

УДК 535.3(574.5)

© И. А. Суторихин*, А. А. Коломейцев, С. А. Литвиненко

Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, ул. Молодежная, д. 1, г. Барнаул, Россия

*e-mail: sia@iwep.ru

ГИДРООПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДЫ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД УСТОЙЧИВОЙ ЛЕТНЕЙ И ЗИМНЕЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ

Статья поступила в редакцию 29.01.2020, после доработки 08.04.2020

Приведен сравнительный анализ данных натурных измерений спектральной прозрачности воды в диапазоне 400–800 нм для ряда участков акватории Телецкого озера в период устойчивой летней и зимней температурной стратификаций. Летние экспедиции проводились в 2016–2019 гг., в период ледостава в 2018 г. Описано устройство разработанного прибора для измерения спектральной подводной облученности по глубине на длинах волн 303, 361, 590 и 656 нм и представлены результаты измерений для летнего периода 2018 и 2019 гг. Приведены вертикальные профили спектральной подводной облученности по глубинам при максимальной высоте Солнца в отсутствии облачности. Определено, во сколько раз в период ледостава увеличивается спектральная прозрачность воды по сравнению с летом. Показана динамика изменения относительной прозрачности по белому диску в разные годы на участках акватории озера. На основе полученных результатов осуществлено ранжирование участков акватории озера по уровню антропогенного и естественного воздействия со стороны водосбора.

Ключевые слова: Телецкое озеро, спектральная прозрачность, спектральная подводная облученность, белый диск, батометр, спектрофотометр.

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

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 656038, Molodezhnaya Str., 1, Barnaul, Russia

*e-mail: sia@iwep.ru

HYDRO-OPTICAL PARAMETERS OF WATER IN LAKE TELETSKOYE DURING STABLE SUMMER AND WINTER TEMPERATURE STRATIFICATION

Received 29.01.2020, in final form 08.04.2020

The paper deals with a comparative analysis of the data on in-situ measurements of spectral water transparency in the range of 400–800 nm for some sections of Lake Teletskoye water area during stable summer and winter temperature stratifications. Field trips were conducted in summer of 2016–2019 and during the freezing period of 2018. The description of the device developed for measuring spectral underwater irradiance by depth at wavelengths of 303, 361, 590 and 656 nm as well as the measurement results made in the summer of 2018–2019 are presented. The data on distribution of spectral underwater irradiance by depth at maximum height of the Sun and cloudlessness are given. It is revealed how many times spectral transparency increases during the freeze-up period (when the water area covered by ice) as compared to lake warming in summer. Dynamics of changing relative transparency in sites of the lake's water area according to white disk is shown for different years. The obtained results make it possible to rank the lake water area by anthropogenic and natural impact of the catchment.

Key words: Lake Teletskoye, spectral transparency, spectral underwater illuminance, white disk, bathometer, spectrophotometer

1. Введение

Телецкое озеро — крупнейший водоем бассейна р. Оби. Оно расположено в северо-восточной части Горного Алтая на высоте 434 м над уровнем моря и входит в единую озерно-речную систему Восточного Алтая [1]. Средняя и максимальная ширина озера равны 2.9 и 5.2 км соответственно, площадь зеркала — 227 км². Благодаря большой глубине (средняя глубина озера 181 м, максимальная 323 м) в нем содержится 41.1 км³ пресной воды. Относительная прозрачность по белому диску в летнее время достигает максимального

Ссылка для цитирования: Суторихин И.А., Коломейцев А.А., Литвиненко С.А. Гидрооптические параметры воды Телецкого озера в период устойчивой летней и зимней температурной стратификации // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т. 13, № 2. С. 35–42. doi: 10.7868/S2073667320020045

For citation: Sutorikhin I.A., Kolomeitsev A.A., Litvinenko S.A. Hydro-optical parameters of water in Lake Teletskoye during stable summer and winter temperature stratification. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2020, 13, 2, 35–42. doi: 10.7868/S2073667320020045

значения 12–15 м [2]. Озеро имеет своеобразный ледовый режим, который проявляется в отсутствие ежегодного полного ледостава в субмеридиональной части и весьма затянутых периодах замерзания (до 4 мес) и вскрытия (около 2 мес) северной субширотной (включая Камгинский залив). По гидротермическим характеристикам Телецкое озеро относится к динамическим с двумя периодами полного конвективного перемешивания до максимальных глубин за счет термического бара (май–июль и октябрь–декабрь) [3]. Согласно феноменологической модели Селегея, период летнего прогрева озера заканчивается во второй декаде июля. Общей особенностью летних условий является то, что озеро термически устойчиво стратифицировано и достигает температур на поверхности выше 10 °С [4]. Трофический уровень Телецкого озера с оценкой трофности по первичной продукции, прозрачности и содержанию биогенных веществ соответствует ультраолиготрофно-олиготрофному [5]. В практике оценки качества воды, а также биопродуктивности водоемов, используются измерения прозрачности воды. Прозрачность зависит от содержания в воде минеральной и органической взвеси, растворимых органических соединений. Таким образом, этот гидрооптический параметр содержит информацию о содержании в воде веществ, являющихся показателями экологического состояния водоема [6, 7]. Также прозрачность воды является одним из важнейших факторов, определяющих подводную облученность, изучение которой необходимо для выяснения световых условий фотосинтеза [8].

Целью работы является анализ спектрального показателя ослабления света водой Телецкого озера на различных глубинах и разных местах акватории, измеренных в диапазоне длин волн 400–800 нм в фазу полного летнего прогрева и в период ледостава. Также в летнее время было исследовано распределение спектральной подводной облученности в зависимости от глубины на длинах волн 303, 361, 590 и 656 нм. Сравнение гидрооптических характеристик в летний и зимний периоды позволило получить количественные данные о влиянии водосбора и внутренних процессов в озере в периоды открытой воды и экранированной слоем льда, и соответствующих разностях температур. Полученные результаты легли в основу ранжирования участков акватории озера по уровням антропогенного и естественного воздействия со стороны водосбора.

2. Методы исследований и приборы

В летнее время исследования проводились в конце июля 2016, августе 2017–2019 г., когда озеро устойчиво стратифицировано и температура поверхностного слоя воды выше 10 °С. Отбор проб воды проводился с борта теплохода-лаборатории ИВЭП СО РАН с использованием малообъемного батометра Рутнера, для глубоководных участков применялся батометр Нискина. Так же измерялись метеопараметры, относительная прозрачность поверхностного слоя воды по белому диску, распределение температуры воды в поверхностном 10-метровом слое воды и надводная и спектральная подводная освещенности. Схема станций отбора проб приведена на рис. 1.

Измерения показателя ослабления света в отобранных пробах воды проводились на спектрофотометре ПЭ-5400УФ. Водные пробы помещались в измерительные кюветы размером 20 × 30 мм. В качестве жидкости для сравнения использовалась дистиллированная вода. Первичная гидрооптическая характеристика $a(\lambda)$, спектральный показатель ослабления света в воде получаем при проведении измерений. Погрешность измерений спектральной прозрачности не превышает 0.5 %.

Для определения концентрации хлорофилла-*a* в отобранных пробах воды их пропускали через мембранные фильтры МФАС-ОС-3 в объеме не менее 1.5 л. Далее проводилось спектрофотометрирование ацетоновых экстрактов клеток водорослей с использованием спектрофотометра ПЭ-5400УФ и расчет концентрации по общепринятой методике в соответствии с ГОСТ 17.1.4.02–90.

Для изучения распределения спектральной подводной облученности на разных глубинах был создан прибор — измеритель спектральной подводной облученности (СПО) [9]. В состав прибора входят два блока: цилиндрическая, герметичная измерительная головка и блок обработки данных. Между собой блоки соединялись гибким экранированным многожильным кабелем длиной 10 м. Кабель по внешней поверхности был размечен с периодом 0.5 м и одновременно служил измерителем глубины погружения измерительной головки. Внутри измерительной головки устанавливались сменные узкополосные спектральные элементы — интерференционные светофильтры диаметром 20 мм с паспортными характеристиками, приведенными в табл. 1, где λ , нм — максимум пропускания на соответствующий длине волны, $\Delta\lambda$, нм/0.5 — полуширина пропускания в нм на уровне 0.5, $F_{\max}\%$ — процент пропускания в максимуме. Фоточувствительный элемент — фотодиод марки 555 AP с размером входного окна 10 × 10 мм и спектральной чувствительностью в диапазоне 0.2–1.1 мкм. Оптическая схема прибора настраивалась на оптическом стенде Института автоматики и электрометрии СО РАН. Весь диапазон регистрируемых освещенностей на указанных длинах волн был проградуирован в процентах и разбит на три поддиапазона: 0–40 %, 40–70 % и 70–100 %, в которых световая



Рис. 1. Схема станций летнего и зимнего отбора проб воды от истока реки Бия (поселок Артыбаш) до устья реки Самыш.

Fig. 1. Scheme of summer and winter water sampling stations from the Biya source (Artybash village) to the Samysh mouth.

Таблица 1

Паспортные характеристики интерференционных светофильтров

Passport characteristics of interference light filters

λ , нм	$\Delta\lambda_{\text{нм}}/0.5$	Fmax %
303	22	≥ 74
361	18	≥ 76
590	24	≥ 85
656	20	≥ 88

характеристика на указанных длинах волн была строго линейной. Перед погружением в воду входное окно закрывалось откидной крышкой для устранения паразитной засветки фотодиода. На глубине 1–2 см от поверхности воды крышка открывалась, и значение освещенности для каждой длины волны из регистрируемых устанавливалось равной 100 %. По мере погружения измерительного блока регистрировались глубина и соответствующая величина спектральной подводной освещенности в процентах до значений равных 0 %, для каждого из используемых интерференционных фильтров эта величина составляла порядка 0.3 лк.

Измерения спектральной подводной облученности проводились в пелагиальной части участков акватории Телецкого озера в ясные, безоблачные дни, в период максимальной высоты Солнца 11.30–13.30 по

местному времени. Надводная освещенность, измеренная люксметрами Ю-116 и Ю-117, соответствовала 21000–23000 лк. В результате совместного эффекта поглощения и рассеяния света с глубиной происходит ослабление светового потока и изменение его спектрального состава, так как показатели поглощения и рассеяния различным образом зависят от длины волны [10].

Во время экспедиционной работы в начале марта 2018 г. приборная база размещалась в теплом помещении туристического комплекса Эдем, расположенном в поселке Артыбаш в непосредственной близости от берега озера. Движение по озеру осуществлялось с использованием навигатора Garmin ETREX HS в системе WJS84 на снегоходе Yamaha, оснащенный санями с необходимым для работы оборудованием (ледобурами, батометрами, лопатами, снегомерными и ледомерными рейками, емкостями для транспортировки проб, метеоизмерительной аппаратурой). В основном места отбора проб воды в период ледостава совпадали со станциями летних экспедиций. Схема станций летнего и зимнего отбора проб воды от истока реки Бия (поселок Артыбаш) до устья реки Самыш приведена на рис. 1. Толщина льда на станциях варьировалась от 53 до 76 см, высота снежного покрова на льду изменялась от 28 до 48 см. Время от завершения отбора проб воды до начала их анализа на спектрофотометре ПЭ-5400УФ не превышало 3 ч.

3. Результаты и обсуждение

Результаты измерения спектрального показателя ослабления света в поверхностном слое воды ряда участков акватории Телецкого озера в летнее время приведены на рис. 2, а в период ледостава — на рис. 3. Из полученных зависимостей на рис. 2 можно выделить два вида участков акваторий озера, которые существенно отличаются по уровням естественного и антропогенного воздействия со стороны водосбора и внутренними процессами в озере. На первом участке с большими значениями $\varepsilon(\lambda)$ 5–6 м⁻¹ вблизи следующих объектов (Артыбаш, Чулышман, Корбу, Камга) отмечается повышенный уровень естественного и антропогенного воздействия. Для Артыбаша, Чулышмана и Корбу ситуация связана с преобладающим типом рекреационного-антропогенного воздействия. Развитие туристической индустрии приводит к быстрому и интенсивному росту эксплуатации озерного флота. Суммарная мощность судовых двигателей всех типов на озере увеличилась более чем в 25 раз за последние пять-шесть лет [4]. Аква-

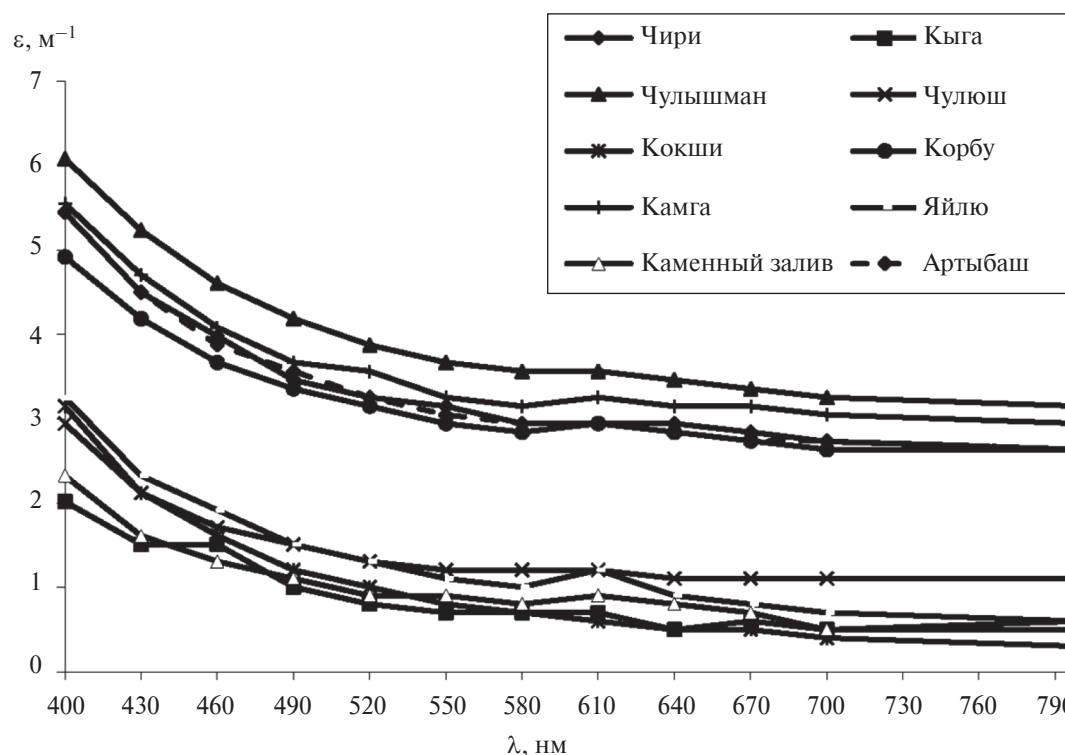


Рис. 2. Спектральные показатели ослабления света в поверхностном слое на станциях отбора проб 26 июля 2016 г. на озере Телецкое.

Fig. 2. Spectral indicators of light attenuation in the surface layer of Lake Teletskoye at sampling sites (July 26, 2016).

Таблица 2

Относительная прозрачность воды Телецкого озера в метрах по белому диску на разных участках акватории в летнее время 2016–2019 гг.

Relative water transparency of Lake Teletskoye according to white disk in different parts of the water area (summer of 2016–2019, m)

Станция, год	Естественное воздействие водосбора					Антропогенное + естественное воздействие водосбора				
	Кыга	Кокши	Яйлю	Каменный залив	Челюш	Чири	Чулыш-ман	Корбу	Камга	Артыбаш
2016	10.5	11.5	9.6	8.5	9.0	6.2	5.2	7.4	4.2	4.1
2017	12.3	10.5	10.5	10.1	10.2	6.5	5.5	5.8	6.1	3.6
2018	12	11.2	9.8	9.4	8.5	5.5	4.5	5.0	5.3	4.8
2019	11.2	10.3	10.2	9.6	11.4	6.0	5.8	5.5	4.5	4.5

тория залива Камга находится на территории Алтайского государственного заповедника и нахождение туристов и судов всех типов в этой зоне запрещено. Однако значительное количество сухостоя, поваленной и гниющей древесины, как на берегах, так и в воде залива, заболоченное устье реки Камга создают повышенную естественную нагрузку на эту акваторию.

Для второго участка графика с меньшими значениями $\varepsilon(\lambda)$ 2–3 м⁻¹ пункты (Чири, Кокши, Челюш, Яйлю), где практически полностью отсутствовала антропогенная составляющая воздействия со стороны водосбора. Значения относительной прозрачности воды в летний период 2016–2019 гг., определяемой по белому диску для нескольких участков акватории Телецкого озера с естественным и антропогенным уровнем воздействия со стороны водосбора, приведены в табл. 2. Измеренные значения концентрации хлорофилла-а в летний период для разных участков поверхностного слоя воды акватории озера составили 0.8–1.2 мг/м³, а на глубине 10 м — 0.5–0.7 мг/м³.

Из табл. 2 видно, что на участках акватории с преобладанием естественного и антропогенного влияния водосбора относительная глубина видимости белого диска существенно меньше по сравнению с участками акватории, где имеет место только естественное воздействие. В целом полученные результаты по спектральной прозрачности и относительной прозрачности воды для исследуемых участков акватории в летний период согласуются между собой.

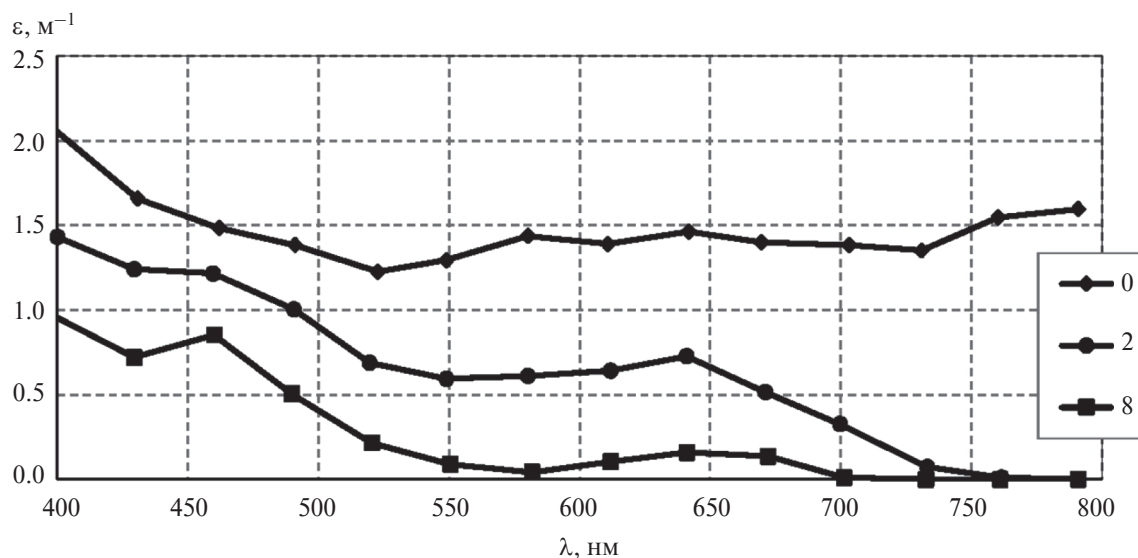


Рис. 3. Зависимость спектрального показателя ослабления света от глубины в период ледостава п. Артыбаш 12 марта 2018 г. Номера кривых соответствуют глубине (м), на которой проводились измерения.

Fig. 3. Depth dependence of spectral light attenuation during a freezing period (Artybash village, March 12, 2018) The numbers of the curves correspond to the depth (m) at which the measurements were made.

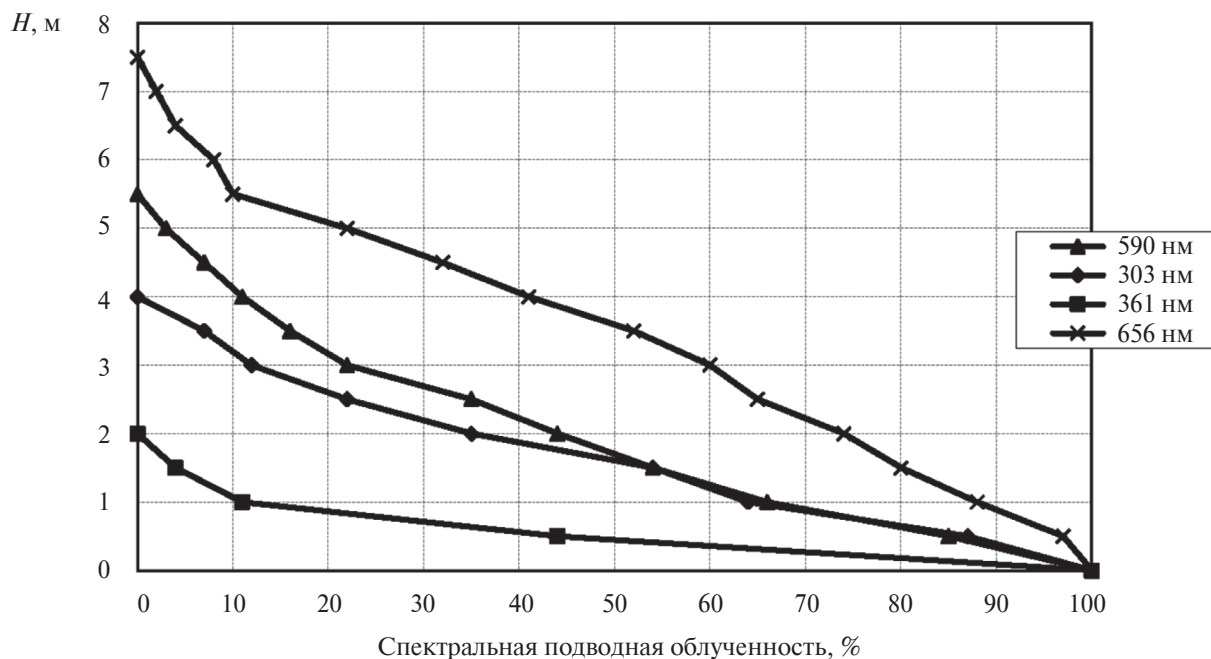


Рис. 4. Вертикальные профили спектральной подводной облученности. Залив Камга 16 августа 2018 г.

Fig. 4. Change in spectral underwater illuminance from depth (Kamga Bay).

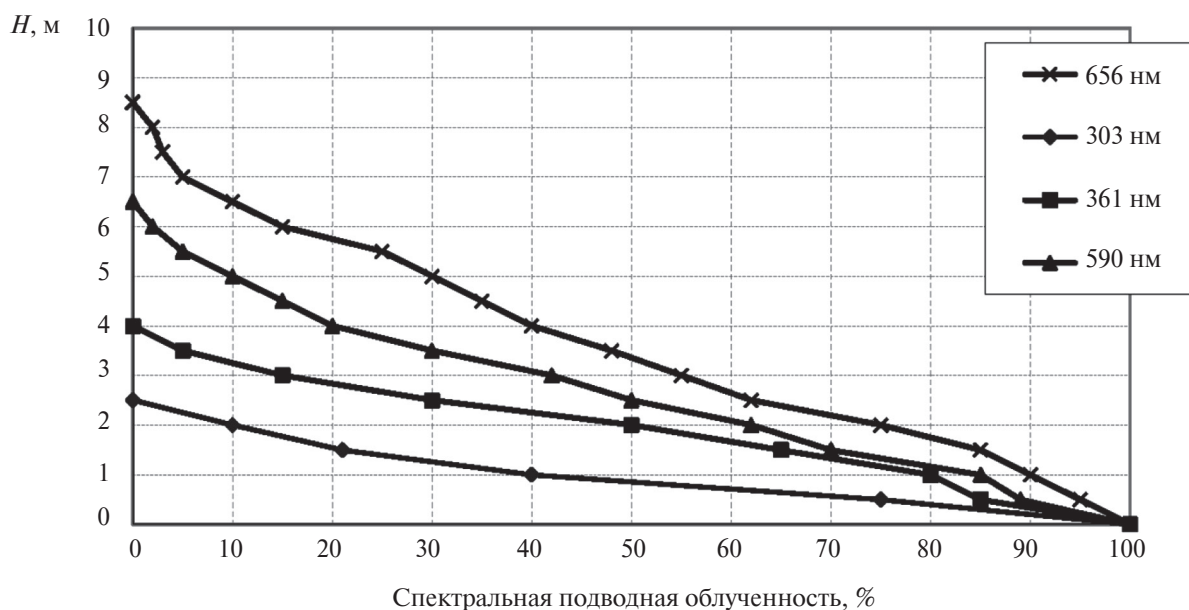


Рис. 5. Вертикальные профили спектральной подводной облученности. Залив Кыга 15 августа 2018 г.

Fig. 5. Change of spectral underwater illuminance from depth (Kyga Bay).

В период ледостава значения спектрального показателя ослабления света в исследуемом диапазоне длин волн были значительно меньше летних рис. 3. Причем наибольшие значения $\epsilon(\lambda)$ порядка $1.5\text{--}2\text{ м}^{-1}$ были зарегистрированы непосредственно под слоем льда. При увеличении глубины до 8 м $\epsilon(\lambda)$ уменьшалось до значений $0.3\text{--}0.8\text{ м}^{-1}$. Таким образом, экранирующее действие льда зеркала озера от атмосферных выпадений и пониженная температура воды ($0.2\text{--}0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$) существенно замедляют гидробиологические процессы [11–13], тем самым увеличивая спектральную прозрачность воды [14]. Измеренные концентрации хлорофилла в этот период подо льдом составили $0.2\text{--}0.3\text{ мг/м}^3$, на глубине 2 м — $0.7\text{--}0.8\text{ мг/м}^3$, а на глубине 8 м — $0.3\text{--}0.4\text{ мг/м}^3$.

Графики изменения спектральной подводной облученности в летний период на длинах волн 303, 361, 590 и 656 нм для заливов Кыга и Камга приведены на рис. 4–5. Здесь следует отметить, что для залива Камга рис. 4, как в 2018 г. так и 2019 г., были отмечены малые глубины прохождения света на длине волны 361 нм. по сравнению с другими участками акватории рис. 5. Это обстоятельство, возможно, связано с влиянием на спектральную подводную облученность вод залива Камга большого количества гниющей древесины на берегах и акватории или, как отмечено в [15], высокой концентрацией бактериофагов и бактериопланктона.

4. Заключение

На основе проведенных исследований получены количественные значения спектрального показателя ослабления света в диапазоне 400–800 нм для различных участков акватории Телецкого озера в летний период и период ледостава. Показано, что наименьшие значения $\epsilon(\lambda)$ в исследуемом диапазоне длин волн наблюдаются в период ледостава, когда водное зеркало закрыто от атмосферных выпадений слоем льда и снега, а также существенно замедлены гидробиологические процессы. На основе анализа полученных данных проведено ранжирование участков акватории озера в летний период по уровню антропогенного и естественного воздействия. Получены графики распределения спектральной подводной облученности в воде озера в летнее время на длинах волн 303, 361, 590 и 656 нм в зависимости от глубины. В пелагиале залива Камга обнаружено высокое поглощение света на длине волны 361 нм, это, вероятно, связано с повышенной концентрацией растворенного органического вещества (приводящего к поглощению в синей и УФ частях спектра) в виду преобладания подтопленной и гниющей древесины в его акватории.

5. Благодарности

Авторы выражают благодарность И.М. Фроленкову за помощь в проведении экспедиционных работ и предварительной обработке данных.

6. Финансирование

Работа выполнена в рамках госбюджетного 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».

Литература

1. Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 143 с.
2. Селегей В.В., Дехандсхюттер Б., Клеркс Я., Высоцкий Е.М., Перепелова Т.И. Физико-географическая и геологическая характеристика Телецкого озера // Королевский Музей Центральной Африки, Тервюрен, Бельгия, Труды Деп. геологии, 2001. Т. 105. 310 с.
3. Селегей В.В. Телецкое озеро. Очерки истории. Книга первая. Новосибирск: Овсет, 2009. 119 с.
4. Пушистов П.Ю., Викторов Е.В. Прикладной системный анализ циркуляций и термического режима Телецкого озера. Барнаул: Пять Плюс, 2016. 149 с.
5. Кириллова Т.В. Пигментные характеристики фитопланктона Телецкого озера: дисс. канд. биол. наук. Красноярск, 2006. 220 с.
6. Ли М.Е. и др. Долговременная изменчивость прозрачности поверхностных вод Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2018. Т. 11, № 3. С. 40–46.
7. Науменко М.А. Пространственное распределение и многолетние тренды прозрачности Ладожского озера // Ладога. СПб.: Институт озераедения РАН, 2013. С. 217–223.
8. Пырина И.Л. Определение первичной продукции фитопланктона по максимальному фотосинтезу, суммарной солнечной радиации и прозрачности воды // Гидробиологический журнал. 1979. Т. 15, № 6. С. 109–113.
9. Суторихин И.А. и др. Изменение спектральной подводной освещенности пресноводных озер по глубине // Тезисы докладов XXV Международного симпозиума. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» Томск 1–5 июля 2019: Изд-во ИОА СО РАН, 2019. С. 57.
10. Копелевич О.В. Физическая модель поглощающих свойств // Оптика океана. Том 1: Физическая оптика океана / Под ред. А. С. Монины. М.: Наука, 1983. С. 228.
11. Ривьер И.К. Особенности планктоценозов озер в разные экологические периоды (подледный и открытой воды) // Труды ИБВВ РАН, 2016. Вып. 74(77). С. 59–76.

12. Терешенкова Т.В. Вертикальное распределение фитопланктона в подледный период в Малых озерах Ленинградской области // Изв. ГОСНИОРХ. 1983. № 132. С. 34–39.
13. Wright R.T. Dynamic of a phytoplankton community in an ice-covered lake // *Limnology and oceanography*. 1964. V. IX, № 2. P. 163–178.
14. Vinokurova G.V., Sutorikhin I.A., Kolomeitsev A.A., Frolenkov I.M. Comparative analysis of ecological state of winter and summer phytoplankton in drainless mesotrophic lake (Altai Krai, Russia) // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. T. 9, № 5. С. 1285–1297.
15. Дрюкер В.В. Автохтонные бактериофаги и бактериопланктон в водоемах Хуссугул-Байкал-Ангара-Енисейской гидросистемы // Международная конференция «Пресноводные экосистемы — современные вызовы». Тезисы доклада и стендовых сообщений. Иркутск: ООО «Мегапринт», 2018. С. 45–47.

References

1. Selegei V.V., Selegei T.S. Lake Teletskoye. Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs of the USSR. *Leningrad, Gidrometeoizdat*, 1978. 143 p. (in Russian).
2. Selegei V., Dechantkirchen B., Klerx J., Vysotsky E. Physico-geographical and geological characteristics of Lake Teletskoye. *Royal Museum for Central Africa, Tervuren, Belgium, Geol. Sci. Annales*. 2001, 105, 310 p.
3. Selegei V.V. Lake Teletskoye. Historical sketches. Book 1. *Novosibirsk, Ovset*, 2009. 119 p. (in Russian).
4. Pushistov P.Yu., Viktorov E.V. Applied system analysis of circulation and thermal regime of lake Teletskoye. *Barnaul, Five Plus*, 2016. 149 p. (in Russian).
5. Kirillova T.V. Pigment characteristics of phytoplankton from Lake Teletskoye, *Ph.D in Biology. Krasnoyarsk*, 2006. 220 p. (in Russian).
6. Lee M.E. et al. Long-term variability in transparency of surface waters of the Black sea. *Fundamentalaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2018, 11, 3, 40–46 (in Russian).
7. Naumenko M.A. Spatial distribution and long-term trends in Lake Ladoga transparency. *Ladoga. St. Petersburg, The Institute of Limnology RAS*, 2013, 217–223 (in Russian).
8. Pyrina I.L. Determination of primary phytoplankton production by maximum photosynthesis, total solar radiation and water transparency. *Hydrobiological Journal*. 1979, 15, 6, 109–113 (in Russian).
9. Sutorikhin I.A. et al. Changes of spectral underwater illuminance of freshwater lakes in depth. *Proceedings of the XXV International Symposium “Optics of the atmosphere and ocean. Atmospheric physics”*. Tomsk. July 1–5, 2019: publishing house of IOA SB RAS, 2019. 57 p. (in Russian).
10. Kopelevich O.V. Physical model of absorbing properties. *Ocean Optics*. Vol. 1. Physical optics of ocean / Ed. by Mo-nin A. S. *Moscow, Nauka*, 1983. 228 p. (in Russian).
11. Rivier I.K. Features of planktocenoses of lakes in different ecological periods (ice-covered and open water). *Proceedings of the IBIW RAS*. 2016, 74(77), 59–76 (in Russian).
12. Tereshenkova T.V. Vertical distribution of phytoplankton in the ice-covered period in lakes Malye, Leningrad region. *Izv. GOSNIORH. Leningrad*, 1983, 132, 34–39(in Russian).
13. Wright R.T. Dynamic of a phytoplankton community in an ice-covered lake. *Limnology and Oceanography*. 1964, IX, 2, 163–178.
14. Vinokurova G.V., Sutorikhin I.A., Kolomeitsev A.A., Frolenkov I.M. Comparative analysis of ecological state of winter and summer phytoplankton in drainless mesotrophic lake (Altai Krai, Russia). *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018, 9, 5, 1285–1297.
15. Drucker V.V. Autochthonous bacteriophages and bacterioplankton in water bodies of the Hubsugul-Baikal-Angara-Yenisei hydrosystem. *International Conference on “Freshwater ecosystems are the current challenges”*. Abstracts, poster presentations. *Irkutsk, Megaprint*, 2018, 45–47 (in Russian).