

Суточная изменчивость спектрального показателя ослабления света в пресноводном водоеме (на примере оз. Красиловского)*

И.А. Суторихин^{1,2}, В.И. Букатый², У.И. Янковская², О.Б. Акулова²

¹ Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

² Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (Барнаул, Россия)

Daily Variations of Spectral Light Attenuation in Freshwater Bodies (Lake Krasilovskoye as a Case Study)

I.A. Sutorikhin^{1,2}, V.I. Bukaty², U.I. Yankovskaya², O.B. Akulova²

¹ Altai State University (Barnaul, Russia)

² Institute of Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia)

В июне 2013 г. и мае 2014 г. на оз. Красиловском (Алтайский край) были проведены суточные наблюдения по изучению динамики спектрального показателя ослабления света (ϵ , m^{-1}), концентрации хлорофилла «а» (C , mg/m^3) и температуры воды (T , $^{\circ}C$) на разных глубинах водоема. Отбор проб в пелагиальной части озера осуществлялся каждые два часа (для определения значений ϵ и T) и каждые шесть часов — для значений C , после проводились измерения спектральной прозрачности воды в диапазоне длин волн 400–800 нм на спектрофотометре ПЭ-5400УФ и фильтрация проб водорослей фитопланктона *in situ*.

Проведенные летние суточные измерения ϵ по вертикали озера показали, что кривая, характеризующая динамику этой величины в придонном слое, находилась в противофазе с соответствующей кривой для поверхностного слоя, чего не наблюдалось в майских исследованиях. Весной в пробах, отобранных на поверхности и у дна, имеются сдвиги максимумов измеренной величины ϵ по времени, а именно максимум для придонного слоя наблюдался в два часа ночи (02-00) и для поверхностного — в полночь (00-00).

Данные по концентрации хлорофилла и температуре воды показали, что летом в поверхностном слое водоема эти две величины находились в противофазе, т. е. прослеживалась обратная зависимость C от T , а весной наблюдалась, наоборот, прямая зависимость концентрации хлорофилла (с максимумом в 06–00) от температуры воды.

Daily observations of dynamics of spectral light attenuation (ϵ , m^{-1}), chlorophyll «a» concentration (C , mg/m^3) and water temperature (T , $^{\circ}C$) at different depths of Lake Krasilovskoye (Altai Krai) was conducted in June 2013 and May 2014. The sampling in pelagic part of the lake was carried out every two hours (to estimate ϵ and T) and every six hours (to evaluate C). Thereafter, spectral water transparency in the wavelength range of 400–800 nm was measured with a spectrophotometer ПЭ-5400УФ, and the samples of phytoplankton algae were filtered *in situ*.

Summer vertical daily measurements of ϵ shows that the curve of attenuation dynamics for the bottom layer is in phase opposition with the corresponding curve for the surface layer. This fact has not been observed during the studies in May. In spring, the samples taken at the surface and at the bottom shows the shift of ϵ maxima in time, namely, the maximum for the bottom layer is observed at 2 a. m. (02-00) and for the surface layer — at midnight (00-00).

The data on chlorophyll concentration and water temperature reveals that in summer in the surface layer these two values were in phase opposition, i. e. T is inversely dependent on C . On the contrary, in spring the direct water temperature dependence of chlorophyll concentration with a peak at 6 a. m. is evident.

The daily observations in summer 2013 and spring 2014 shows absolutely different dependencies and correlation of water body characteristics that is, primarily,

* 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».

Суточные наблюдения летом 2013 г. и весной 2014 г. показали совершенно разные зависимости и корреляции исследуемых характеристик водоема, что связано прежде всего с сезонными изменениями самих изучаемых параметров озера и протекающих внутриводоемных процессов, непосредственно влияющих на них.

Ключевые слова: показатель ослабления света, температура воды, хлорофилл, озеро, суточные измерения.

DOI 10.14258/izvasu(2015)1.1-11

Введение. Исследование показателя ослабления света ϵ , являющегося суммой показателей поглощения κ и рассеяния σ , необходимо для решения ряда задач, связанных с экологической оценкой состояния и функционирования водных экосистем [1–3], что актуально для многочисленных озер Алтайского края.

Целью работы является изучение суточной динамики спектрального показателя ослабления света, температуры воды и концентрации хлорофилла «а» на разных глубинах оз. Красиловского.

В качестве объекта исследования выбрано надпойменное оз. Красиловское, расположенное в древней долине стока на правом берегу р. Оби на абсолютной высоте 220 м и находящееся на расстоянии около 60 км от г. Барнаула. Площадь зеркала озера равна 0,8 км², максимальная глубина — 6 м. Питание водоема происходит за счет поверхностных и грунтовых вод. Положение озера в долине реки создает условия для формирования особого микроклимата: большое количество среднемесячных осадков (до 300 мм) и снижение контрастов климата, характерного для этих широт [4].

Методы и результаты исследования. Суточные наблюдения проводились 18–19 июня 2013 г. и 28–29 мая 2014 г. на северном берегу озера, где располагается учебно-научная база Алтайского государственного университета. Пробы воды отбирались в пелагиали (самое глубокое место) водоема, глубина в месте отбора проб составила 5,5 м (в июне 2013 г.) и 6 м (в мае 2014 г.). В результате было проведено более 2000 серий измерений спектральной прозрачности воды в диапазоне 400–800 нм на спектрофотометре ПЭ-5400УФ с использованием кварцевых кювет с геометрической длиной пути 10 мм. Показатель ослабления света ϵ в воде рассчитывался в соответствии с законом Бугера по следующей формуле:

$$\epsilon = (1/\ell) \cdot \ln(I/I_0),$$

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

due to the seasonal changes of lake parameters themselves and direct affection of the hydrological processes on the studied parameters.

Key words: light attenuation, water temperature, chlorophyll, lake, daily measurements.

Для примера на рисунках 1 и 2 представлены результаты измерений показателя ослабления света на длине волны 430 нм по всем горизонтам озера в течение суток в июне 2013 г. и мае 2014 г. соответственно.

Максимальные значения показателя ослабления света для измерений летом 2013 г. в поверхностном слое озера зарегистрированы в полдень, в 10 часов вечера и в полночь 18 июня, но с резким падением в 10 часов утра 19 июня. Это может быть связано прежде всего с физическими процессами, проходящими на водоразделе вода — атмосфера.

В придонном слое водоема (на границе водораздела вода — донные отложения) наибольшие значения показателя ослабления отмечены в 20–00 18 июня и в 12–00 19 июня 2013 г. Резких минимумов не наблюдалось.

Для глубин 4 и 5 м максимум показателя ослабления света приходится на 16–00 18 июня.

Результаты измерений ϵ в мае 2014 г. показали следующее: резких максимумов и минимумов показателей ослабления света в воде для поверхностного слоя и глубин 1, 3 и 4 м не наблюдается. На глубинах 2 и 5 м имеется выраженный максимум, приходящийся на 10–00 29 мая. В придонном слое максимумы изучаемой величины отмечены в 22–00 28 мая, в 02–00 и 12–00 29 мая.

Среднесуточная глубина по диску Секки, определяющая относительную прозрачность, выражаемая в единицах длины, по данным летних измерений составила 1,5 м, весенних — 1 м.

Среди гидрофизических параметров водных экосистем особое место занимает температура. Важным фактором формирования термического режима озер является их морфология — размер и глубина [5].

Суточная динамика температуры воды во многом определяет суточные миграции гидробионтов (растений, животных и микроорганизмов), населяющих морские и пресноводные водоемы [6].

В течение суток проводились непрерывные измерения температуры воды. В июне 2013 г. данные получены с помощью многопараметрического автоматического зонда YSI 6600 V2–4, в мае 2014 г. —

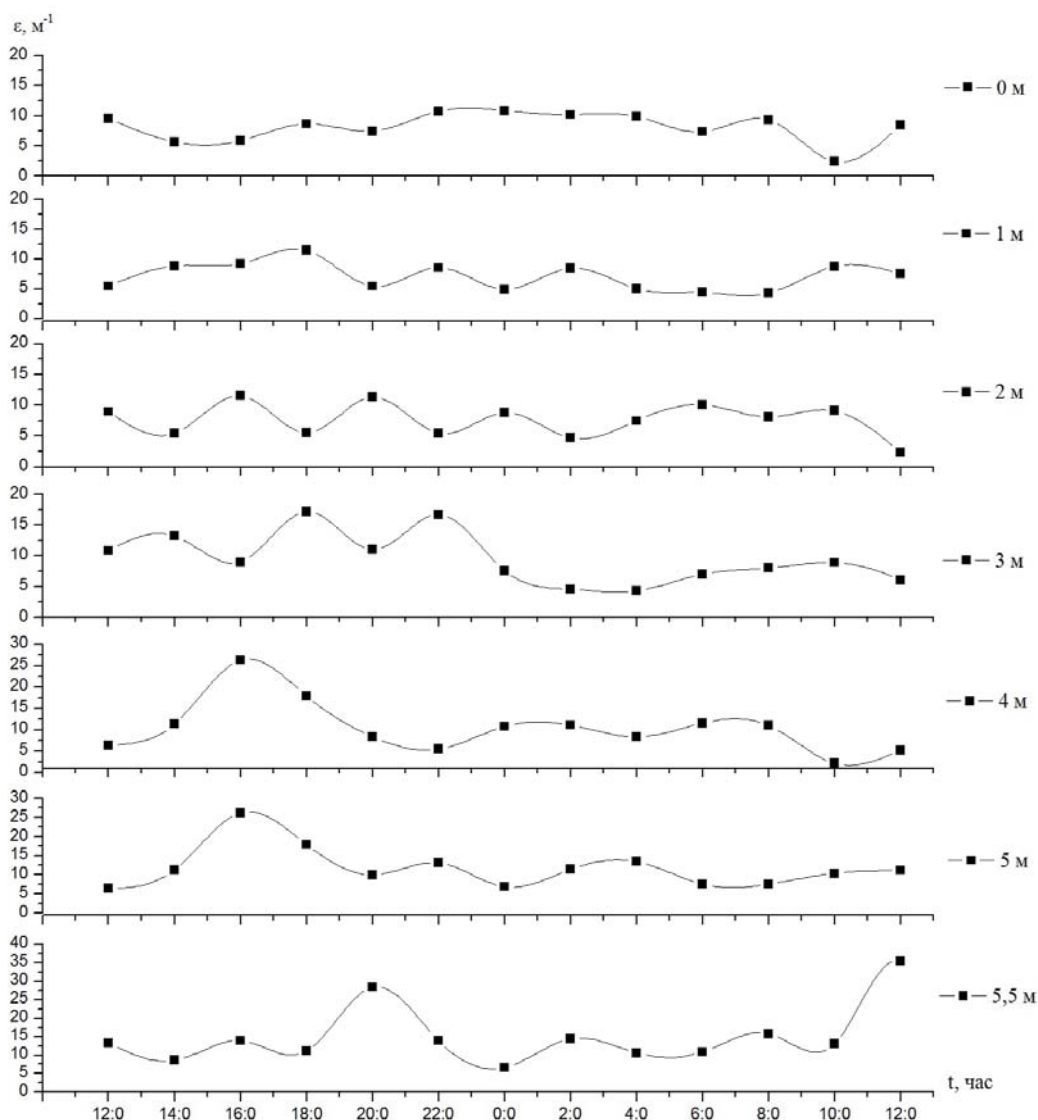


Рис. 1. Суточная динамика показателя ослабления света ϵ на длине волны 430 нм на разных глубинах оз. Красиловского 18–19 июня 2013 г.

автоматизированного многопараметрического измерительного комплекса АПИК.

Суточная динамика температуры (Т) на всех глубинах озера, измеренная в июне 2013 и мае 2014 г., представлена на рисунках 3 и 4 соответственно.

Неравномерное вертикальное распределение этой величины в озере связано с прямой термической стратификацией (увеличением температуры воды от поверхности ко дну) в летний период, что характерно для водоемов умеренных широт. При этом максимальные значения Т для летних измерений 2013 г. в поверхностном слое отмечены в полдень и 18–00 18 июня, минимальные — в 6–00 и 8–00 19 июня. В придонном слое наибольшие значения зафиксиро-

ваны в полдень и вечером — в 20–00 18 июня. Это связано с миграцией планктонных организмов в течение дня, которые, в свою очередь, зависят от динамики температуры воды и освещенности.

Для весенних измерений 2014 г. наблюдалось равномерное вертикальное распределение температуры воды в озере. Понижение значений данной величины в поверхностном слое зафиксировано в 02–00 29 мая, в придонном слое — в полдень 28 мая и 10–00 29 мая. Для глубины 1 м имеется максимум температуры воды, приходящийся на 06–00 29 мая.

Концентрацию (С) хлорофилла определяли стандартным спектрофотометрическим методом согласно ГОСТ 17.1.4.02–90. Фильтрация проб озерной воды

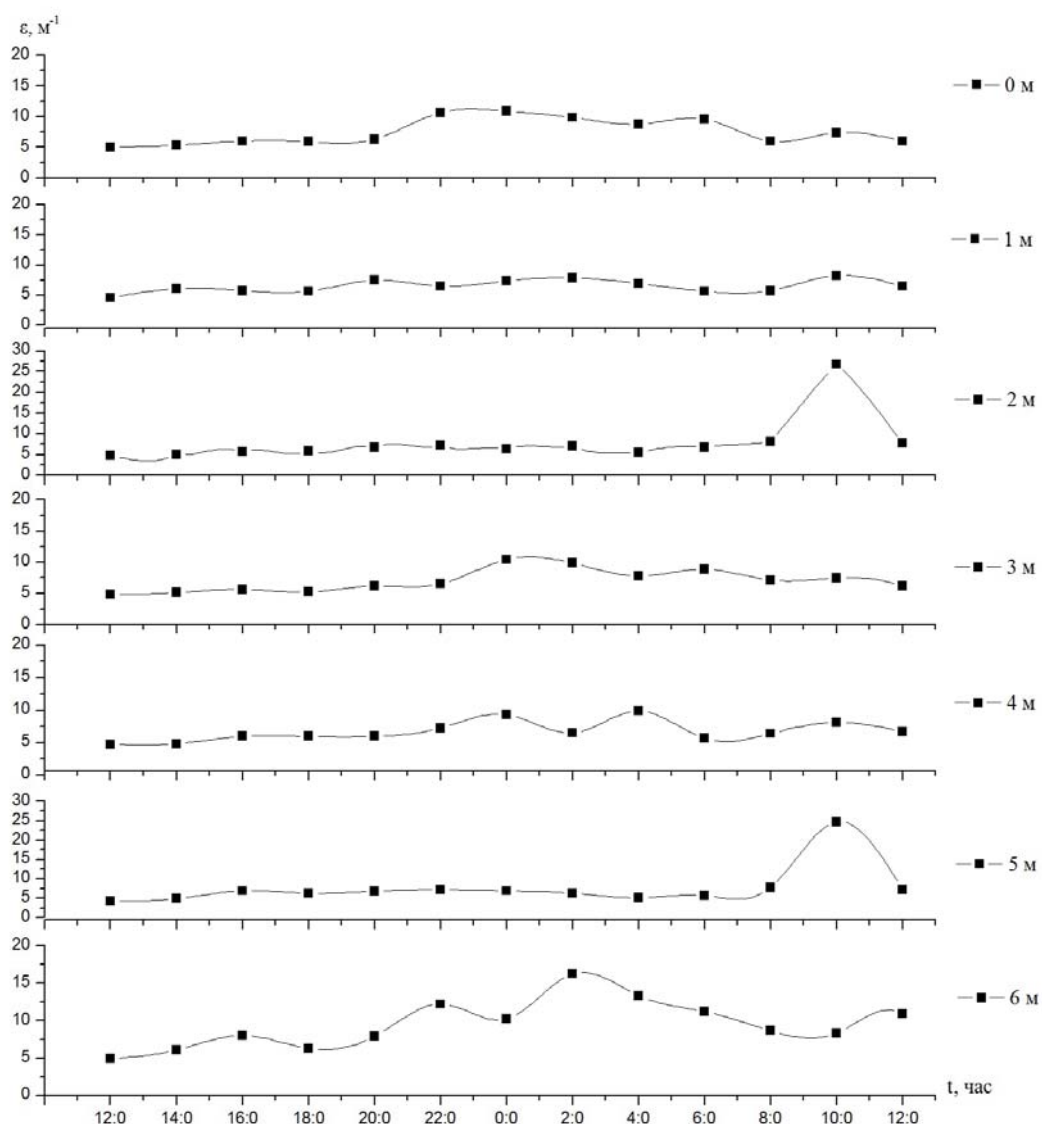


Рис. 2. Суточная динамика показателя ослабления света ϵ на длине волны 430 нм на разных глубинах оз. Красиловского 28–29 мая 2014 г.

для измерения концентрации хлорофилла «а» проводилась каждые 6 часов *in situ*. Было обработано около 100 проб, отобранных на различных глубинах озера. На рисунках 5 и 6 представлены результаты измерений ϵ летом 2013 г. и весной 2014 г. по всем глубинам озера соответственно.

Максимальные значения концентрации хлорофилла «а» за сутки отмечены в 06–00 и в полдень 19 июня на глубине 4 м, а в полдень 29 мая — на глубинах 1 и 3 м.

Выводы. Проведенные суточные измерения показателя ослабления света ϵ на разных глубинах озера Красиловского летом 2013 г. показали, что кривая, характеризующая динамику показателя ослабления

света в придонном слое во время наблюдений, находится в противофазе с соответствующей кривой для поверхностного слоя. Весной было обнаружено, что временная зависимость ϵ имеет в основном плавный ход.

Измерения температуры воды летом 2013 г. показали ее резкое снижение по горизонтам, начиная с глубины 3 м. Это может быть связано с питанием озера грунтовыми водами, температура которых ниже поверхностных вод. Неравномерное распределение T в озере обусловлено перемешиванием водных масс и внутриводоемными процессами.

Измерения температуры воды весной 2014 г. показали, что почти по всем горизонтам сохраняется

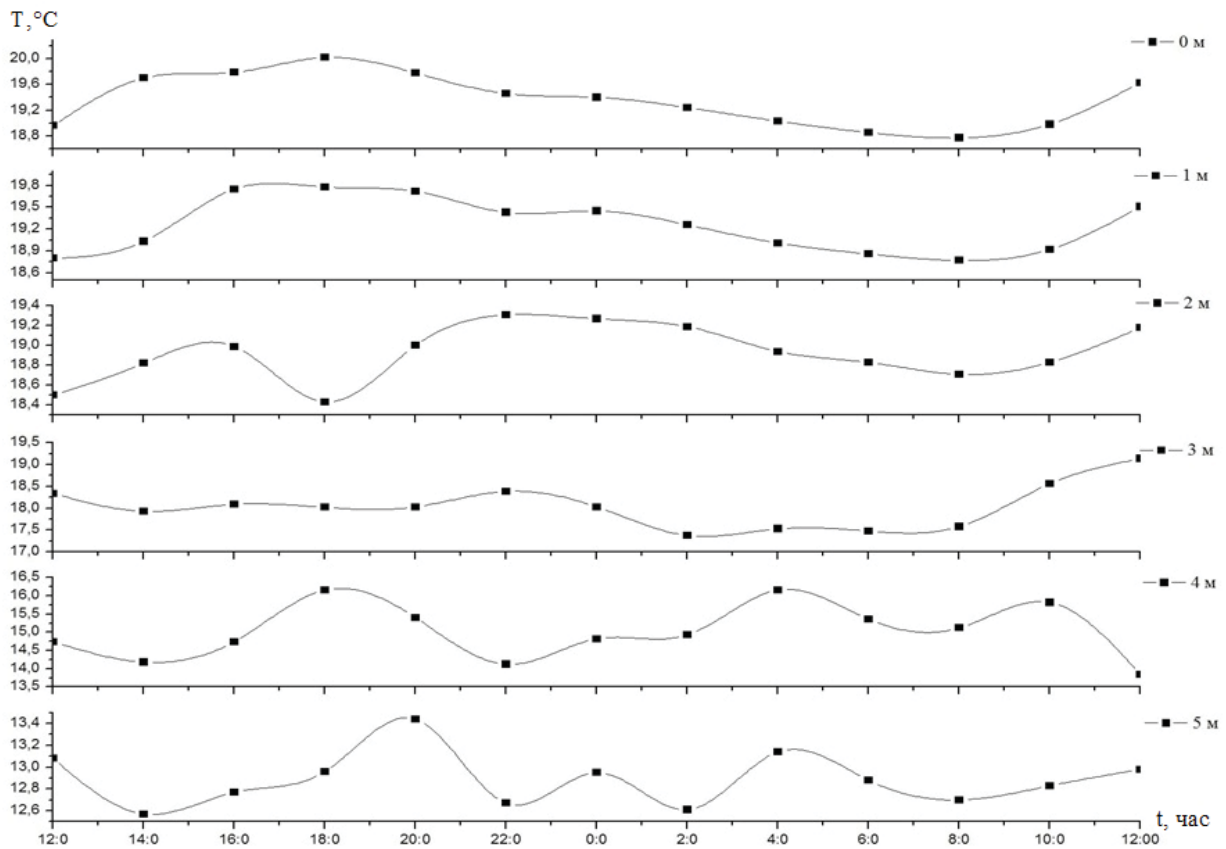


Рис. 3. Суточная динамика температуры воды на разных глубинах оз. Красилового 18–19 июня 2013 г.

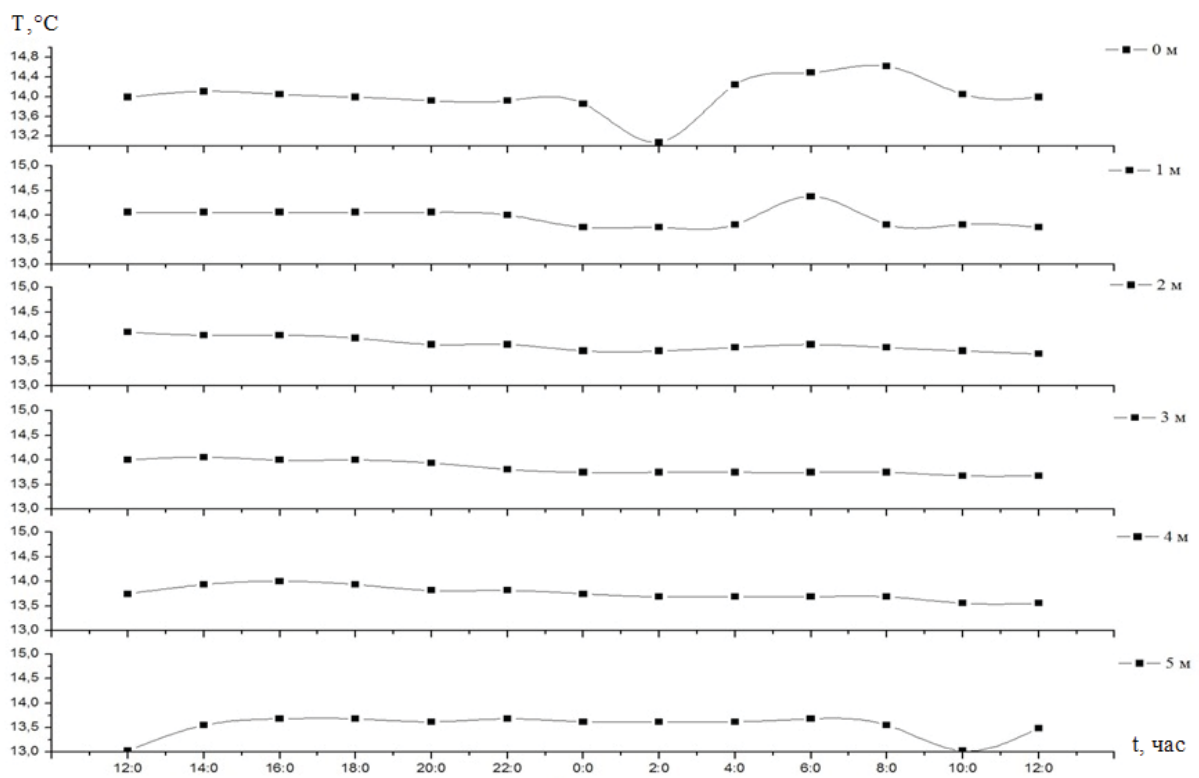


Рис. 4. Суточная динамика температуры воды на разных глубинах оз. Красилового 28–29 мая 2014 г.

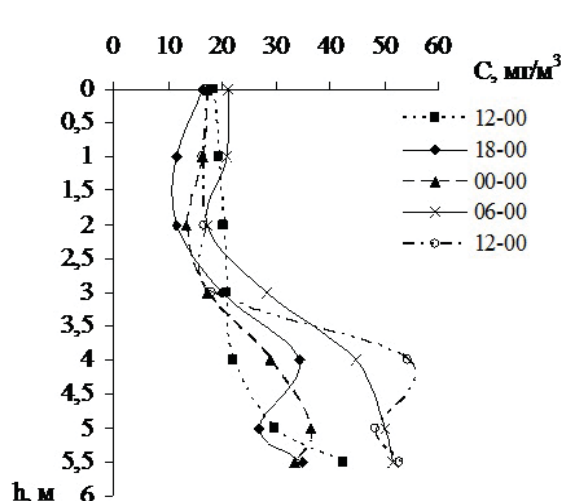


Рис. 5. Суточная динамика концентрации хлорофилла «а» на разных глубинах оз. Красиловского 18–19 июня 2013 г.

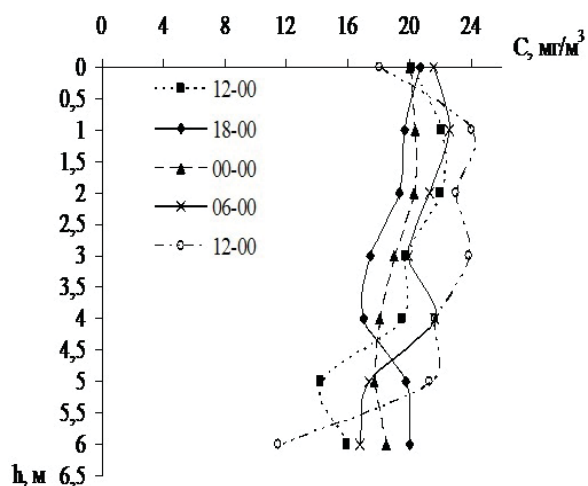


Рис. 6. Суточная динамика концентрации хлорофилла «а» на разных глубинах оз. Красиловского 28–29 мая 2014 г.

равномерное вертикальное распределение данной величины.

Суточное изменение хлорофилла определяется чередованием низкой и высокой интенсивности света и колебаниями температуры воды.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИВЭП СО РАН: к. б. н., н. с. А.В. Котовщикову —

за предоставленные данные концентрации хлорофилла, м. н. с. А.В. Дьяченко — за температурные данные; студентам и магистрантам АлтГУ: Д. Сазыкину, И. Тунникову, С. Чугрееву, В. Терещенко, О. Орловой, С. Семакиной — за помощь в отборе проб и проведении измерений коэффициента пропускания.

Библиографический список

1. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. — Л., 1983.
2. Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана / под ред. А.С. Моница. — М., 1983.
3. Маньковский В.И. Основы оптики океана: метод. пособие. — Севастополь, 1996.
4. Лузгин Б.Н. Происхождение Красиловского озера. — Известия Алтайского гос. ун-та. — 1998. — №4.
5. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины. — Киев, 2006.
6. Биологический энциклопедический словарь / гл. ред. М.С. Гиляров; редкол.: А.А. Бабаев, Г.Г. Винберг, Г.А. Заварзин и др. — 2-е изд., испр. — М., 1986.