

## Спектральная прозрачность Новосибирского водохранилища в летний период 2017 г.\*

*И.А. Суторихин, С.А. Литвиненко*

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

## Spectral Water Transparency of Novosibirsk Reservoir in Summer 2017

*I.A. Sutorikhin, S.A. Litvinenko*

Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the RAS (Barnaul, Russia)

Приведены результаты измерений спектрального показателя ослабления воды на разных глубинах в акватории Новосибирского водохранилища в диапазоне длин волн 400–800 нм в период 14–18 августа 2017 г. Маршрутная схема отбора проб воды по протяженности водохранилища составляла 200 км и включала десять створов, начинающихся от Камня-на-Оби и заканчивающихся приплотинной зоной ГЭС и Бердским заливом. Гидрооптические измерения включали также определения глубины видимости белого диска. Установлено, что наибольшее значение спектрального показателя ослабления воды в диапазоне 400–800 нм для поверхностного слоя в верхней части водохранилища достигает значения –  $30 \text{ м}^{-1}$ . Это обусловлено высокими средними скоростями течений, достигающих значений 1–1,5 м/с, незначительной глубиной, турбулентным перемешиванием водных масс, что приводит к повышению концентрации в воде взвесей и растворенных веществ. В средней части водохранилища, где средняя скорость течения в поверхностном слое снижается до 0,3–0,5 м/с, наибольшее значение спектрального показателя ослабления воды зафиксировано на уровне –  $8 \text{ м}^{-1}$ . В нижней и приплотинной частях водохранилища, где средняя скорость течения составляет 0,11–0,20 м/с, спектральный показатель ослабления воды не превышает значения –  $6 \text{ м}^{-1}$ . Для двух створов Бердского залива максимальные значения спектрального показателя ослабления зафиксированы на уровне – 5,5–8  $\text{м}^{-1}$ . В целом, по результатам экспедиционных работ количественно определен диапазон изменений спектрального показателя ослабления воды в летний период на разных глубинах для 10 створов по трем основным частям Новосибирского

The results of measurement of the spectral attenuation coefficient of water at different depths and at wavelength 400–800 nm carried out at the Novosibirsk reservoir during August 14–18, 2017 are presented. The route of water sampling along the reservoir measured 200 km in length and consisted of ten sections from the town of Kamen-na-Obi to the dam area of hydropower station and the Berdsk Gulf. The hydrooptical measurements involved the evaluation of the depth of Secchi disk visibility. It is found that the largest spectral attenuation coefficient of water at wavelength 400–800 nm for the surface layer in the upper part of the reservoir reached  $30 \text{ м}^{-1}$ . This is due to the high average flow rate reaching 1–15 m/s, shallow depth, turbulent mixing of water masses that leads to the increase of the concentration of suspensions and dissolved substances in water. In the middle part of the reservoir, where the average flow rate in the surface layer is reduced to 0.3–0.5 m/s, the highest spectral attenuation of water is observed at  $8 \text{ м}^{-1}$ . At the bottom and dam parts of the reservoir, where the average flow rate is 0.11–0.20 m/s, the spectral attenuation of water does not exceed  $6 \text{ м}^{-1}$ . The two sites of the Berdsk Gulf show the maximum spectral attenuation at 5.5–8  $\text{м}^{-1}$ . In general, the results of field investigations quantify the variations in the spectral attenuation of summer water at different depths for 10 sites of the three main parts of the Novosibirsk reservoir and the Berdsk Gulf. The obtained data provide a basis for the modeling of hydrophysical processes and the integrated assessment of the ecological state of the water body under study.

\*Работа выполнялась в рамках проекта СО РАН № 0383-2016-0002 «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для решения имитационных и прогностических задач водопользования и охраны водных ресурсов».

водохранилища и Бердского залива. Полученные данные являются основанием для моделирования гидрофизических процессов и интегральной оценки экологического состояния исследуемого водного объекта.

**Ключевые слова:** спектральный показатель ослабления света водой, гидрооптические измерения, прозрачность воды в видимом диапазоне, водная взвесь, спектрофотометр.

DOI 10.14258/izvasu(2018)1-08

### Введение

Новосибирское водохранилище — крупнейший водоем Западной Сибири. Существенное влияние на процессы, происходящие в нем, оказывают как изменения природной обстановки на юге Западной Сибири, так и антропогенная деятельность. В этой связи актуальным является разработка новых оперативных методов комплексного экологического мониторинга водохранилища. Как показано в работах [1–3], интегральной характеристикой, определяющей экологическое состояние водных объектов, как по площади акватории, так и по глубине, может служить спектральный показатель ослабления света  $\epsilon(\lambda)$ . Его значения определяются наличием в водной среде растворенного, взвешенного и коллоидного вещества (глина, ил, мелкодисперсные органические и неорганические вещества), а также планктона и других микроскопических организмов [4]. Все эти свойства определяют региональные особенности акватории. Взвесь, хлорофилл и растворенная органика совместно влияют на показатель ослабления света, но в разной степени в зависимости от длины световой волны. И если для пресноводных озер Алтайского

**Key words:** spectral attenuation coefficient of water, hydrooptical measurements, transparency of water in the visible range, water suspension, spectrophotometer.

края и озера Телецкого подобные исследования проводятся уже более пяти лет, то для Новосибирского водохранилища в гидрооптическом плане имеются данные лишь по глубине видимости белого диска Секки [5].

Целью настоящей работы являлось экспериментальное определение значений интегральной гидрооптической характеристики — спектрального показателя ослабления света  $\epsilon(\lambda)$  на длине волны 430–800 нм на различных глубинах акватории Новосибирского водохранилища от Камня-на-Оби до приплотинной зоны ГЭС и Бердского залива в фазу полного летнего прогрева.

### Районы измерений

Измерения были выполнены с 14 по 18 августа 2017 г. в ходе экспедиции теплохода-лаборатории ИВЭП СО РАН в верхней, средней, нижней частях Новосибирского водохранилища, приплотинной зоне ГЭС и Бердском заливе. Общая протяженность маршрута экспедиции составляла 200 км. В ходе экспедиции пробы воды отбирали на станциях в 10 створах, показанных на карте-схеме (рис. 1).

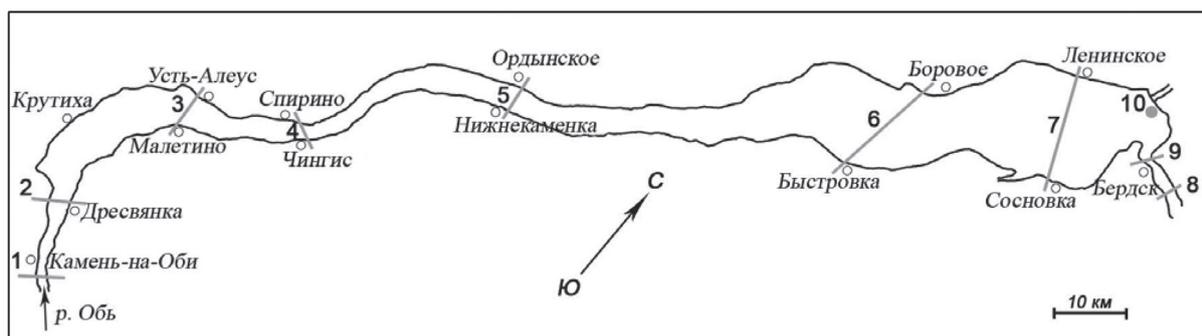


Рис. 1. Расположение створов по отбору проб воды на карте-схеме Новосибирского водохранилища

Для каждого створа станции подразделяли на правый, левый берег а также центральную часть.

Измерения включали: определение глубины видимости белого диска, измерения спектрального показателя ослабления отобранных проб воды, метеоизмерения, определение температуры воды.

### Аппаратура

Отбор проб воды производили с борта теплохода-лаборатории с использованием батометра Рутнера объемом 1,5 литра [6, 7]. Измерения спектральной прозрачности воды в диапазоне 43–800 нм осуществляли с шагом 20 нм на спектрофотометре

ПЭ-5400УФ. Водные пробы помещали в кварцевые (измерительные) кюветы размером 10x10 мм. В качестве жидкости сравнения использовали дистиллированную воду. По измеренным значениям коэффициента пропускания проб воды рассчитывали спектральный показатель ослабления света согласно закону Бугера — Ламберта — Бера [8]. Температуру воды измеряли с шагом 0,5 м с использованием цифрового дискретного измерителя температуры ЦДИТ — 10/0,5 с погрешностью 0,1 °С.

**Результаты измерений**

Анализ полученных натуральных данных показал, что наибольшее значение спектрального показателя ослабления воды в диапазоне 400–800 нм имеет место для поверхностного слоя. Так, в верхней части водохранилища, он достигает значения – 30 м<sup>-1</sup>. Это обусловлено высокими средними скоростями течений,

достигающих значений 1–1,5 м/с, небольшой глубиной, турбулентным перемешиванием водных масс, что приводит к повышению концентрации в воде взвесей и растворенных веществ [9, 10]. В средней части водохранилища, где средняя скорость течения в поверхностном слое снижается до 0,3–0,5 м/с, наибольшее значение спектрального показателя ослабления воды зафиксировано на уровне – 8 м<sup>-1</sup>. В нижней и приплотинной частях водохранилища средняя скорость течения составляет 0,11–0,20 м/с, а спектральный показатель ослабления воды не превышает значения – 6 м<sup>-1</sup>. Для двух створов Бердского залива максимальные значения спектрального показателя ослабления зафиксированы на уровне – 5,5–8 м<sup>-1</sup>. На рисунках 2 и 3 показаны графики изменения спектрального показателя ослабления света в поверхностном слое воды водохранилища для срединной части створов (от 1 до 7), а также в Бердском заливе.

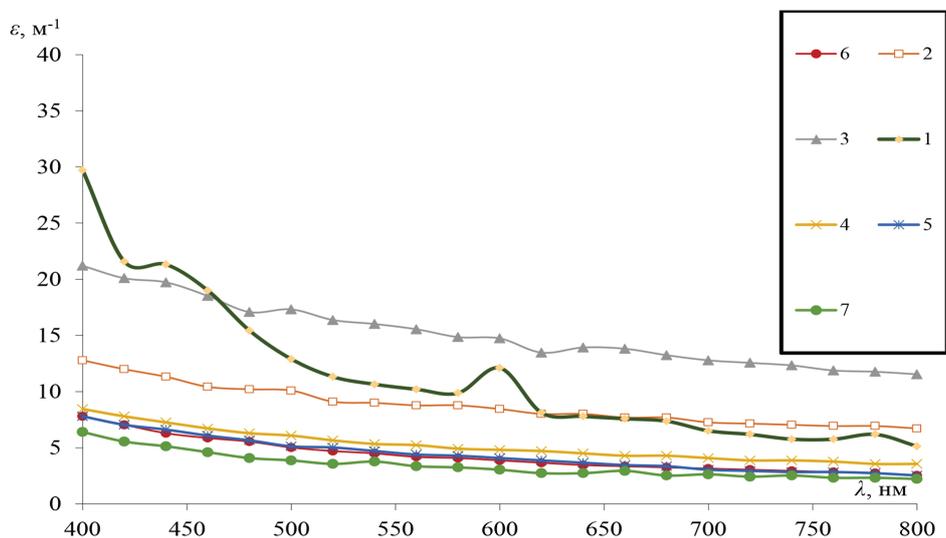


Рис. 2. Спектральный показатель ослабления света в поверхностном слое воды в створях 1–7

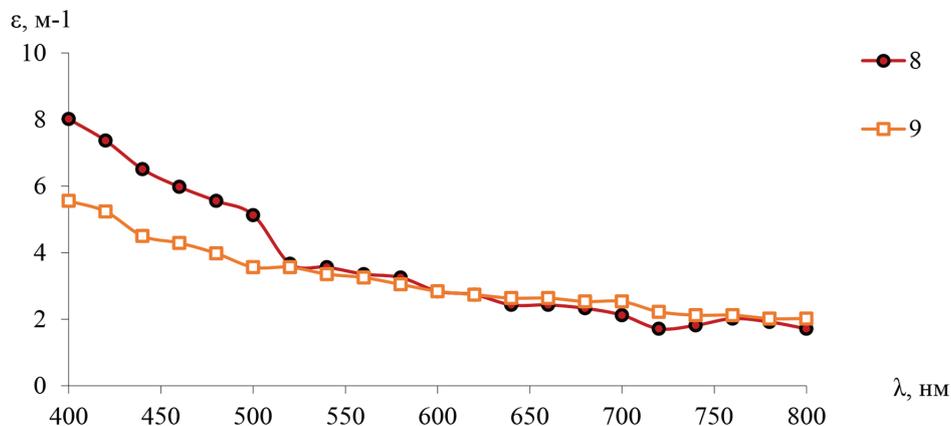


Рис. 3. Спектральный показатель ослабления света в поверхностном слое воды в Бердском заливе

Глубина видимости белого диска  $h$  в срединных частях створов 1–10 по маршрутной схеме водохранилища изменяется довольно существенно: от 0,30 м в верхней его части до 1,5 м в приплотинной зоне и Бердском заливе (табл.).

Глубина видимости белого диска  $h$  в срединных частях створов 1–10 Новосибирского водохранилища

Номер створа	$h$ , м
1	0,30
2	0,35
3	0,45
4	0,55
5	0,95
6	1,35
7	1,50
8	1,40
9	1,45
10	1,50

### Обсуждение результатов

Полученные в ходе экспедиционных работ данные позволили количественно определить диапазон изменений спектрального показателя ослабления воды в летний период для 10 створов по трем основным частям Новосибирского водохранилища и Бердского залива. В целом, от довольно замутненной с высокими средними скоростями течений верхней части водохранилища до нижней (озерной) части спектральный показатель ослабления уменьшается в пять раз. Такое же соотношение между верхней и нижней частями водохранилища выполняется и для глубины видимости белого диска. Таким образом, увеличение прозрачности воды водохранилища от верхней к нижней части обусловлено снижением средней скорости течения от 1–1,5 м/с до 0,11–0,20 м/с и осаждением твердой взвеси.

### Выводы

В работе представлены результаты исследований гидрооптических свойств воды Новосибирского водохранилища на основе данных натурных измерений, выполненных с 14 по 18 августа 2017 г. В число измеренных параметров вошли: спектральный показатель ослабления света в диапазоне длин волн 400–800 нм, глубина видимости белого диска Секки, профиль температуры воды, метеоданные. Анализ полученных данных показал, что наибольшее значение спектрального показателя ослабления воды в диапазоне 400–800 нм для поверхностного слоя в верхней части водохранилища достигает значения – 30 м<sup>-1</sup>. Это обусловлено высокими средними скоростями течений, достигающих значений 1–1,5 м/с, небольшой глубиной, турбулентным перемешиванием водных масс, что приводит к повышению концентрации в воде взвесей и растворенных веществ. В средней части водохранилища, где средняя скорость течения в поверхностном слое снижается до 0,3–0,5 м/с, наибольшее значение спектрального показателя ослабления воды зафиксировано на уровне – 8 м<sup>-1</sup>. В нижней и приплотинной частях водохранилища, где средняя скорость течения составляет 0,11–0,20 м/с, спектральный показатель ослабления воды не превышает значения – 6 м<sup>-1</sup>. Для двух створов Бердского залива максимальные значения спектрального показателя ослабления зафиксированы на уровне – 5,5–8 м<sup>-1</sup>. Результаты по спектральному показателю ослабления воды, полученные для трех зон Новосибирского водохранилища в летний период, служат основанием для моделирования гидрофизических процессов и интегральной оценки экологического состояния исследуемого водного объекта.

*Авторы выражают благодарность начальнику «Водно-экологического» экспедиционного отряда, к.б.н., научному сотруднику лаборатории водной экологии ИВЭП СО РАН А. В. Котовицикову за содействие в проведении экспедиционных работ.*

### Библиографический список

1. Суторихин И.А., Букатый В.И., Харламова Н.Ф., Акулова О.Б. Климатические условия и гидрооптические характеристики пресноводных озер Алтайского края. — Новосибирск, 2016.
2. Суторихин И.А., Фроленков И.М. Оценка трофического статуса Телецкого озера по данным гидрооптических измерений в видимом диапазоне // Известия Алтайского гос. ун-та. — 2017. — № 4 (96). DOI: 10.14258/izvasu(2017)4-11
3. Arst H., Erm A., Herlevi A., Kutser T., Leppäranta M., Reinart A., Virta J. Optical properties of boreal lake waters in Finland and Estonia // Boreal Environment Research. — 2008.
4. Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Корчёмкина Е.Н., Мартынов О.В. Определение концентрации примесей в морской воде по спектру яркости восходящего излучения // Морской гидрофизический журнал. — 2015. — № 6.
5. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / В.М. Савкин и др. ; отв. ред. О.Ф. Васильев. — Новосибирск, 2014.

6. Jonathan Sharples, Jacqueline F. Tweddle, J. A. Mattias Green et al. Spring–neap modulation of internal tidemixing and vertical nitrate fluxes at a shelf edge in summer // *Limnol. Oceanogr.* — 2007. — V.52, N 5.

7. Гальцова В.В., Дмитриев В.В. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных систем : учебное пособие. — СПб., 2007.

8. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. — Л., 1983.

9. Vazyulya S., Khrapko A., Kopelevich O., Burenkov V., Eremina T., Isaev A. Regional algorithms for the estimation of chlorophyll and suspended matter concentration in the Gulf of Finland from MODIS-Aquasatellite data // *Oceanologia.* — 2014. — V. 56, № 4.

10. Pope R.M., Fry E.S. Absorption spectrum 380–700 nm of pure water. II. Integrating cavity measurements // *Appl. Opt.* — 1997. — Vol. 36, №33.