

Раздел 2

ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ

Section 2

HYDROLOGY. CLIMATE

УДК 535.8:556.5:574.5

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОЗЕРА КРАСИЛОВСКОЕ

О.Б. Акулова, В.И. Букатый, К.В. Марусин

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,**E-mail: akulova8282@mail.ru, v.bukaty@mail.ru, kat@iwep.ru*

*В статье представлены многолетние экспериментальные данные по спектральной прозрачности воды в поверхностном слое озера Красиловское (Косихинский район Алтайского края), полученные в весенний период 2012–2023 гг. Рассчитанные значения показателя ослабления света в спектральном диапазоне 400–800 нм за исследуемый период находились в достаточно широком диапазоне от 0.6 до 35.0 м⁻¹, показателя поглощения света жёлтым веществом – от 0.1 до 26.1 м⁻¹. Измерены концентрации хлорофилла *a* и жёлтого вещества. Содержание хлорофилла *a* в поверхностном слое водоёма изменялось за 11-летний период в пределах 2.8–34.6 мг/м³. Концентрация жёлтого вещества на озере, определяемая оптическим методом по измеренному показателю поглощения света жёлтым веществом на длине волны $\lambda=450$ нм, варьировала в пределах 4.4–60.1 г/м³. Проведена оценка спектрального вклада основных оптически активных компонентов воды (жёлтого вещества, взвеси, хлорофилла *a* и чистой воды) в показатель ослабления света для поверхностного слоя водоёма. Выявлено, что максимальный вклад в суммарное ослабление света вносит жёлтое вещество и взвесь.*

Ключевые слова: озеро; спектральная прозрачность; показатель ослабления света; показатель поглощения света жёлтым веществом; относительная прозрачность по диску Секки; оптически активные компоненты воды; трофический статус.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-17102

Дата поступления: 19.07.2023. *Принята к печати:* 22.09.2023

В связи с тем, что в современных условиях наметившихся тенденций ускоренной трансформации разнотипных озёр Алтайского края под влиянием антропогенных и естественных факторов комплексный экологический мониторинг на водоёмах имеет большое значение. Он включает постоянные экспериментальные наблюдения, оценку состояния и прогноз изменения исследуемых водных объектов.

Особое место при изучении водных экосистем занимают гидрооптические характеристики [Ерлов, 1980; Копелевич, 1983; Шифрин, 1983; Апонасенко, 2001], которые имеют очень важное значение (наряду с гидробиологическими и гидрохимическими характеристиками) для получения параметров качества воды, особенно – оценки степени эвтрофирования и санитарно-биологического состояния, в

частности, масштабов биозагрязнения. Оценка качества воды и контроль состояния таких озёрных экосистем необходимы для проведения комплекса водоохраных мероприятий, направленных на предотвращение отрицательных экологических последствий антропогенного воздействия, защиту водоёмов от загрязнения и истощения.

Цель работы – исследование динамики спектральной прозрачности воды и оптического вклада её компонентов в поверхностном слое озера Красиловское в весенний период 2012–2023 гг.

В основу данной статьи положены результаты совместных исследований авторов, которые ранее были представлены в работах [Акулова, 2015; Суторихин и др., 2016; Суторихин и др., 2017].

Материалы и методы исследования

Объект исследования – озеро Красиловское (53°18'13"с.ш., 83°36'16"в.д.), которое расположено в 60 км от краевого центра (Косихинский район Алтайского края). Озеро является непроточным водоёмом, береговая линия которого сильно изрезана, а его питание происходит за счёт атмосферных осадков, талых и грунтовых вод. В засушливые годы бессточное озеро сильно мелеет, а в многоводный период вода перекачивается через пологие берега и затопляет окрестную территорию. Весенняя фаза водного режима является важным периодом, обуславливающим сохранение водоёма. В основном это зависит от совокупности следующих факторов: температурного режима и выпадения атмосферных осадков во время снеготаяния, влагосодержания снежного

покрова. Другими важными факторами, влияющими на интенсивность весеннего изменения уровня воды, являются температурный режим в зимний период, степень увлажнённости почвы в период осеннего замерзания и глубина её промерзания. Весенняя фаза водного режима относится к категории циклических, ежегодно повторяющихся явлений, однако проблема точности его прогноза до сих пор остается актуальной [Показеев, Филатов, 2002].

Основой для выполнения научно-исследовательской работы на озере в весенний период 2012–2023 гг. послужили результаты обработки и анализа 88 водных проб. В лаборатории нами проведено 1188 измерений спектральной прозрачности воды на стационарном спектрофотометре ПЭ-5400УФ до и после фильтрации проб. Измерения гидрооптических характеристик в пробах воды, взятых в поверхностном слое исследуемого водоёма, проводили в режиме измерений спектральной прозрачности (коэффициента пропускания) воды, затем рассчитывали показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$. Расчёты проводили по формуле

$$\varepsilon(\lambda) = \left(\frac{1}{L}\right) * \ln\left(\frac{1}{T(\lambda)}\right), \quad (1)$$

вытекающей из закона Бугера, где L – длина кюветы, $T(\lambda) = I(\lambda) / I_0(\lambda)$ – спектральная прозрачность в относительных единицах, $I(\lambda)$, $I_0(\lambda)$ – интенсивности прошедшего и падающего света, соответственно, λ – длина волны света. Максимальная абсолютная погрешность $\varepsilon(\lambda)$ и показателя поглощения света жёлтым веществом $\kappa_{жв}(\lambda)$ составила 0.5 м^{-1} . Значения $\varepsilon(\lambda)$ и $\kappa_{жв}(\lambda)$ рассчитаны при натуральном основании логарифма. Расчётные формулы для показателей

поглощения света жёлтым веществом $\kappa_{\text{жв}}(\lambda)$ и концентраций жёлтого вещества $C_{\text{жв}}$ подробно описаны в работах [Nyquist, 1979; Маньковский, 2015], для спектрального вклада оптически активных компонентов озёрной воды в $\varepsilon(\lambda)$ – [Копелевич, 1983; Акулова, 2015].

Также проводили измерения относительной прозрачности Z с помощью диска Секки. Дополнительно определяли стандартным спектрофотометрическим методом согласно ГОСТ 17.1.4.02-90 концентрацию хлорофилла a .

Результаты и обсуждение

За исследуемый период (2012–2023 гг.) значения показателя ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ в спектральном диапазоне 400–800 нм в пробах воды, отобранных в поверхностном слое озера Красиловское находились в достаточно широком диапазоне от 0.6 до 35.0 м⁻¹, показателя поглощения света жёлтым веществом от 0.1 до 26.1 м⁻¹ (рис. 1). Величины $\varepsilon(\lambda)$ в мае 2023 г. очень близки к весенним значениям прошлого года (выезд 17 мая 2022 г.), но значительно отличаются от 2018 г. (выезд 7 мая), где величины $\varepsilon(\lambda)$

находились в диапазоне 5.1–35.0 м⁻¹.

Из рис. 1 видно, что за 11-летний период оптических исследований озера амплитуда колебаний значений $\varepsilon(\lambda)$ в поверхностном слое изменялась в широких пределах, максимальные величины $\varepsilon(\lambda)$ зафиксированы летом в 2018 г., минимальные – 2023 г. Водоём за период исследований изменил свой трофический статус дважды, от мезотрофного (2012 г.) до эвтрофно-гиперэвтрофного (2018 г.), и в 2023 г. значения $\varepsilon(\lambda)$ оказались близки к минимальным величинам 2012 г., что говорит нам о том, что экосистема озера оказалась устойчивой к антропогенным факторам нагрузки и способной к самоочищению. В нашем случае, причиной изменений показателя ослабления света существенно зависят от концентраций хлорофилла a и жёлтого вещества. Результаты по концентрации жёлтого вещества $C_{\text{жв}}$ в поверхностном слое озера за 6-летний период (2017–2023 гг.) варьировали также в широком диапазоне 4.4–60.1 г/м³ со средним значением 27.2 г/м³. За последние два года значения $C_{\text{жв}}$ снизились до минимума (4.4 г/м³).

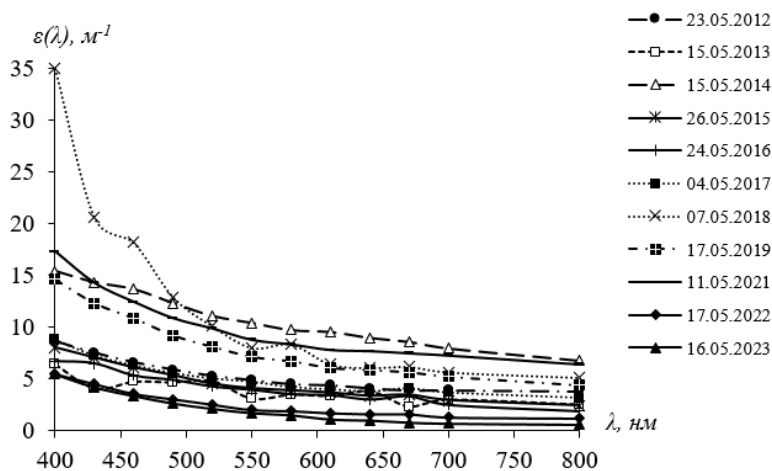


Рис. 1. Значения показателя ослабления света в зависимости от длины волны в поверхностном слое озера Красиловское

Fig. 1. Light attenuation values depending on a wavelength in the surface layer of Lake Krasilovskoye

Для примера на рис. 2 приведена многолетняя динамика концентраций C_{chl} хлорофилла *a* на разных глубинах *h* озера Красиловское.

Концентрации основного фотосинтетического пигмента C_{chl} за 11-летний период показали значительные изменения в очень широких пределах (3.3–60.0 мг/м³), которые за последние три года довольно сильно снизились (2.5–21.9 мг/м³). Это может быть обусловлено различными причинами, в том числе: изменением температуры воды, концентрацией биогенных элементов, освещённости, ветровыми течениями и др. Результаты определения концентрации хлорофилла *a* в озере выявили различия вертикального распределения содержания пигмента в разные годы. Исследуемое озеро характеризуется более высокими показателями концентрации хлорофилла *a*, в основном, в придонном горизонте водоёма 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). Видовой состав, развитие и распределение водорослей фитопланктона на озере Красиловское в марте и августе 2017 г., а также в феврале 2018 г. подробно представлены в работе [Винокурова и др., 2021]. Выявлена связь гидрооптических характеристик с содержанием хлорофилла *a* (в диапазоне 400–460 и 670–800 нм) и связь с общей численностью фитопланктона (в диапазоне 520–580 нм), что свидетельствует об активном развитии водорослей как в период открытой воды, так и в подлёдный период.

Величины относительной прозрачности *Z* за десять лет (2013–2023 гг.) изменялись в широком диапазоне – от 40 до 154 см со средним значением 101 см. Вода в озере в весенний период стала значительно прозрачнее за последние три года.

Среднее значение концентрации общего фосфора $P_{общ}$ в поверхностном слое озера Красиловское за исследуемый период (2013–2023 гг.) составило 23.0 мг/м³, общего азота $N_{общ}$ – 233.0 мг/м³, общего углерода $C_{общ}$ – 27000.0 мг/м³.

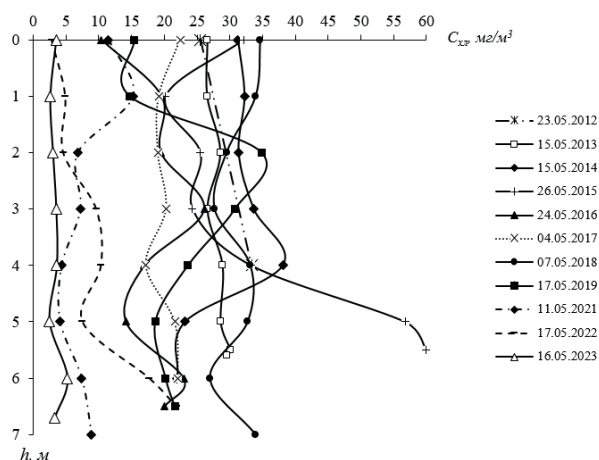


Рис. 2. Вертикальное распределение хлорофилла *a* в озере в весенний период 2012–2023 гг.

Fig. 2. Vertical distribution of chlorophyll *a* in the lake in spring of 2012–2023.

В таблице представлены результаты компонентов озёрной воды для расчётов относительного спектрального поверхностного слоя озера в майский вклад основных оптически активных период 2014–2023 гг.

Таблица

Относительный спектральный вклад (%) компонентов озёрной воды в показатель ослабления света на озере Красиловское в весенний период

Table

Relative spectral contribution (%) of lake water components to light attenuation at Lake Krasilovskoye in spring

Длина волны λ , нм	Показатели поглощения			Показатели рассеяния	Показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$, m^{-1}
	$\frac{\kappa_{\text{ве}}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\frac{\kappa_{\text{мве}}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\frac{\kappa_{\text{хл}}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\frac{\sigma_{\text{вс}}(\lambda) + \sigma_{\text{мвл}}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	
15.05.2014 при $C_{\text{хл}} = 31.3$ мг/м ³					
430	0.1	32.6	17.4	49.9	14.3
550	0.5	26.4	2.0	71.1	10.4
670	5.0	24.6	14.5	55.9	8.6
26.05.2015 (при $C_{\text{хл}} = 32.1$ мг/м ³)					
430	0.1	57.1	36.5	6.3	7.0
550	1.4	43.0	0.5	55.1	4.0
670	12.0	36.1	35.2	16.7	3.4
24.05.2016 (при $C_{\text{хл}} = 10.4$ мг/м ³)					
430	0.1	50.7	12.8	36.4	6.5
550	1.4	45.0	1.6	52.0	4.0
670	12.0	36.1	11.5	40.4	3.6
04.05.2017 (при $C_{\text{хл}} = 22.4$ мг/м ³)					
430	0.1	69.4	24.8	5.7	7.2
550	1.2	51.0	3.0	44.8	4.7
670	10.6	44.0	21.8	23.6	4.1
07.05.2018 (при $C_{\text{хл}} = 34.6$ мг/м ³)					
430	0.1	70.4	13.4	16.1	20.6
550	0.7	60.0	2.8	36.5	8.0
670	7.0	50.0	22.3	20.7	6.2
17.05.2019 (при $C_{\text{хл}} = 15.4$ мг/м ³)					
430	0.1	76.4	10.0	13.5	12.3
550	0.8	73.2	1.4	24.6	7.1
670	7.7	66.1	11.0	15.2	5.6
11.05.2021 (при $C_{\text{хл}} = 11.5$ мг/м ³)					
430	0.1	58.0	6.4	35.5	14.3
550	0.6	50.0	0.8	48.6	8.8
670	5.8	45.3	6.1	42.8	7.5
17.05.2022 (при $C_{\text{хл}} = 2.8$ мг/м ³)					
430	0.1	26.7	5.0	68.2	4.5
550	2.8	20.0	0.9	76.3	2.0
670	27.2	6.3	7.0	59.5	1.6
16.05.2023 (при $C_{\text{хл}} = 3.5$ мг/м ³)					
430	0.1	30.9	6.7	62.3	4.2
550	3.3	29.4	1.3	66.0	1.7
670	54.4	12.5	17.5	15.6	0.8

В результате расчётов получено, что максимальный вклад в $\varepsilon(\lambda)$ в основном вносит жёлтое вещество (ЖВ) и взвесь (ВЗ). Наибольший вклад ЖВ в общее ослабление при $\lambda=430$ нм приходится на 2018 и 2019 гг. – 70.4 и 76.4%, соответственно, минимальный вклад ЖВ в показатель ослабления света зафиксирован в 2022 г. – 26.7%. На длине волны 550 нм вклад ЖВ в период исследования находился в пределах от 20.0 (2022 г.) до 73.2% (2019 г.), а в длинноволновой области спектра (при $\lambda=670$ нм) – от 6.3 (2022 г.) до 66.1% (2019 г.). Взвесь даёт максимальный вклад в суммарное ослабление света на длине волны 550 нм и составляет 24.6–76.3%. Наибольший вклад ВЗ в $\varepsilon(\lambda)$ при $\lambda=430$ нм приходится на май 2023 и 2022 гг. – 62.3 и 68.2%, соответственно. При $\lambda=670$ нм максимальные значения вклада ВЗ зафиксированы в 2022 г. и составили около 60%. Вклад хлорофилла (ХЛ) в ослабление света максимален при $\lambda=430$ и 670 нм, минимум – при $\lambda=550$ нм. Выбранные длины волн для расчётов – 430 и 670 нм характеризуются максимальным поглощением света хлорофиллом a в данном спектральном диапазоне, а длина волны 550 нм соответствует центру спектрального интервала 400–800 нм, на который приходится подавляющая часть энергии солнечного излучения. Чистая вода (ЧВ) вносит несущественный вклад в ослабление света при $\lambda=430$ нм во всех случаях составляет не более 0.1%, но резко увеличивается при $\lambda=670$ нм. Отметим, что за последние два года вырос вклад чистой воды в $\varepsilon(\lambda)$ в длинноволновой области спектра.

Трофический статус озера оценивали с применением трофического индекса TSI (Trophic State Index) Карлсона [Carlson, 1977] и значений спектральной прозрачности воды. В результате расчётов получено, что трофический статус озера Красиловское в период исследования можно охарактеризовать, в основном, как эвтрофный.

Выводы

1. В результате проведённых исследований по динамике спектральной прозрачности воды в диапазоне 400–800 нм в майский период 2012–2023 гг. для поверхностного слоя озера Красиловское нами рассчитаны показатели ослабления. На основе экспериментальных данных о спектральной прозрачности воды изучаемого водоёма следует, что изменения по спектру не коррелируют с показателями поглощения для чистой воды. На наш взгляд, это обусловлено рассеянием и поглощением света органических и минеральных частиц водной взвеси в вышеуказанном озере.

2. На основе статистически полученных нами данных гидрооптических ($\varepsilon(\lambda)$, $\kappa_{жв}(\lambda)$, Z), гидробиологических ($C_{хл}$) и гидрохимических ($P_{общ}$, $N_{общ}$, $C_{общ}$) характеристик сделаны оценки качества вод и их продуктивности в водоёме Алтайского края (на примере майских выездов на озеро Красиловское в период 2012–2023 гг.).

3. Использование модифицированной полуэмпирической модели ослабления света, учитывающей поглощение света терригенными и биогенными частицами,

позволило рассчитать относительные воды, хлорофилла *a*, жёлтого вещества и спектральные вклады основных оптически взвеси) в $\varepsilon(\lambda)$ в поверхностном слое озера активных компонентов воды (чистой Красиловское в период 2014–2023 гг.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект «Изучение механизмов природных и антропогенных изменений количества и качества водных ресурсов Сибири с использованием гидрологических моделей и информационных технологий»).

Авторы глубоко признательны заведующему лабораторией гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН А.Т. Зиновьеву за организацию полевых выездов на озеро, сотрудникам ХАЦ ИВЭП СО РАН под руководством д-ра хим. наук Т.С. Папиной за предоставленные данные измерений концентрации общего углерода, азота и фосфора для исследуемого озера.

Список литературы

1. Акулова О.Б. Разработка методов и измерительно-вычислительного комплекса для оценки экологически значимых гидрооптических характеристик пресноводных водоёмов (на примере озёр Алтайского края): Дис. ... канд. тех. наук. Барнаул, 2015. 176 с.
2. Апонасенко А.Д. Количественные закономерности функциональной организации водных экосистем в связи с их дисперсной структурой: Дис. ... докт. физ.-мат. наук. Красноярск, 2001. 316 с.
3. Винокурова Г.В., Суторихин И.А., Коломейцев А.А., Фроленков И.М. Анализ состояния биологических сообществ континентального водоема с использованием гидрооптических характеристик // Биология внутренних вод. 2021. № 2. С. 142–150. doi: 10.31857/S0320965221010162
4. Ерлов Н.Г. Оптика моря. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 248 с.
5. Копелевич О.В. Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды // Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана / Ред. А.С. Мони́на. Москва: Наука, 1983. С. 208–235.
6. Маньковский В.И. Жёлтое вещество в поверхностных водах восточной части Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 3. С. 53–61.
7. Показеев К.В., Филатов Н.Н. Гидрофизика и экология озёр. Т. 1. Гидрофизика. Москва, 2002. 276 с.
8. Суторихин И.А., Акулова О.Б., Букатый В.И., Фроленков И.М. Определение трофического статуса пресноводных озёр Алтайского края в период 2013–2016 гг. по гидрооптическим характеристикам // Известия АлтГУ. 2017. № 1 (93). С. 58–61. doi: 10.14258/izvasu(2017)1-10

9. Суторихин И.А., Букатый В.И., Харламова Н.Ф., Акулова О.Б. Климатические условия и гидрооптические характеристики пресноводных озёр Алтайского края. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 162 с.

10. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Ленинград, 1983. 278 с.

11. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. 1977. Vol. 22, no. 2. P. 361–369.

12. Nyquist G. Investigation of some optical properties of sea water with special reference to lignin sulfonates and humic substances: Summary of PhD Thesis. Göteborg, Sweden, 1979. 200 p.

References

1. Akulova O.B. Razrabotka metodov i izmeritelno-vychislitel'nogo kompleksa dlya otsenki ekologicheskikh znachimykh gidroopticheskikh kharakteristik presnovodnykh vodoemov (na primere ozer Altayskogo kraya) [Development of methods and a measuring and computing complex for assessing environmentally significant hydrooptical characteristics of freshwater reservoirs (using the example of lakes in the Altai Region)]: PhD (Candidate of Technical Sciences) thesis. Barnaul, 2015. 176 p. (in Russian).

2. Aponasenko A.D. Kolichestvennyye zakonomernosti funktsionalnoy organizatsii vodnykh ekosistem v svyazi s ikh dispersnoy strukturoy [Quantitative patterns of functional organization of aquatic ecosystems due to their dispersed structure]: DSc (Doctor of Physical and Mathematical Sciences) thesis. Krasnoyarsk, 2001. 316 p. (in Russian).

3. Vinokurova G.V., Sutorikhin I.A., Kolomeytshev A.A., Frolenkov I.M. Analiz sostoyaniya biologicheskikh soobshchestv kontinental'nogo vodoema s ispolzovaniem gidroopticheskikh kharakteristik [Analysis of the state of biological communities of the continental reservoir using hydrooptic characteristics] // *Biologiya vnutrennikh vod* [Inland Water Biology]. 2021. No. 2. P. 142–150. doi: 10.31857/S0320965221010162 (in Russian).

4. Erlov N.G. Optika moray [Sea optics]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. 248 p. (in Russian).

5. Kopelevich O.V. Maloparametricheskaya model opticheskikh svoystv morskoy vody [Low-parameter model of optical properties of seawater] // *Optika okeana. T. 1. Fizicheskaya optika okeana* [Ocean optics. V. 1. Physical optics of the ocean] / Ed. A.S. Monina. Moscow: Nauka, 1983. P. 208–235. (in Russian).

6. Mankovskiy V.I. Zheltoe veshchestvo v poverkhnostnykh vodakh vostochnoy chasti Tropicheckoy Atlantiki [Yellow matter in the surface waters of the eastern Tropical Atlantic] // *Morskoy gidrofizicheskii zhurnal* [Marine Hydrophysical Journal]. 2015. No. 3. P. 53–61. (in Russian).

7. Pokazeev K.V., Filatov N.N. Gidrofizika i ekologiya ozer. T. 1. Gidrofizika. [Hydrophysics and ecology of lakes. V. 1. Hydrophysics]. Moscow, 2002. 276 p. (in Russian).

8. Sutorikhin I.A., Bukatyy V.I., Kharlamova N.F., Akulova O.B. Klimaticheskie usloviya

i gidroopticheskie kharakteristiki presnovodnykh ozer Altayskogo kraya [Climatic conditions and hydrooptical characteristics of freshwater lakes of the Altai Region]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2016. 162 p. (in Russian).

9. Sutorikhin I.A., Akulova O.B., Bukatyy V.I., Frolenkov I.M. Opredelenie troficheskogo statusa presnovodnykh ozer Altayskogo kraya v period 2013–2016 gg. po gidroopticheskim kharakteristikam [Determination of the trophic status of freshwater lakes of the Altai Region in the period 2013-2016 by hydrooptic characteristics] // Izvestiya AltGU [Bulletin AltSU]. 2017. No. 1 (93). P. 58–61. doi: 10.14258/izvasu(2017)1-10 (in Russian).

10. Shifrin K.S. Vvedenie v optiku okeana [Introduction to ocean optics]. Leningrad: 1983. 278 p. (in Russian).

11. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // Limnology and Oceanography. 1977. Vol. 22, no. 2. P. 361–369.

12. Nyquist G. Investigation of some optical properties of sea water with special reference to lignin sulfonates and humic substances: Summary of PhD Thesis. Göteborg, Sweden, 1979. 200 p.

LONG-TERM DYNAMICS OF SPECTRAL WATER TRANSPARENCY IN THE SURFACE LAYER OF LAKE KRASILOVSKOYE

O.B. Akulova, V.I. Bukaty, K.V. Marusin

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: akulova8282@mail.ru, v.bukatyy@mail.ru, kat@iwep.ru

*The paper presents the long-term experimental data (spring of 2012–2023) on spectral transparency of water in the surface layer of Lake Krasilovskoye (Kosikhinsky region, Altai Krai). For the study period, the widely varying light attenuation index ($0.6–35.0\text{ m}^{-1}$) was calculated at the spectral range of 400–800 nm; the light absorption index of yellow substance made up $0.1–26.1\text{ m}^{-1}$. The concentrations of chlorophyll *a* and yellow substance were measured. Over the study period, the content of chlorophyll *a* in the surface layer of the lake was within $2.8–34.6\text{ mg/m}^3$; the concentration of yellow substance determined with the use of the optical method from the measured light absorption by yellow substance at a wavelength of $\lambda=450\text{ nm}$ ranged as $4.4–60.1\text{ g/m}^3$. We estimated the spectral contribution of the main optically active components of water (yellow substance, suspended matter, chlorophyll *a* and pure water) to the light attenuation index for the surface layer of the water body and revealed that yellow substance and suspended matter provided maximum contribution to the total light attenuation.*

Keywords: lake; spectral transparency; light attenuation index; light absorption index by yellow substance; relative transparency by Secchi disk; optically active components of water; trophic status.

Received July 19, 2023. Accepted: September 22, 2023

Сведения об авторах

Акулова Ольга Борисовна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID:0000-0002-3677-090X. E-mail: akulova8282@mail.ru.

Букатый Владимир Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0009-0005-1635-0704. E-mail: v.bukaty@mail.ru.

Марусин Константин Валерьевич – научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-1565-8326. E-mail: kat@iwep.ru.

Information about the authors

Akulova Olga Borisovna – PhD in Technical Sciences, researcher associate Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-3677-090X. E-mail: akulova8282@mail.ru.

Bukaty Vladimir Ivanovich – Dr Sc. in Physics and Mathematics, Professor, Chief researcher of Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0009-0005-1635-0704. E-mail: v.bukaty@mail.ru.

Marusin Konstantin Valeryevich – researcher associate Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-1565-8326. E-mail: kat@iwep.ru.