



УДК 535.8+556.5

О.Б. Акулова, В.И. Букатый, К.П. Попов
O.B. Akulova, V.I. Bukatyi, K.P. Popov

СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРЁННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДОЁМАХ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО УРОВНЯ

DISSOLVED ORGANIC MATTER CONTENT IN WATER BODIES OF DIFFERENT TROPHIC STATUS

Ключевые слова: растворённое органическое вещество, озёра, спектральная прозрачность воды, показатель ослабления света, жёлтое вещество, прозрачность воды по диску Секки, трофический статус, физическая модель, взвесь, хлорофилл.

Поскольку растворённое органическое вещество (РОВ) природного происхождения из-за наличия гуминовых соединений хорошо поглощает ультрафиолетовый свет и люминесцирует, его спектры с успехом используются при решении таких важных задач, как контроль качества водных экосистем и технологических водных сред. Такая информация необходима, чтобы на ранней стадии иметь возможность регистрировать появление в водной среде антропогенного загрязнения и следить за его развитием во времени, распространением по глубинам и изменением концентрации. Особый интерес с точки зрения оптики представляет та часть РОВ, которую Калле назвал жёлтым веществом (ЖВ) (по-немецки Gelbstoff, по-английски yellow substance). Показатель поглощения света жёлтым веществом прямо пропорционален его концентрации, что позволяет оценивать содержание ЖВ по оптическим свойствам. Оценка влияния жёлтого вещества на спектральную прозрачность воды в пресноводных озёрах Алтайского края проведена в период 2014-2016 гг. Анализ данных, полученных авторами за период исследований трёх водоёмов разного трофического уровня: озёр Лапа, Красиловское и Большое Островное, позволяет заключить, что жёлтое вещество даёт максимальный вклад в показатель ослабления света (при $\lambda=430$ нм) зимой 2016 г. на оз. Лапа (93,3%), оз. Красиловское – (85,7%) и летом 2016 г. – на оз. Лапа (74,6%), оз. Большое Островное (79,2%); зимой в 2015 г. – на озёрах Красиловское и Большое Островное и составляет 81,9 и 55,1% соответственно. На оз. Лапа весной и осенью 2014 г. вклад ЖВ достигает до 59%, но для оз. Большое Островное понижается до 11,5 и 19,5% соответственно. При $\lambda=550$ нм вклад жёл-

того вещества на оз. Красиловское наблюдался в пределах от 26,4 до 82,1% за исследуемый период, на оз. Лапа – до 37,2% (весной), 75,0% (летом), 48,0% (осенью) и 55,0% (зимой). Но для оз. Большое Островное произошло резкое увеличение значений, а именно к зиме 2016 г. (17,7%) от весенне-летнего периода (6,7 и 7,6% соответственно), но с заметным повышением к осени – 20,9% (2014 г.) и лету – 96,8% (2015 г.). При $\lambda=670$ нм максимальные значения вклада ЖВ зафиксированы только на оз. Лапа летом 2016 г. (50,0%) и летом 2015 г. на оз. Большое Островное (70,4%). Полученные в работе результаты представляют большой интерес для понимания процессов, происходящих в озёрной среде. Наблюдения за изменением содержания жёлтого вещества дают возможность судить о биологической продуктивности, экологической чистоте и о внутренней динамике вод исследуемых объектов.

Keywords: dissolved organic matter, lakes, spectral transparency of water, light attenuation coefficient, yellow substance, water transparency by Secchi disk, trophic status, physical model, suspension, chlorophyll.

Since dissolved organic matter (DOM) of natural origin absorbs UV light and fluoresces due to the presence of humic compounds, its spectra are successfully used in solving such topical problems as quality control of aquatic ecosystems and technological aquatic environments. It enables to detect contamination in the aquatic environment and to trace its development in time, spread in depth and change in concentrations. The DOM's part (called by Calle as yellow substance) is of particular optics interest. The rate of light absorption by yellow substance is directly proportional to its concentration that enables to evaluate its content through optical properties. The paper deals with the assessment of yellow substance effect on spectral water transparency in freshwater lakes of the Altai Krai (Altai Region) for the years from 2014 till 2016. The analysis of the obtained research data on 3 water bodies with dif-

ferent trophic status (i.e. lakes Lapa, Krasilovskoye and Bolshoye Ostrovnoye) is evidence of maximum contribution of yellow substance to attenuation index at $\lambda=430$ nm for lakes Lapa (93.3%) and Krasilovskoye (85.7%) in the winter of 2016; for lakes Lapa (74.6%) and Bolshoye Ostrovnoye (79.2%) in the summer of 2016; for lakes Krasilovskoye and Bolshoye Ostrovnoye in the winter of 2015 (81.9% and 55.1%, respectively). In spring and autumn of 2014, such a contribution increases up to 59% in lake Lapa, whereas for Bolshoye Ostrovnoye it falls up to 11.5% and 19.5%, respectively. During the study period, the contribution at $\lambda=550$ nm in lake Krasilovskoye ranges within 26.4-82.1%; in lake Lapa it makes up 37.2% (in spring), 75.0% (in summer), 48.0% (in autumn) and

55.0% (in winter). Lake Bolshoye Ostrovnoye shows a sharp increase in values, especially in the winter of 2016 (17.7%) as compared to the spring-summer period (6.7% and 7.6%, respectively) and a noticeable increase by the fall of 2014 (20.9%) and the summer of 2015 (96.8%). At $\lambda=670$ nm, maximum contribution of yellow substance to attenuation index was recorded only for lake Lapa in the summer of 2016 (50.0%) and for lake Bolshoye Ostrovnoye in the fall of 2015 (74.4%). The obtained results are of much current interest for understanding the processes occurring in the lacustrine environment. Monitoring of changes in yellow substance content provides the information on biological productivity, ecological purity and internal water dynamics of the studied objects.

Акулова Ольга Борисовна, к.т.н., н.с., лаб. гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 666-501. E-mail: akulova8282@mail.ru.

Букатый Владимир Иванович, д.ф.-м.н., проф., гл. н.с., лаб. гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 666-502. E-mail: v.bukatyy@mail.ru.

Попов Кирилл Павлович, аспирант, лаб. гидрологии и геоинформатики, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 666-502. E-mail: k237p@mail.ru.

Akulova Olga Borisovna, Cand. Tech. Sci., Staff Scientist, Hydrology and Geoinformatics Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 666-501. E-mail: akulova8282@mail.ru.

Bukatyy Vladimir Ivanovich, Dr. Phys.-Math. Sci., Prof., Chief Staff Scientist, Hydrology and Geoinformatics Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 666-502. E-mail: v.bukatyy@mail.ru.

Popov Kirill Pavlovich, post-graduate student, Hydrology and Geoinformatics Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 666-502. E-mail: k237p@mail.ru.

Введение

В рамках исследования проблемы наблюдающегося в современный период увеличения содержания растворённого органического вещества во внутренних водоёмах (жёлтого вещества) важным представляется определение его физических характеристик и пространственно-временной изменчивости. Как известно, жёлтое вещество (ЖВ) является частью растворённого органического вещества (РОВ), к которому принято относить всю ту воду, которая проходит через фильтр с размерами пор 0,45-1 мкм. Следовательно, сюда входит как истинно молекулярный раствор, так и мелкая взвесь. К этому следует добавить, что РОВ может присутствовать в воде в виде коллоидов (частицы размером от 0,01 до 1 мкм). Всё это чрезвычайно осложняет вопросы спектральных поглощательных и рассеивающих свойствах РОВ [1]. О содержании в озёрной воде жёлтого вещества в гидрооптике принято судить по значениям показателя поглощения света жёлтым веществом при длине волны 390 нм [2]. По данным Soble [3] считается, что до 70% РОВ составляет жёлтое вещество, которое в значительной степени определяет оптические свойства природных

вод, влияя на глубину фотического слоя и играя важную роль в ряде биохимических и фотохимических процессов. Жёлтое вещество образуется двумя путями: автохтонным, непосредственно в самом водоёме при распаде отмершего планктона, живых организмов и продуктов их жизнедеятельности и аллохтонным, поступающим извне путём смыва с водосбора гумусовых веществ [4]. Точный химический состав жёлтого вещества плохо известен. По видимому, оно представляет собой смесь гумусоподобных соединений, которые образуются из углеводов и аминокислот путём так называемой реакции Майера [5]. По данным работы [6] жёлтое вещество состоит из двух основных групп соединений: фенол-гумусовые кислоты от светлого до тёмно-коричневого цвета и углеводородо-гумусовые кислоты (меланоиды) от светлого до жёлто-золотистого цвета. Ещё в начале двадцатого столетия Калле провёл классическое исследование, доказавшее важную роль растворимых органических веществ жёлтого цвета, что обусловлено сильным поглощением в синей области оптического спектра. Некоторые из РОВ при возбуждении ультрафиолетовым излучением флуоресцируют синим светом [7-9].

Целью работы является оценка пространственной и межгодовой изменчивости растворенного органического вещества на основе полученных данных по спектральному показателю поглощения света жёлтым веществом в поверхностном слое разнотипных водоёмов Алтайского края в период 2014-2016 гг.

Материалы и методы исследования

Основой для написания работы послужили результаты обработки и анализа 97 проб озёрной воды, отобранных в поверхностном слое водоёмов при комплексных маршрутных и мониторинговых исследованиях (сезонных и суточных) трёх озёр Алтайского края – Лапа, Красиловское и Большое Островное в период 2014-2016 гг. Проведено 2328 измерений спектральной прозрачности воды на спектрофотометре до и после фильтрации проб.

Озеро-старица Лапа по происхождению и положению в ландшафте относится к пойменным озёрам и принадлежит к придаточной системе правобережной поймы реки Оби. Вода озера по солёности относится к α-гипогалинным пресным водам по классификации Оксийук [10]. Трофический статус озера – эвтрофное. *Озеро Красиловское* расположено на юге Западно-Сибирской равнины, в зоне сочленения так называемых боровых террас с четвёртой террасой правобережья Верхней Оби на абсолютной высоте 220 м. Надпойменные террасы – террасы, возвышающиеся над поймой реки и отделённые друг от друга уступами. Боровые террасы – низкие надпойменные террасы, сложенные обычно песками и поросшие сосновым бором. *Озеро Красиловское* является бессточным. Вода озера по солёности относится к β-гипогалинным пресным водам по [10]. Трофический статус озера – эвтрофно-гиперэвтрофное. *Озеро Большое Островное* расположено в долине древнего стока

реки Касмалы и находится в 180 км от г. Барнаула (Мамонтовский район Алтайского края). Вид озера по происхождению котловин – эрозионное ложбин древнего стока. Озеро является частично проточным. Вода озера по солёности относится к α-олигогалинным пресным водам по [10]. Трофический статус озера – гиперэвтрофное. Лимнологические характеристики озёр в период исследования 2014-2016 гг. представлены в таблице 1.

Для определения спектральной прозрачности (коэффициента пропускания) воды применяли спектрофотометрический метод, в основу которого положен принцип измерения отношения двух световых потоков, проходящих через объёмы с исследуемой и эталонной средами. В качестве последней использовали бидистиллированную воду. Спектральные измерения проводились в лаборатории с помощью спектрофотометра типа ПЭ-5400УФ. Затем рассчитывалась первичная гидрооптическая характеристика – спектральный показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ по формуле $\varepsilon(\lambda) = (1/L) \cdot \ln(1/T)$, где L – длина кюветы; $T = I / I_0$ – прозрачность в относительных единицах; I, I_0 – интенсивности прошедшего и падающего света, соответственно; λ – длина волны света. Абсолютная погрешность величины $\varepsilon(\lambda)$ обусловлена погрешностью измерения коэффициента пропускания с помощью спектрофотометра и погрешностью определения длины кюветы. Максимальная абсолютная погрешность измерений показателя ослабления света составила около $0,5 \text{ м}^{-1}$. Показатель поглощения света жёлтым веществом $K_{\text{жв}}(\lambda)$ определяли после измерения в диапазоне 400-800 нм значения $\varepsilon(\lambda)$ в озёрной воде, очищенной от взвеси фильтрованием. Авторы использовали фильтр с диаметром пор 0,22 мкм.

Таблица 1

Лимнологические характеристики озёр

Озеро	S, км ²	H _{макс} , м	H _{ср} , м	SD, см	$\varepsilon(\lambda)$, м ⁻¹	pH	P _{общ} , мг/дм ³	Chl _а , мг/м ³
Лапа	0,76	11,5	–	40-150	1,0-13,6	7,2-8,6	0,022-0,04	0,2-35,4
Красиловское	0,80	6,5	2,7	40-150	2,6-14,3	6,2-8,7	0,056-0,08	0,2-56,0
Большое Островное	28,60	5,6	0,9-1,8	25-45	7,8-35,8	8,5-9,1	0,064-0,15	0,2-49,8

Примечание. S – площадь зеркала; H_{макс} – максимальная глубина; H_{ср} – средняя глубина; SD – прозрачность по диску Секки; $\varepsilon(\lambda)$ – спектральный показатель ослабления света (при $\lambda=430 \text{ нм}$); pH – водородный показатель; P_{общ} – концентрация общего фосфора; Chl_а – концентрация хлорофилла "а"; «прочерк» – данные не определялись.

Экспериментальная часть

С учётом вклада основных компонентов озёрной воды, влияющих на спектральный показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$, его можно будет записать следующим образом, используя спектральную физическую модель ослабления света, которая впервые предложена О.В. Копелевичем:

$$\varepsilon(\lambda) = K_{хл}(\lambda) + K_{жв}(\lambda) + \sigma_{мол}(\lambda) + \sigma_{вз}(\lambda) + K_{чв}(\lambda),$$

где $K_{хл}(\lambda)$ и $K_{жв}(\lambda)$ – показатели поглощения хлорофиллом и жёлтым веществом;

$\sigma_{мол}(\lambda)$ – показатель молекулярного рассеяния чистой водой;

$\sigma_{вз}(\lambda)$ – показатель рассеяния органоминеральной взвеси;

$K_{чв}(\lambda)$ – показатель поглощения чистой водой;

λ – длина волны света.

В выражении (1) показатель поглощения хлорофиллом рассчитывался по формуле $K_{хл}(\lambda) = K_{уд.хл}(\lambda) \cdot C_{хл}$, где $C_{хл}$ – концентрация хлорофилла "а", в мг/м³, $K_{уд.хл}(\lambda)$ – удельный показатель поглощения хлорофиллом, в м²/мг, его значения приведены в работе [11]. Для расчётов $K_{чв}(\lambda)$ используются табличные данные [12], для $\sigma_{мол}(\lambda)$ – [11].

Как видно из выражения (1), спектральное ослабление света описывается с помощью трёхпараметрической модели. Так как $\sigma_{мол}(\lambda)$ и $K_{чв}(\lambda)$ принимаются постоянными для различных природных вод, не зависящими от температуры воды, то изменчивость $\varepsilon(\lambda)$ определяется изменчивостью концентрации хлорофилла, жёлтого вещества и содержания взвеси, что проявляется по-разному от длины волны падающего света. По величине спектрального вклада ЖВ в суммарный показатель ослабления света и в связи с его прямой пропорциональностью с $K_{жв}(\lambda)$ можно оценить концентрацию жёлтого вещества в исследуемых водных объектах.

Спектральная зависимость показателя поглощения света ЖВ аппроксимируется экспоненциальным законом $K_{жв}(\lambda) \sim e^{-\mu\lambda}$, где λ – длина волны света; μ – коэффициент экспоненциального наклона, характеризующий качественный состав РОВ. Он может использоваться для оценки соотношений гуминовых и фульвокислот, а также органического вещества аллохтонного и автохтонного происхождения. Таким образом, два оптических показателя были использованы в наших исследованиях для характеристики РОВ: показатель поглощения на длине волны 450 нм $K_{жв}(450)$ как количественный показатель РОВ и коэффициент наклона в спектральном диапазоне

400–800 нм $\mu_{400-800}$, а также их соотношение как качественный показатель РОВ. Как известно, согласно закону Бугера в пределах его применимости показатель поглощения жёлтым веществом прямо пропорционален его концентрации. Тогда, следуя работе [2], измерив $K_{жв}(450)$, можно определить концентрацию ЖВ в озёрной воде по формуле $C_{жв} = K_{жв}(450) / K_{уд.жв}(450)$. Здесь $C_{жв}$ – концентрация жёлтого вещества, в г/м³; $K_{уд.жв}(450)$ – удельный показатель поглощения света ЖВ, в м²/г. В работе [13] рассчитаны значения $K_{уд.жв}(\lambda)$ на длине волны 450 нм, другие данные нам не известны. Поэтому, насколько величина $K_{уд.жв}(450)$, приводимая в [13], является универсальной, до сих пор считается не ясным. Тем не менее с учётом предложенного в [2] подхода, авторами были рассчитаны значения $C_{жв}$ с использованием величины $K_{уд.жв}(450)$, взятой из работы [13]. В таблице 2 представлен результат расчётов $C_{жв}$ для трёх озёр в различные сезоны 2014–2016 гг.

Концентрация жёлтого вещества в поверхностном слое эвтрофного озера Лапа находилась в диапазоне 14,72–23,69 г/м³, эвтрофно-гиперэвтрофного озера Красиловское – 14,21–29,72 г/м³ и гиперэвтрофного озера Большое Островное – 16,79–27,37 г/м³.

Результаты и их обсуждение

На рисунке в логарифмическом масштабе приведены результаты сезонных измерений $K_{жв}(\lambda)$ в исследуемых озёрах, а также соответствующие аппроксимационные зависимости от длины волны в виде линейных уравнений.

Из рисунка видно, что имеет место высокая корреляция между значениями $\ln K_{жв}(\lambda)$ и длиной волны λ , так как во всех случаях коэффициент детерминации $R^2 \geq 0,76$. Коэффициент экспоненциального наклона μ для оз. Лапа варьировал в пределах 0,0031–0,0046 нм⁻¹, оз. Красиловское – 0,0021–0,0038 нм⁻¹ и оз. Большое Островное – 0,003–0,005 нм⁻¹.

Все уравнения прямых, аппроксимирующие значения величин $\ln K_{жв}(\lambda)$, имеют одинаковый характер, т.е. наблюдается обратная пропорциональная зависимость. Необходимо также отметить, что коэффициент μ для оз. Лапа незначительно (не более 20–25%) меняется в летние сезоны 2014–2016 гг. (рис. а). Для озёр Красиловское и Большое Островное в течение 2016 г. сезонная изменчивость коэффициента μ не превышает 50% (рис. б, в).

Таблица 2

Показатель поглощения света жёлтым веществом $K_{жв}(\lambda)$ и концентрация жёлтого вещества $C_{жв}$

Озеро Лапа			Озеро Красиловское			Озеро Большое Островное		
$K_{жв}(450),$ M^{-1}	коэффициент μ	$C_{жв},$ $г/м^3$	$K_{жв}(450),$ M^{-1}	коэффициент μ	$C_{жв},$ $г/м^3$	$K_{жв}(450),$ M^{-1}	коэффициент μ	$C_{жв},$ $г/м^3$
31.07.2014 г.			25.02.2016 г.			17.02.2016 г.		
3,12	0,0042	14,72	4,82	0,0036	22,72	4,01	0,005	18,93
29.08.2015 г.			24.05.2016 г.			27.05.2016 г.		
5,02	0,0046	23,69	3,01	0,0038	14,21	3,60	0,004	16,97
02.08.2016 г.			18.07.2016 г.			04.08.2016 г.		
4,43	0,0031	20,92	4,11	0,0021	19,40	5,80	0,003	27,37
			05.10.2016 г.			14.10.2016 г.		
			6,30	0,0023	29,72	3,56	0,004	16,79

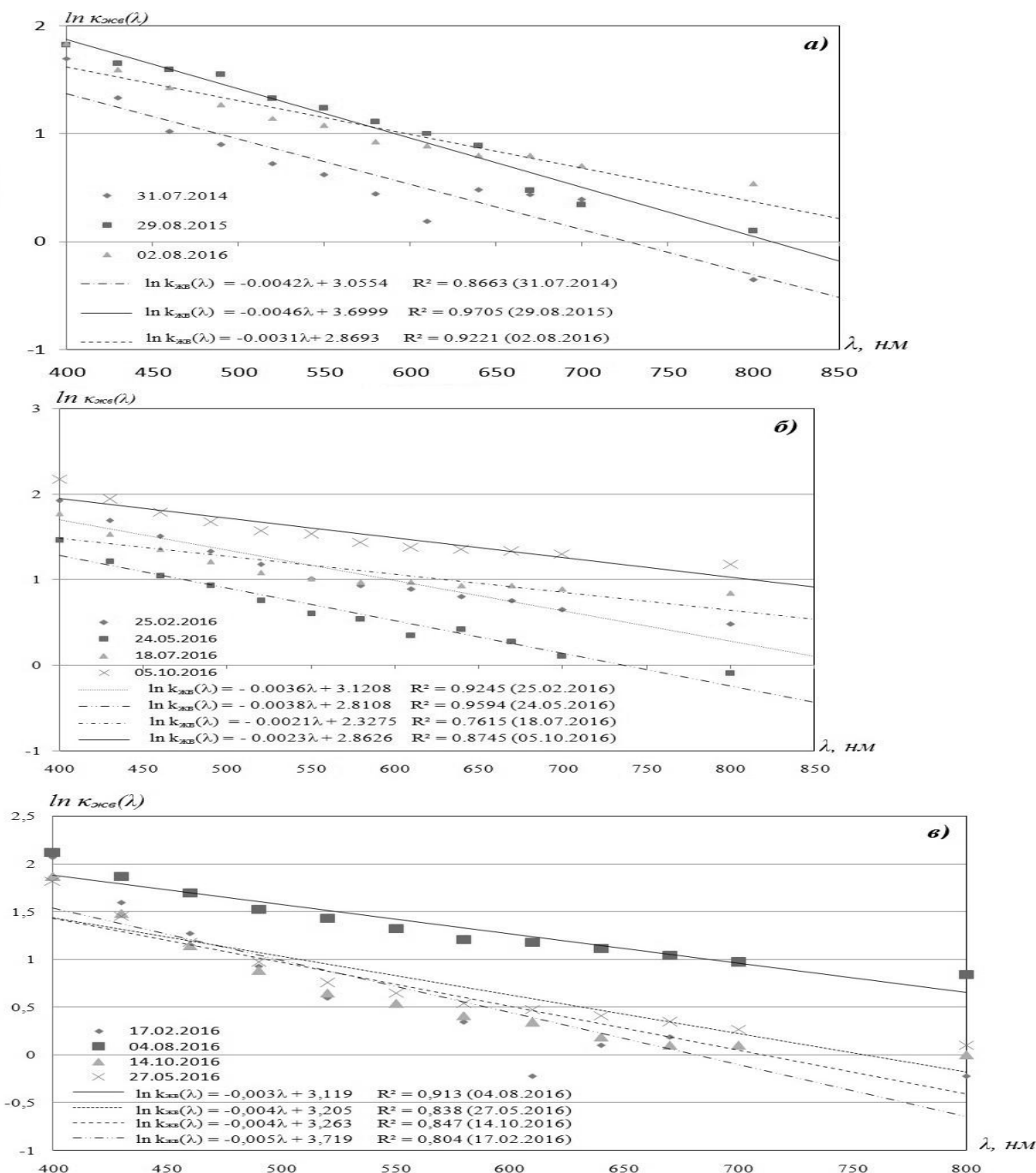


Рис. Спектральная изменчивость показателя поглощения света жёлтым веществом $K_{жв}(\lambda)$ в поверхностном слое озёр:
а – Лапа; б – Красиловское; в – Большое Островное

В таблице 3 приведены результаты расчётов спектрального вклада жёлтого вещества спектральный показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ в процентах для поверхностного слоя (1-5 см) трёх разнотипных озёр Алтайского края в различные сезоны 2014-2016 гг. Здесь значения $K_{жв}(\lambda)$ указаны при натуральном основании логарифма.

Выводы

1. Рассчитан спектральный вклад жёлтого вещества в поверхностном слое озёр разного трофического уровня в различные сезоны 2014-2016 гг.

2. Определён спектральный показатель поглощения жёлтым веществом в озёрной воде по измерениям показателя ослабления света в диапазоне 400-800 нм в пробах воды, профильтрованных через фильтр с диаметром пор 0,22 мкм.

3. Рассчитана концентрация жёлтого вещества в озёрной воде $C_{жв}$.

4. Рассчитан коэффициент спектральной изменчивости показателя поглощения жёлтым веществом в озёрной воде μ .

5. Дана оценка пространственной и межгодовой изменчивости растворенного органического вещества – жёлтого вещества – в поверхностном слое исследуемых водоёмов.

Таблица 3

Вклад жёлтого вещества в спектральное ослабление света в водоёмах Алтайского края

Озеро Лапа			Озеро Красиловское			Озеро Большое Островное		
дата	значения показателя поглощения $K_{жв}(\lambda)$, M^{-1}	вклад жёлтого вещества, %	дата	значения показателя поглощения $K_{жв}(\lambda)$, M^{-1}	вклад жёлтого вещества, %	дата	значения показателя поглощения $K_{жв}(\lambda)$, M^{-1}	вклад жёлтого вещества, %
При $\lambda=430$ нм								
21.01.2014	1,7	36,5	27.02.2014	2,2	25,3	26.02.2014	4,4	35,3
22.05.2014	2,2	59,0	15.05.2014	4,7	32,6	23.05.2014	3,6	11,5
31.07.2014	3,8	42,7	30.07.2014	2,2	30,7	22.08.2014	3,2	12,4
14.10.2014	4,2	59,5	02.10.2014	3,0	45,0	07.10.2014	4,5	19,5
25.02.2015	1,6	47,0	18.02.2015	2,4	81,9	19.02.2015	5,1	55,1
05.05.2015	5,0	36,0	26.05.2015	4,0	57,1	27.05.2015	14,8	7,4
29.08.2015	5,2	70,9	16.07.2015	8,3	74,1	21.08.2015	21,8	75,5
25.11.2015	2,3	26,2	08.10.2015	2,5	38,4	09.10.2015	6,4	21,1
25.01.2016	2,8	93,3	25.02.2016	5,4	85,7	17.02.2016	5,0	37,8
04.05.2016	3,3	55,0	24.05.2016	3,3	50,7	27.05.2016	4,3	26,8
02.08.2016	5,0	74,6	18.07.2016	4,6	51,1	04.08.2016	6,5	79,2
04.10.2016	4,2	58,1	05.10.2016	7,0	68,6	14.10.2016	4,4	23,0
При $\lambda=550$ нм								
22.05.2014	0,8	27,0	27.02.2014	2,0	32,7	26.02.2014	2,4	27,5
31.07.2014	1,8	30,9	15.05.2014	2,7	26,4	23.05.2014	1,6	6,7
14.10.2014	1,8	45,6	30.07.2014	1,2	29,0	22.08.2014	1,5	7,6
25.02.2015	0,8	28,0	02.10.2014	1,3	35,6	07.10.2014	3,8	20,9
05.05.2015	2,1	26,6	18.02.2015	1,3	82,1	19.02.2015	2,3	43,1
29.08.2015	3,4	85,5	26.05.2015	1,8	43,0	27.05.2015	10,2	7,6
25.11.2015	1,2	8,5	16.07.2015	5,5	57,9	21.08.2015	15,9	96,8
25.01.2016	1,1	55,0	08.10.2015	1,2	30,0	09.10.2015	3,7	16,4
04.05.2016	1,6	37,2	25.02.2016	2,7	58,7	17.02.2016	1,7	17,7
02.08.2016	3,0	75,0	24.05.2016	1,8	45,0	27.05.2016	2,0	18,3
04.10.2016	2,4	48,0	18.07.2016	2,7	45,0	04.08.2016	3,7	25,2
			05.10.2016	4,6	63,0	14.10.2016	1,7	12,4
При $\lambda=670$ нм								
22.05.2014	0,5	18,8	27.02.2014	1,6	30,0	26.02.2014	2,0	27,7
31.07.2014	1,5	35,5	15.05.2014	2,1	24,6	23.05.2014	1,1	6,1
14.10.2014	1,9	51,2	30.07.2014	0,9	24,5	22.08.2014	0,9	5,8
25.02.2015	0,4	16,0	02.10.2014	1,2	43,0	07.10.2014	2,8	17,6
05.05.2015	1,4	25,9	18.02.2015	0,9	43,1	19.02.2015	1,8	27,3
29.08.2015	1,6	48,0	26.05.2015	1,3	36,1	27.05.2015	8,0	7,4
25.11.2015	1,0	2,5	16.07.2015	4,3	50,5	21.08.2015	12,7	70,4
25.01.2016	0,8	50,0	08.10.2015	0,8	21,6	09.10.2015	3,0	16,1
04.05.2016	1,3	28,8	25.02.2016	2,1	42,0	17.02.2016	1,2	13,1
02.08.2016	2,2	68,7	24.05.2016	1,3	36,1	27.05.2016	1,4	16,2
04.10.2016	1,8	54,4	18.07.2016	2,5	48,0	04.08.2016	2,8	22,2
			05.10.2016	3,7	60,6	14.10.2016	1,1	9,1

Библиографический список

1. Адаменко В.Н., Кондратьев К.Я., Поздняков Д.В., Чехин Л.П. Радиационный режим и оптические свойства озёр: монография. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 295 с.
2. Маньковский В.И. Жёлтое вещество в поверхностных водах восточной части Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. – 2015. – № 3. – С. 53-61.
3. Coble P.G. Marine optical biogeochemistry: the chemistry of ocean color // Chem. Rev. – 2007. – Vol. 107 (2). – P. 402-418.
4. Пугач С.П. Изменчивость растворённого органического вещества на шельфе морей восточной Арктики: дис. ... канд. геогр. наук. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2015. – 120 с.
5. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 278 с.
6. Hojerslev N.K. On the origin of yellow substance in marine environment // Rep. Inst. Phys. Oceanogr., Univ., Copenhagen. – 1980. – Vol. 42. – P. 57-81.
7. Kalle K. Zum Problem des Meereswasserfarbe // Ann. Hydrogr. und Mar. Meteor. – 1938. – Vol. 66 (5). – P. 1-13.
8. Kalle K. Uber die gelosten organischen komponenten in Meerwasser // Kieler Meeresforsch. – 1962. – Bd. 18 (3). – S. 128-131.
9. Горшкова О.М., Пацаева С.В. Флуоресценция растворённого органического вещества природной воды // Вода: химия и экология. – 2009. – № 11. – С. 31-37.
10. Оксийук О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62-76.
11. Оптика океана / под ред. А.С. Монина. – Т. 1: Физическая оптика океана. – М.: Наука, 1983. – 372 с.
12. Pope R.M., Fry E.S. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water. II Integration cavity measurements // Appl. Optics. – 1997. – Vol. 36 (33). – P. 8710-8723.
13. Nyquist G. Investigation of some optical properties of seawater with special reference to lignin sulfonates and humic substances // PhD Thesis, Goteborgs Universitet, Sweden, 1979. – 200 p.

References

1. Adamenko V.N., Kondratev K.Ya., Pozdnyakov D.V., Chekhin L.P. Radiatsionnyy rezhim i opticheskie svoystva ozer: monografiya. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. – 295 s.
2. Mankovskiy V.I. Zheltoe veshchestvo v poverkhnostnykh vodakh vostochnoy chasti Tropicheskoy Atlantiki // Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal. – 2015. – № 3. – S. 53-61.
3. Coble P.G. Marine optical biogeochemistry: the chemistry of ocean color // Chem. Rev. – 2007. – Vol. 107 (2). – P. 402-418.
4. Pugach S.P. Izmenchivost rastvorenogo organicheskogo veshchestva na shelfe morey vostochnoy Arktiki: dis. ... kand. geogr. nauk. – Vladivostok: TOI DVO RAN, 2015. – 120 s.
5. Shifrin K.S. Vvedenie v optiku okeana. – L.: Gidrometeoizdat, 1983. – 278 s.
6. Hojerslev N.K. On the origin of yellow substance in marine environment // Rep. Inst. Phys. Oceanogr., Univ., Copenhagen. – 1980. – Vol. 42. – P. 57-81.
7. Kalle K. Zum Problem des Meereswasserfarbe // Ann. Hydrogr. und Mar. Meteor. – 1938. – Vol. 66 (5). – P. 1-13.
8. Kalle K. Uber die gelosten organischen komponenten in Meerwasser // Kieler Meeresforsch. – 1962. – Bd. 18 (3). – S. 128-131.
9. Gorshkova O.M., Patsaeva S.V. Fluoresentsiya rastvorenogo organicheskogo veshchestva prirodnoy vody // Voda: Khimiya i Ekologiya. – 2009. – № 11. – S. 31-37.
10. Oksiyuk O.P., Zhukinskiy V.N., Braginskiy L.P. i dr. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverkhnostnykh vod sushi // Gidrobiologicheskiy zhurnal. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62-76.
11. Optika okeana / pod red. Monina A.S. – Т. 1. Fizicheskaya optika okeana. – М.: Nauka, 1983. – 372 s.
12. Pope R.M., Fry E.S. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water. II Integration cavity measurements // Appl. Optics. – 1997. – Vol. 36 (33). – P. 8710-8723.
13. Nyquist G. Investigation of some optical properties of seawater with special reference to lignin sulfonates and humic substances // PhD Thesis, Goteborgs Universitet, Sweden, 1979. – 200 p.

