 1980. Vol. 12, N 2. P. 3–38.
5. Ильмаст, Н.В. Гидроэкология разнотипных озёр южной Карелии / Н.В. Ильмаст, С.П. Китаев, Я.А. Кучко, С.А. Павловский // Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2008. – 92 с.
6. Сидько, Ф.Я. Васильев В.А. Экспрессный спектрофотометрический метод определения концентрации хлорофилла фитопланктона / Ф.Я. Сидько, А.Д. Апонасенко // *Гидробиологический журнал*. 1989. Т. 25, № 5. С. 66–71.
7. Суторихин, И.А. Динамика спектральной прозрачности воды разнотипных озёр Алтайского края в разные сезоны / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.Б. Акулова // *Международный Научно-исследовательский журнал* №3 (10), Часть 2, 2013. – С. 126–128.
8. Суторихин, И.А. Исследования спектральной прозрачности воды и концентрации хлорофилла с учётом дисперсности гидрозольных частиц водоёма (на примере озера-старицы Лапа Алтайского края) / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, А.В. Котовщиков, О.Б. Акулова // *Ползуновский вестник* №2/1, 2012. – С. 16–21.
9. Суторихин, И.А. Сезонная динамика спектральной прозрачности воды и концентрации хлорофилла в пойменном озере с учётом дисперсности частиц фитопланктона / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, А.В. Котовщиков, О.Б. Акулова // *Известия АлтГУ*. №1/2. – Барнаул, 2012. – С. 173–178.
10. ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла "а". М., Изд-во стандартов, 2003. С. 587–600.
11. Шифрин, К.С. Таблицы по светорассеянию. Рассеяние света моделями морской воды / К.С. Шифрин, И.Н. Салганик –Л., 1973. – Т. 5, 219 с.

Суторихин Игорь Анатольевич – д.ф.-м.н., профессор, г.н.с. лаборатории гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН, тел.: (385-2) 666-502, e-mail: sia@iwep.ru; **Букатый Владимир Иванович** – д.ф.-м.н., профессор, г.н.с. лаборатории гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН, e-mail: v.bukaty@mail.ru; **Акулова Ольга Борисовна** – аспирант лаборатории гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН, e-mail: akulova8282@mail.ru; **Залаева Устина Ильдусовна** – аспирант лаборатории гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН, e-mail: zalaeva@iwep.ru.