

**XV1 Всероссийская конференция – школа молодых исследователей
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»,
14 - 19 сентября 2015 г.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ ЭВТРОФНЫХ ВОДОЕМОВ

Шляхова Л.А., Повх В.И.

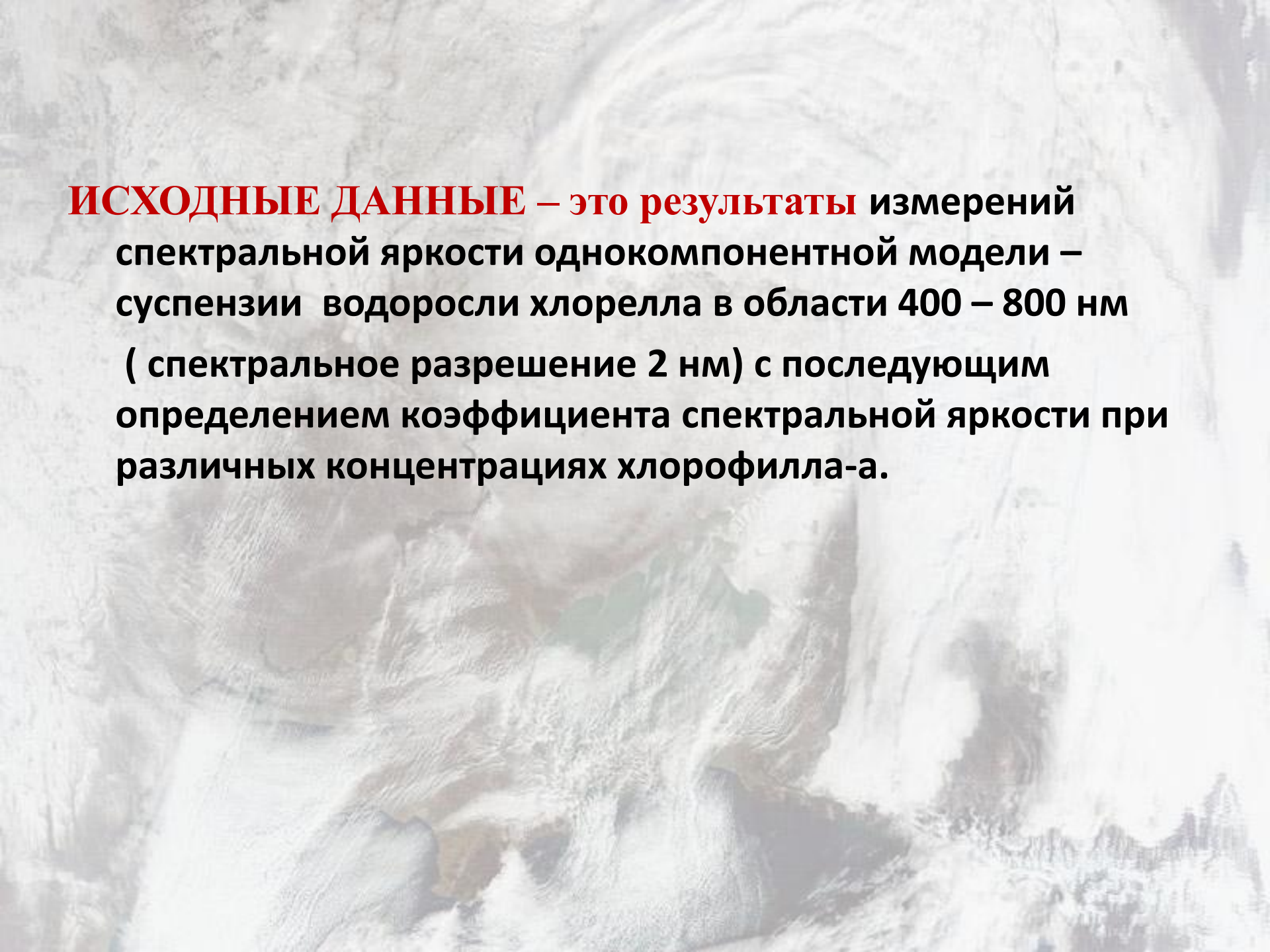
**Южный Российский Информационный
Аналитический Центр**

e-mail: shell221@mail.ru

Дистанционные методы контроля состояния поверхностных вод суши основаны на интерпретации спектральных свойств отраженного от воды излучения. Для установления однозначности спектрального признака необходимо наличие опорной информации в виде каталога отражательных характеристик отдельных компонент, вносящих максимальный вклад в спектральную яркость природной воды. Создать обсуждаемый каталог представляется возможным на основе лабораторного эксперимента. Анализ результатов по предлагаемой в работе однокомпонентной модели позволит решить обратную задачу для частного случая – определить содержание выделенной компоненты по дистанционно измеренному параметру. Регистрация излучательной способности предложенных моделей в видимой и ИК областях спектра проводилась гиперспектрометром с разрешением 2 нм, что позволило выявить узкие полосы поглощения в УФ и ИК областях.

Цель настоящей работы – выявление дешифровочного признака степени зарастания водоемов в лабораторных условиях на модели однокомпонентной смеси: дистиллированная плюс водоросль хлорелла в различных концентрациях, т.е. модели с различными концентрациями хлорофилла-а, обуславливающего поглощение в природной воде.

Результаты решения обратной задачи на основе - теоретических расчетов – это спектральная яркость в заданных экспериментом спектральном интервале и концентрациях хлорофилла-а, полученная в приближении однократного рассеяния на биологических частицах (хлорелла) с учетом Релеевского рассеяния чистой водой.

The background of the slide is a close-up photograph of a person's face, specifically the forehead and eye area. A small, circular patch of green algae is visible on the forehead. The text is overlaid on this image.

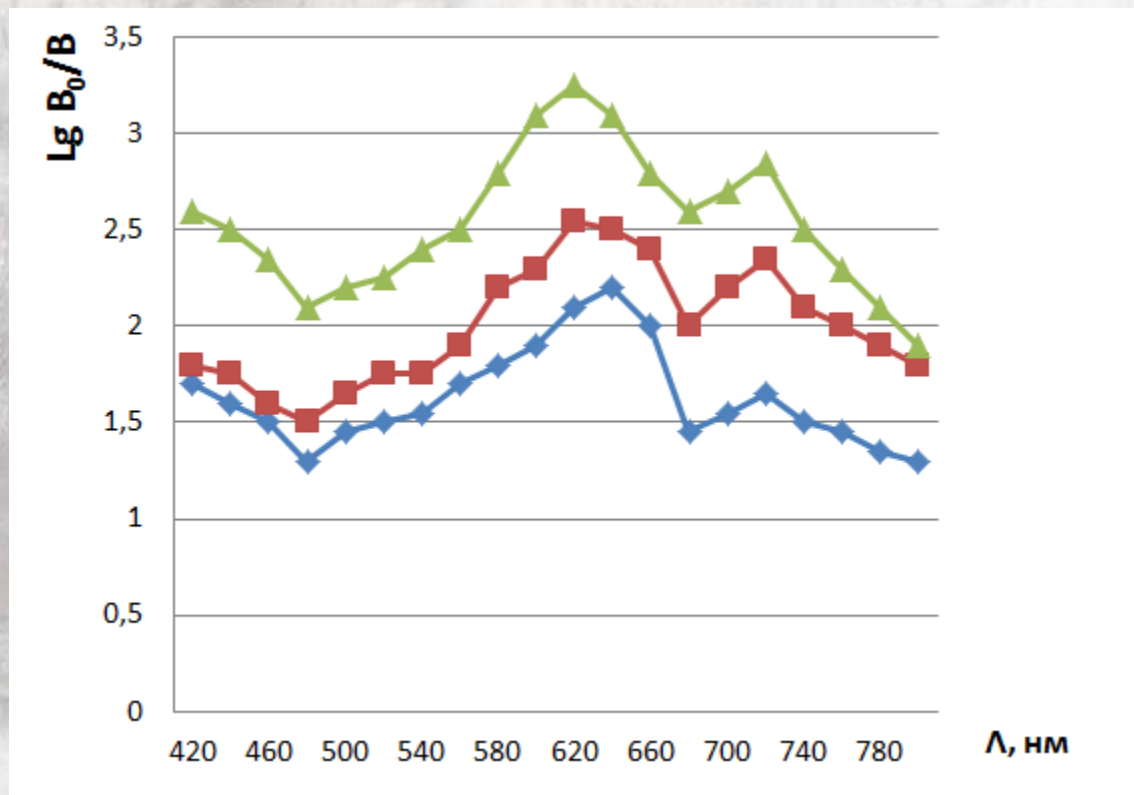
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ – это результаты измерений спектральной яркости однокомпонентной модели – суспензии водоросли хлорелла в области 400 – 800 нм (спектральное разрешение 2 нм) с последующим определением коэффициента спектральной яркости при различных концентрациях хлорофилла-а.

Моделирование оптического радиационного образа как рассеивающей и поглощающей природной среды в однокомпонентном приближении сводится к моделированию оптических свойств ее диспергированного элемента. В модель расчета спектральной яркости включены два вида ослабления света: молекулярное рассеяние или рассеяние Релея и поглощение крупными биогенными частицами. *При построении замкнутой модели оптических характеристик* использовались допущения, соответствующие современным представлениям о его структуре: гидрозоль имеет полидисперсную систему и представляется эквивалентной системой однородных частиц сферической формы.

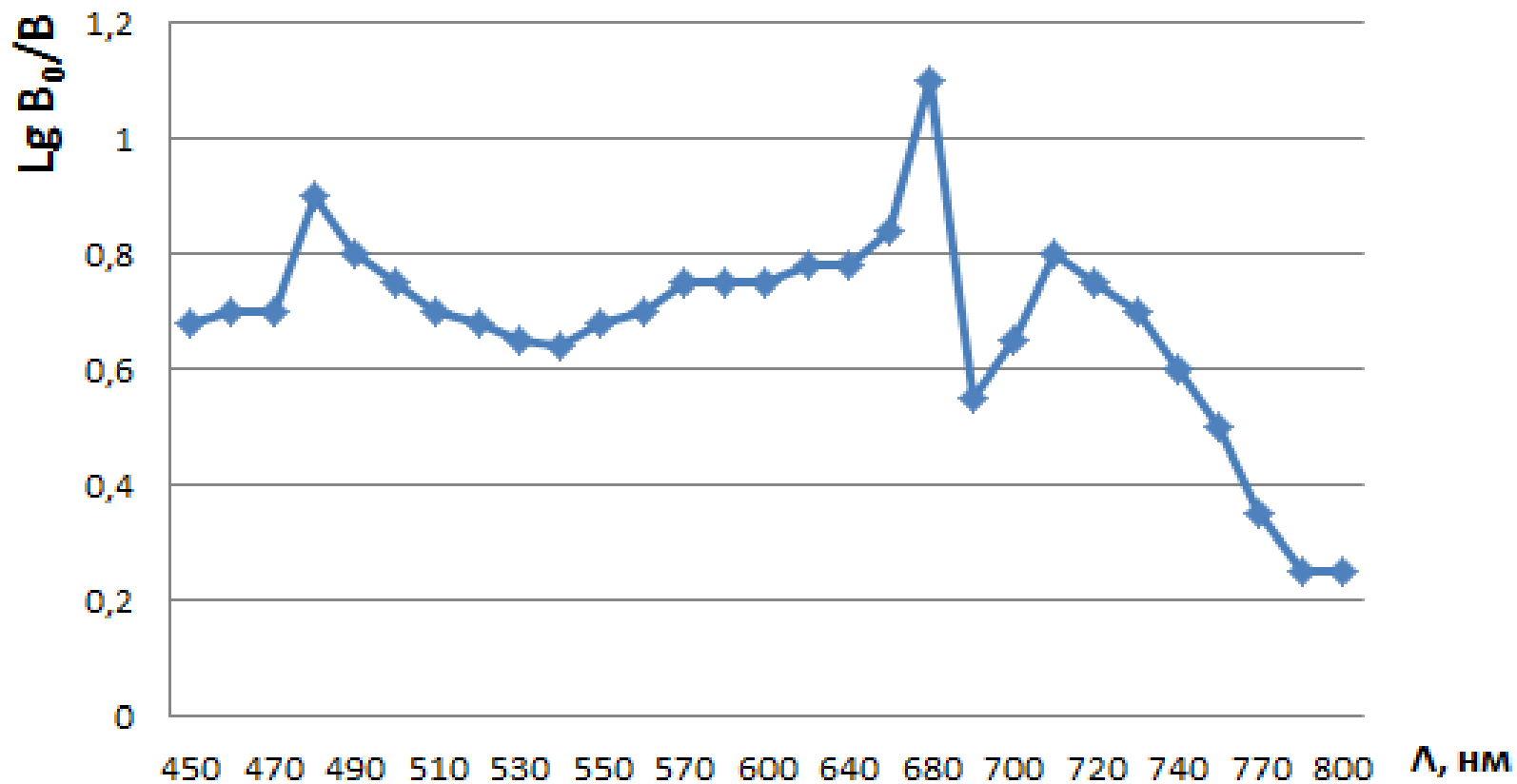
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Спектры яркости однокомпонентной модели представлены на рис.1, где яркость характеризуется относительной величиной как отношение яркости эталона V_0 (баритованная бумага) к абсолютному значению яркости V , измеренной спектрометром. При увеличении концентрации хлорофилла-а излучательная способность модели возрастает по сравнению с чистой водой и наблюдается корреляция со спектрами поглощения (2) (рис.2). Как результат исследования однокомпонентной модели следует рассматривать выявление наряду с известной полосой поглощения хлорофилла-а при длине волны 680 нм и пика отражения на длине волны 715 нм (рис.1), по-видимому, также обусловленного определенными пределами изменения концентрациями хлорофилла-а.

Спектральная яркость суспензии одноклеточной водоросли хлореллы: 1 – $C_{\text{хл-а}}$ -7мг/м³; 2 – $C_{\text{хл-а}}$ - 33мг/м³; 3 - $C_{\text{хл-а}}$ - 60мг/м³



Спектральная зависимость рассчитанных значений показателя поглощения фитопланктона по данным [2]



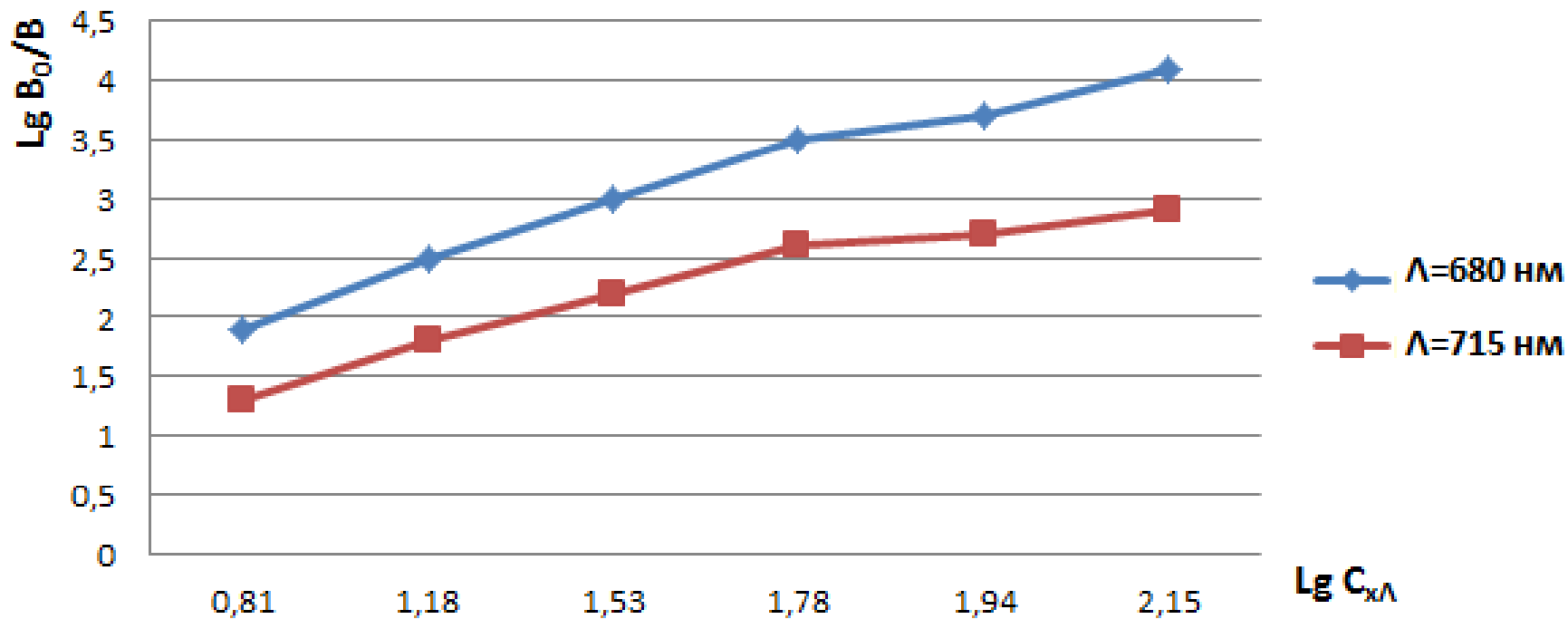
Исходя из предпосылок, что выявленные особенности в спектрах следует рассматривать как дешифровочный признак биологически активных веществ и используя возможность изменения в лабораторных условиях одного параметра модели – концентрации хлорофилла-а, получена линейная зависимость $\lg V_0/V$ от концентрации хлорофилла-а для полосы поглощения при 680 нм и выявленной полосы отражения при 715 нм (рис.3). Уравнения регрессии с коэффициентами корреляции 0,93

и 0,88 имеют вид:

$$\lg V_0/V = 0,56 + 1,63 \lg C_{\text{хл-а}} \quad (680 \text{ нм})$$
$$\lg V_0/V = 0,33 + 1,21 \lg C_{\text{хл-а}} \quad (715 \text{ нм})$$

Установленная связь между концентрацией хлорофилла-а и дистанционно измеренным параметром - спектральной яркостью – создает предпосылки для решения обратной задачи – дистанционному контролю содержания хлорофилла-а в эвтрофных природных водоемах.

Зависимость величины $I_g V_0 / V$ от концентрации хлорофилла-а: 1 – для полосы поглощения при 680 нм; 2 – для пика отражения при 715 нм



РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Предложенное однокомпонентное приближение позволило выполнить теоретические расчеты спектральной яркости в заданных экспериментом спектральном интервале и концентрациях хлорофилла-а, используя «квазиоднократное» приближение решения уравнения переноса излучения [3] с учетом Релеевского рассеяния чистой водой:

$$\rho'(\lambda) = \frac{\Lambda \chi(\beta')}{4(1 + |\cos \beta'|) [1 - \Lambda \Phi(\beta')]},$$

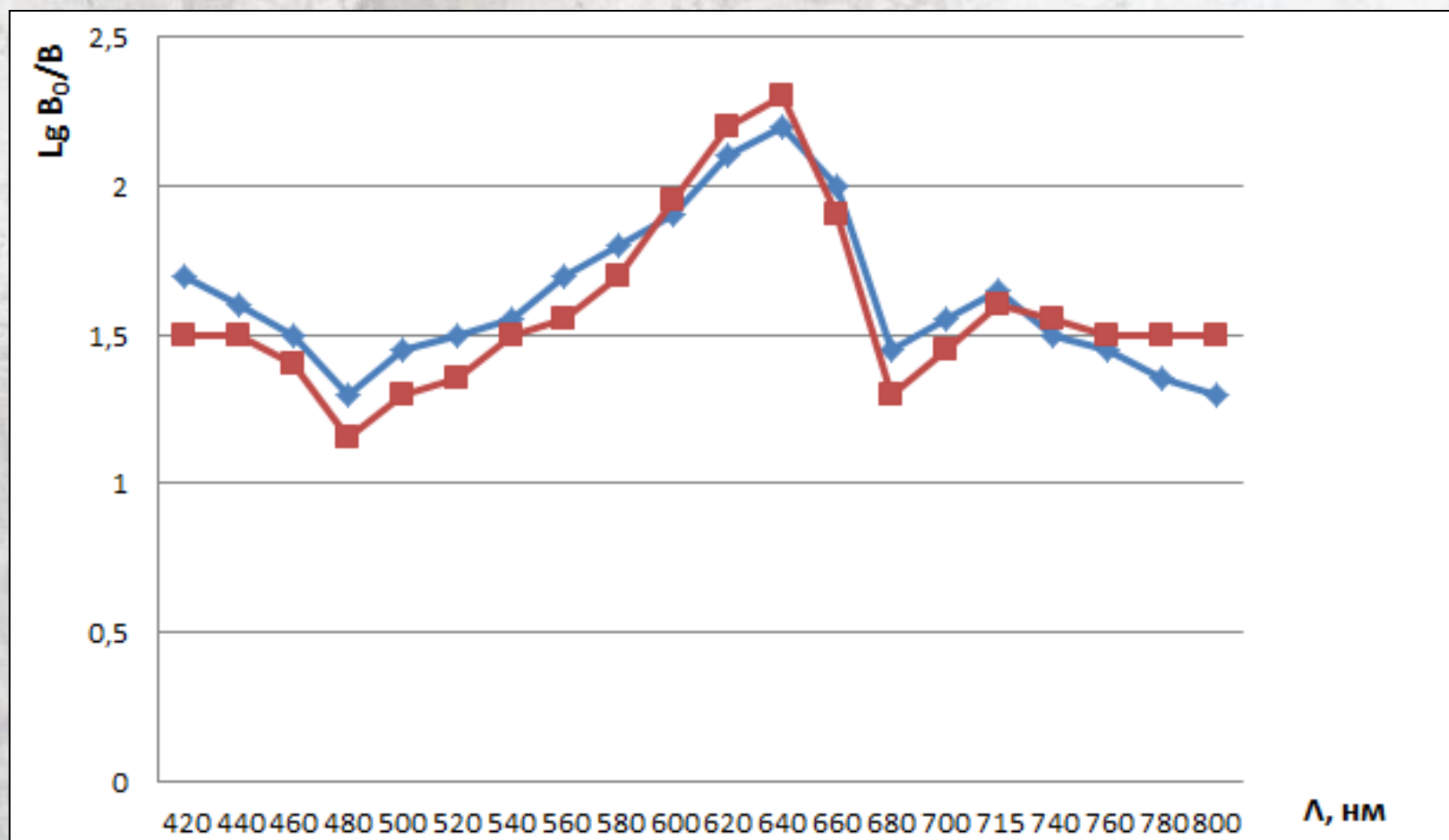
где $\Lambda = \sigma/\varepsilon$ - вероятность выживания кванта света,

$\chi(\beta') = 4\pi\sigma(\beta)/\sigma$ - индикатриса рассеяния,

β' - угол между направлением распространения в воде падающего пучка света и нормалью слоя, $\Phi(\beta')$ - интегральная функция от $\chi(\beta')$, равная при $\beta' = 180^\circ$ доле света, рассеянного вперед.

- Поскольку было принято присутствие только крупнодисперсной биогенной фракции, то учитывалось, как и ранее [1], что в средней области B' вариации дисперсности несущественно влияют на угловое распределение интенсивности рассеяния и рассматривалась система частиц с показателем преломления $m = 1,05 - i10^{-3}$ с логарифмически-нормальным спектром размеров при фиксированном значении среднего объемно-поверхностного радиуса $r = 10$ мкм. Результаты сравнения значений спектральной яркости по теоретическим и экспериментальным моделям показаны на рис.4.
- Полученные в работе результаты могут рассматриваться как основа для перехода к многокомпонентным моделям природных водоемов.

Сравнение спектрального хода яркости суспензии одноклеточной водоросли хлореллы с $C_{\text{хл-а}} = 7 \text{ мг/м}^3$: 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные данные





Благодарю за внимание!