

Сезонная изменчивость спектрального показателя ослабления света в озере Красиловское в 2012–2014 гг.*

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

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (Барнаул, Россия)

Seasonal Variability of Spectral Light Attenuation in Lake Krasilovskoye for the Period of 2012–2014

I.A. Sutorikhin, V.I. Bukaty, O.B. Akulova, U.I. Zalaeva

Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia)

Приведены результаты сезонных измерений спектрального показателя ослабления света, а также концентрации хлорофилла «а» на разных глубинах оз. Красиловское (Алтайский край) в 2012–2014 гг. Проведен анализ полученных экспериментальных данных с учетом дисперсного состава частиц взвеси в озерной воде. Отмечены максимальные значения показателя ослабления света в период осенней циркуляции и летней стагнации водных масс, минимальные — зимой. Результаты вычислений спектрального показателя ослабления света на различных глубинах озера по данным измерений спектральной прозрачности показали, что максимальные его значения имеют место в пробах воды, отобранных в придонном слое водоема. В распределении содержания хлорофилла в озере отмечена тенденция его накопления в течение вегетационного периода и снижения в условиях подледного режима. Исследуемое озеро характеризуется более высокими показателями концентрации хлорофилла «а» в основном в придонном горизонте водоема по сравнению с поверхностным. Размеры частиц в пробах озерной воды поверхностного слоя в различные сезоны года находились в пределах 0,6–7,5 мкм по радиусу, концентрация изменялась от $0,7 \cdot 10^6$ до $8,3 \cdot 10^6$ см⁻³.

Ключевые слова: озера, показатель ослабления света, спектральная прозрачность воды, хлорофилл, взвесь.

DOI 10.14258/izvasu(2014)1.2-40

The paper presents the results of spectral light attenuation seasonal measurements, as well as the concentration of chlorophyll «a» at different depth of lake Krasilovskoye (Altai region) for the period of 2012–2014. Experimental data analysis is conducted with consideration of dispersion of suspended particles mixture in lake water. The coefficients of light attenuation appear to be at maximum during autumn circulation and summer stagnation of water masses, and at minimum during winter period. The calculation of light attenuation spectral coefficient at different lake depths is based on measurements of spectral transparency. Results of the calculation demonstrate maximum values for water samples taken from the bottom water layer. A tendency of chlorophyll accumulation during a vegetation season and decrease of chlorophyll concentration at winter period is revealed. The studied lake is characterized by relatively higher concentrations of chlorophyll «a» in the near-bottom layer of the lake. Particles size in water samples from the surface layer in different seasons is ranged within 0,6–7,5 micrometer in diameter, and the concentration is varied from $0,7 \cdot 10^6$ to $8,3 \cdot 10^6$ cm⁻³.

Key words: lakes, light attenuation coefficient, water spectral transparency, chlorophyll, suspension.

* 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».

Изучение гидрооптических характеристик водных масс вносит определенный вклад в формирование представлений о гидрофизических условиях функционирования экосистем разных типов.

Важным объектом исследований оптических свойств природных вод Алтайского края, несомненно, являются озера. В связи с этим изучение первичной гидрооптической характеристики — показателя ослабления, а также спектрального вклада компонентов озерной воды в показатель ослабления света является весьма актуальным.

Цель работы — изучение сезонной изменчивости показателя ослабления света на разных глубинах оз. Красиловское (Алтайский край).

Объект исследования — надпойменное озеро, которое расположено на юге Западно-Сибирской равнины, в зоне сочленения так называемых боровых террас с четвертой террасой правобережья Верхней Оби на абсолютной высоте 220 м. Своеобразный рельеф в окрестностях озера и его положение в долине реки создают условия для формирования особого микроклимата: большое количество осадков (до 500 мм) и снижение контрастов климата, характерного для этих широт [1, с. 113]. Озеро питается поверхностными и грунтовыми водами и является бессточным.

В период исследований по данным оптической прозрачности, концентрации хлорофилла «а» и общего фосфора трофический статус оз. Красиловское соответствовал эвтрофному типу (в соответствии с классификацией Винберга [2, с. 288] и трофическим индексом Карлсона [3, с. 362]).

Площадь зеркала равна 1,8 км², максимальная глубина озера — 11 м (батиметрические данные предоставлены с.н.с. ИВЭП СО РАН В.П. Галаховым). Глубина озера в месте отбора проб — 5,5 м.

Растительный покров территории образует преимущественно сосновые и березовые леса, низменные болота и луговые степи. Разнообразие растительных сообществ, представленных на сравнительно небольшой площади, обуславливает и разнообразие животного мира. Озеро богато планктоном, рыбой. Все это представляет интерес для научных исследований.

В последнее время уровень озера понизился, и дальнейший прогноз его развития приобретает особое значение. Существует необходимость проведения мероприятий по сохранению территории и установления особого режима ее использования.

Отбор проб проводился на северном берегу озера, где располагается учебно-научная база Алтайского государственного университета.

В период сезонных наблюдений (с 23.05.2012 по 27.02.2014) в лабораторных условиях было проведено 64 серии измерений спектральной прозрачности (коэффициента пропускания) воды в диапазоне 400–800 нм на спектрофотометрах СФ-46 и ПЭ-5400УФ с погрешностью 0,5%. В данных сериях измерений

прозрачности использовались кварцевые кюветы с геометрической длиной пути 10 и 12 мм. Для сравнения в таблице 1 представлена оптическая прозрачность воды, измеренная по диску Секки, который до сих пор широко используется в гидробиологических исследованиях.

Таблица 1
Значения оптической прозрачности, измеренной по диску Секки на оз. Красиловское в различные сезоны 2013 г.

Прозрачность, см	Дата
60	15.05
150	18.06
120	8.08
80	23.10

Всего была обработана 61 водная проба, взятая на различных глубинах озера.

Далее рассчитывалась первичная гидрооптическая характеристика — показатель ослабления света ε в воде по формуле

$$\varepsilon = (1/\ell) \cdot \ln (1/T), \quad (1)$$

где ℓ — рабочая длина кюветы; $T = I/I_0$ — прозрачность в относительных единицах; I, I_0 — интенсивность проходящего и прошедшего света соответственно.

На рисунке 1 представлен результат измерений спектрального показателя ослабления света в поверхностном слое озера за период исследований.

Максимальные значения ε отмечены в период осенней циркуляции (23.10.2013) и летней стагнации (08.08.2013) водных масс, минимальные — зимой (05.02.2013).

Распределение показателя ослабления на оз. Красиловское в феврале 2014 г. представлено на рисунке 2.

Результаты вычислений спектрального показателя ослабления света на различных глубинах озера по данным измерений спектральной прозрачности показали, что его максимальные значения отмечены в пробах воды, отобранных в придонном слое водоема (5–5,5 м), которые имели сероводородный запах, что характерно для разлагающейся массы скопленных водорослей в условиях гипертрофии экосистемы водоема.

Концентрацию хлорофилла определяли стандартным спектрофотометрическим методом согласно ГОСТу 17.1.4.02-90 [4, с. 1]. Погрешность определения хлорофилла в нашем случае составила 10%. На рисунке 3 представлен результат распределения концентрации хлорофилла «а» на разных глубинах озера.

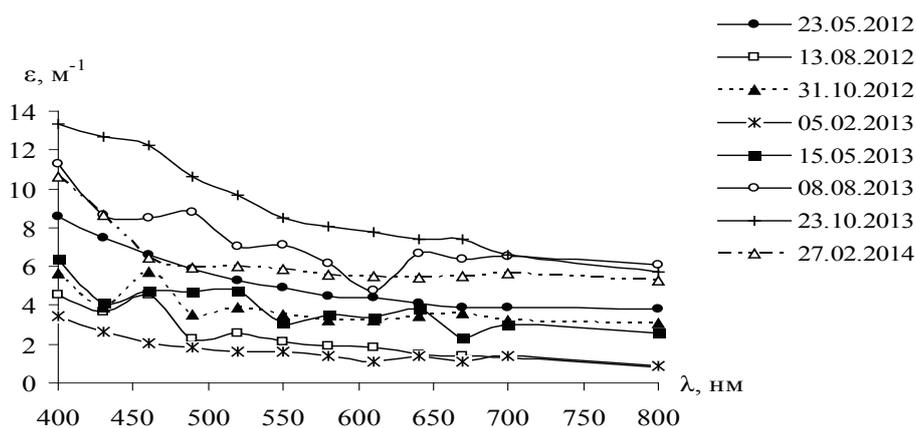


Рис. 1. Зависимость спектрального показателя ослабления ϵ от длины волны λ в поверхностном слое оз. Красиловское в 2012–2014 гг.

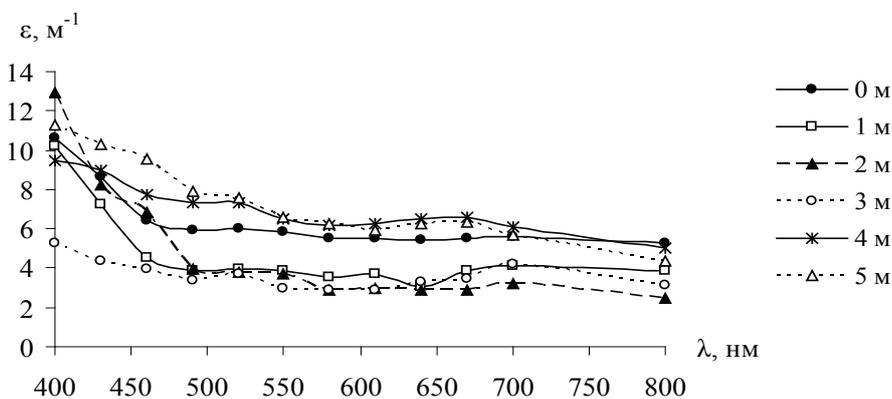


Рис. 2. Зависимость спектрального показателя ослабления ϵ от длины волны λ на разных глубинах оз. Красиловское (27.02.2014)

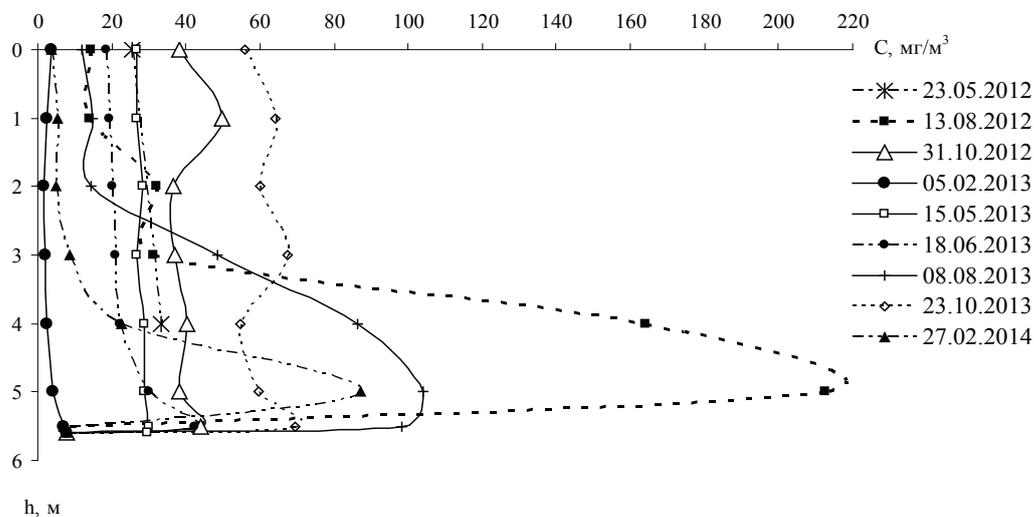


Рис. 3. Вертикальное распределение содержания хлорофилла «а» в оз. Красиловское в период 2012–2014 гг.

Таблица 2

Значения показателя ослабления света и концентрации хлорофилла «а» в озере Красиловское в 2012–2014 гг.

ϵ , м^{-1} (при $\lambda=430$ нм)		$C_{\text{хл}}$, $\text{мг}/\text{м}^3$		Дата
поверх. слой	придонный слой	поверх. слой	придонный слой	
7,5	6	25,54	33,34	23.05.2012
3,66	31,54	14,34	212,67	13.08.2012
3,91	4,84	38,09	44,19	31.10.2012
2,63	3,15	3,71	4,32	5.02.2013
4,07	6,18	26,61	29,53	15.05.2013
9,54	13,24	18,39	42,37	18.06.2013
8,63	22,94	12,05	98,31	8.08.2013
12,71	16,24	55,93	69,53	23.10.2013
8,65	10,28	3,62	87,04	27.02.2014

В сезонной динамике распределения содержания хлорофилла в озере отмечена тенденция его накопления в течение вегетационного периода и снижения в условиях подледного режима, когда подо льдом и покрывающим его слоем снега фотосинтез фитопланктона практически прекращается и величины первичной продукции становятся близкими к нулю. Исследуемое озеро характеризуется более высокими показателями концентрации хлорофилла «а» в основном в придонном горизонте водоема по сравнению с поверхностным (табл. 2), 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).

Концентрации и размеры частиц взвеси (табл. 3) определялись с помощью камеры Нажотта объемами 0,01 и 0,05 мл с использованием светового микроскопа Nikon Eclipse 80i.

Таблица 3

Размер и концентрация взвешенных частиц в поверхностном слое озера Красиловское

Средний радиус частиц, $\mu\text{м}$	Счетная концентрация, см^{-3}	Дата
0,8	$1,9 \cdot 10^6$	23.05.2012
0,8	$3,0 \cdot 10^6$	13.08.2012
0,9	$1,7 \cdot 10^6$	31.10.2012
0,8	$0,7 \cdot 10^6$	5.02.2013
2,4	$1,3 \cdot 10^6$	15.05.2013
2,5	$1,0 \cdot 10^6$	8.08.2013
2,5	$1,3 \cdot 10^6$	23.10.2013
2,6	$8,3 \cdot 10^6$	27.02.2014

Распределение частиц взвеси по радиусу для оз. Красиловское в различные сезоны представлено на рисунке 4.

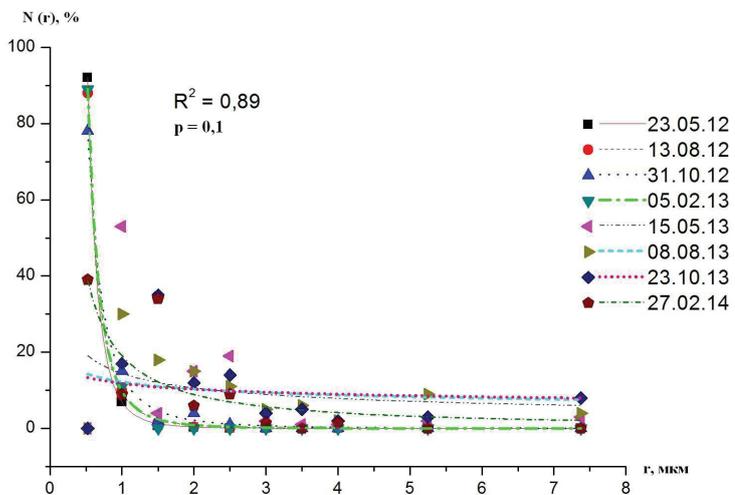


Рис. 4. Сезонное распределение частиц взвеси по радиусу в поверхностном слое оз. Красиловское (R^2 — квадрат коэффициента корреляции, p — достоверность)

Аппроксимация этих данных проводилась в соответствии с формулой Юнге. Всего было обработано 40 микрофотографий по восьми пробам с общим количеством частиц 3930 шт., что обеспечивает хорошую статистику и свидетельствует о высокой достоверности полученных результатов.

По данным исследований сезонной изменчивости показателя ослабления света на разных глубинах оз. Красиловское можно сделать следующие выводы. Рассчитанные нами спектральные показатели ослабления на основе экспериментальных данных о прозрачности изучаемого озера испытывают заметные изменения по спектру и не коррелируют с показателями поглощения для чистой (дистиллированной) воды. На наш взгляд, это обусловлено преимущественно

рассеянием и поглощением света на органических и минеральных частицах микровзвеси. По результатам расчетов показателя ослабления и концентрации хлорофилла «а» на озере обнаружена прямая зависимость величины ε на длине волны 430 нм от концентрации основного фотосинтетического пигмента. Показатель ослабления света водоема увеличивается в придонном слое вследствие оседания отмерших клеток водорослей фитопланктона и взмучивания донных отложений.

Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией водной экологии В.В. Кириллову за помощь в работе, н.с. А.В. Котовщикову за предоставленные данные измерений концентрации хлорофилла «а», м.н.с. О.С. Сутченковой за микрофотографии частиц взвеси.

Библиографический список

1. Лузгин Б.Н. Происхождение Красиловского озера // Известия Алт. гос. ун-та. — 1998. — №4.
2. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоёмов. Минск, 1960.
3. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // Limnology and Oceanography. — 1977. — Vol. 22, №2.
4. ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». — М., 2003.