



РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ГИДРООПТИКИ В ДИСТАНЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Б.Л. Сухоруков, Г.Е. Ковалева,
И.В. Новиков

Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, УПРАВЛЕНИЕ, МОНИТОРИНГ»

Ростов-на-Дону, 20 – 23 сентября 2023 года

Спектры коэффициентов спектральной яркости являются интегральным «отпечатком состояния» водной экосистемы, ее абсолютно объективной характеристикой.

Коэффициент спектральной яркости (КСЯ) $\rho(\mu, \mu_0, \varphi, E_\lambda)$ (*reflectance*) – это отношение спектральной плотности энергетической яркости исследуемой поверхности $B_\lambda(\theta, \varphi, E_\lambda)$ к спектральной плотности энергетической яркости идеально рассеивающей эталонной поверхности $B_\lambda(\theta', \varphi)$ т.е.:

$$\rho_\lambda(\theta, \varphi, E_\lambda) = B_\lambda(\theta, \varphi, E_\lambda) / B_{0, \lambda}(E_\lambda)$$

Связь КСЯ с концентрацией оптически активных компонентов, присутствующих в воде, описывается следующим образом:

$$\rho(\lambda) = \frac{\sum_i \sigma_i^y(\lambda) C_i + \alpha_{\text{воды}}(\lambda) + 0,5\sigma_{\text{воды}}(\lambda) + w_{\text{хл}}(\lambda) C_{\text{хл}} + w_{\text{фб}}(\lambda) C_{\text{фб}}}{\sum_i (\alpha_i(\lambda) + \Phi_i(\lambda) \sigma_i(\lambda)) C_i}$$

где $\alpha_i, \sigma_i, \sigma_i^y$ - удельные показатели поглощения, рассеяния и рассеяния под углом y i -ого ОАК с концентрацией C_i или воды, w – удельный выход флуоресценции хлорофилла или фикобилина, $\Phi_i(\lambda)$ – интеграл от индикатрисы рассеяния, который воспроизводит долю света, рассеянного в заднюю полусферу частицами сорта i , λ - длина волны, для которой выполняется расчет.

Модель и алгоритм расчета спектров КЯ в приближении «поглощающей среды с сильно анизотропным рассеянием»

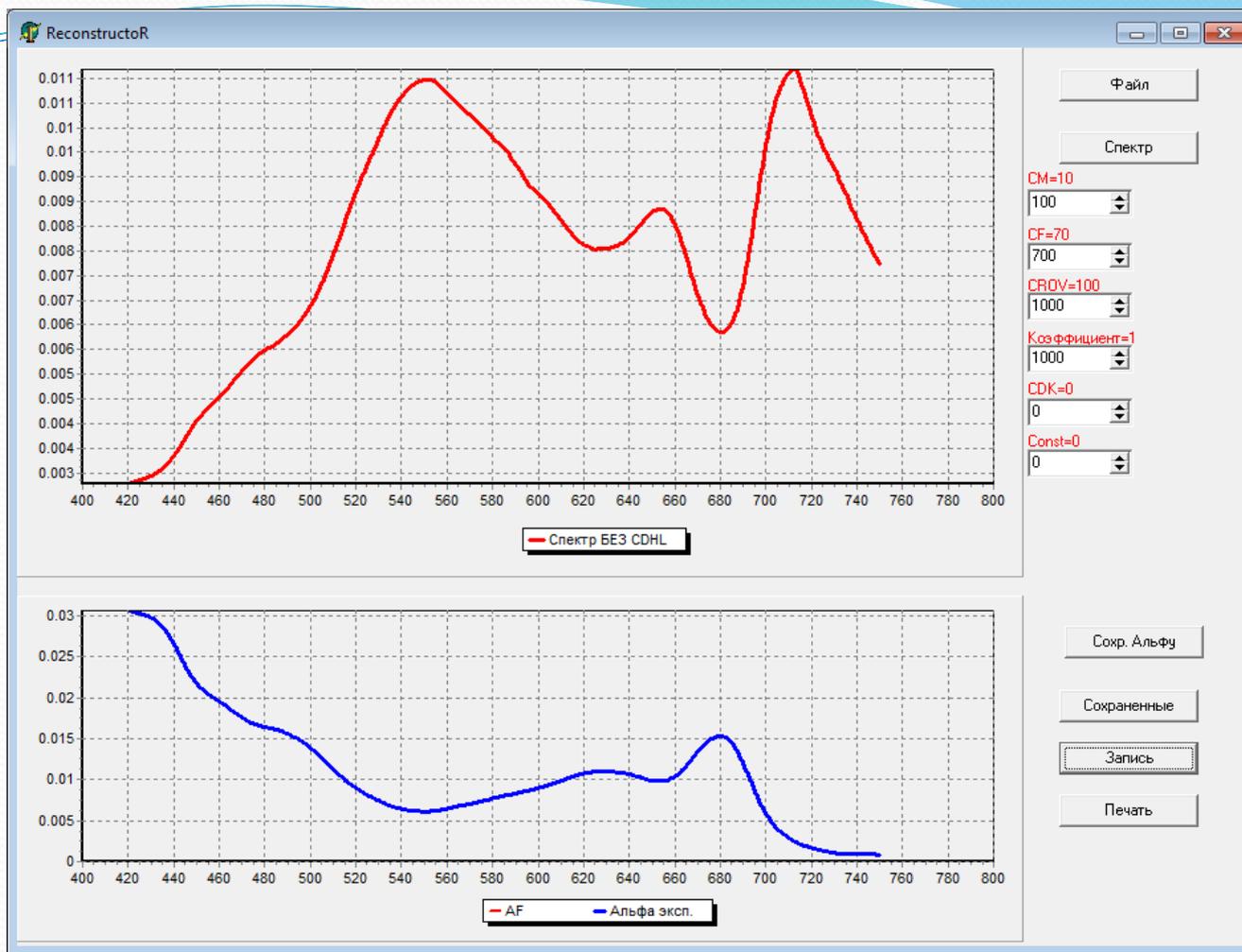
$$\rho(\mu, \mu_0, \psi) = \frac{\Lambda \cdot \chi(\cos \vartheta_0)}{4 \cdot (\mu + \mu_0) \cdot [1 - \Lambda \cdot \Phi(\mu, \mu_0)]}$$

$$\rho_\lambda(\sigma, \kappa, \chi) = \Sigma_\lambda(\sigma, \kappa, \chi) / \text{K}_\lambda(\sigma, \kappa, \chi)$$

где $\Sigma_\lambda(\sigma, \kappa, \chi) = \sigma_{\lambda, \text{МВ}} \cdot C_{\text{МВ}} + \sigma_{\lambda, \text{ФП}} \cdot C_{\text{ФП}} + \sigma_{\text{воды}}$
 $+ W_{\text{ХЛ}} \cdot C_{\text{ХЛ}} + W_{\text{ФБ}} \cdot C_{\text{ФБ}}$

$$\text{K}_\lambda(\sigma, \kappa, \chi) = [\kappa_{\lambda, \text{МВ}} + (1 - \Phi_{\lambda, \text{МВ}}) \cdot \sigma_{\lambda, \text{МВ}}] \cdot C_{\text{МВ}} +$$
$$[\kappa_{\lambda, \text{ФП}} + (1 - \Phi_{\lambda, \text{ФП}}) \cdot \sigma_{\lambda, \text{ФП}}] \cdot C_{\text{ФП}} + 0,5 \cdot \sigma_{\lambda, \text{воды}} + \kappa_{\lambda, \text{воды}} + \kappa_{\lambda, \text{РОВ}}$$

Сухоруков Б.Л., Новиков И.В. Программа расчета коэффициентов спектральной яркости видимой области спектра восходящего от воды излучения . № регистрации ФИПС 2020665113 Дата регистрации 23.11.2020 г. Номер 2020618718 и дата поступления заявки 07.08. 2020 Дата публикации 23.11.2020 и номер бюллетеня №12



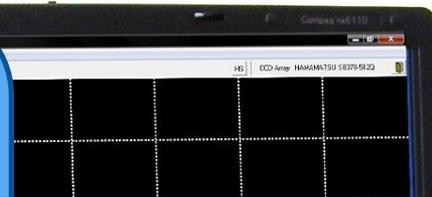
Программное обеспечение, позволяющее моделировать СКСЯ, варьируя влияние видимых ОАК, как за счет изменения C_i , так и за счет изменения формы $\alpha_i(\lambda)$ пигментов фитопланктона (спектров показателя поглощения (СПП), включая их соотношение в клетке фитопланктона.

Технические характеристики спектрометра S41

Объектив спектрометра конструктивно жестко связан непосредственно с прибором. При измерении с малой высоты (от метра) используют излучатель ГУ ГХИ трубку с угловым расхождением

Принцип действия спектрометра основан на одновременной регистрации яркости излучения, разложенного в спектр дифракционной решеткой в 512 каналах с помощью многоканального детектора фирмы Hamamatsu.

Кривые коэффициентов яркости (КЯ) восходящего от воды излучения получают с помощью портативного (вес 0,76 кг) малогабаритного (129x78x53 мм³) спектрометра S41, производства фирмы «SolarLS» в спектральном диапазоне – 389–808 нм со спектральным разрешением 1,8 нм.



Содержание пигментов фитопланктона и фикоцианина
в Цимлянском водохранилище и на р. Дон

Дата	Станция	Концентрация пигментов фитопланктона и фикоцианина (мкг/дм ³)				
		$C_{\text{хл а}}$	$C_{\text{хл б}}$	$C_{\text{хл с}}$	$C_{\text{хл общ}}$	$C_{\text{ФЦ}}$
27.08.2020	ст. 1	88,01	5,01	3,80	96,82	86,9
-«-	ст. 2	167,02	6,93	2,21	176,16	11,9
-«-	ст. 12	62,41	3,59	3,04	69,04	100,3
11.04.2022	ПБ	21,79	0,003	20,65	42,44	н/опр
11.05.2022	ФВ	23,97	0	19,90	43,87	н/опр
29.06.2022	ПБ	3,84	0,22	4,13	8,19	н/опр

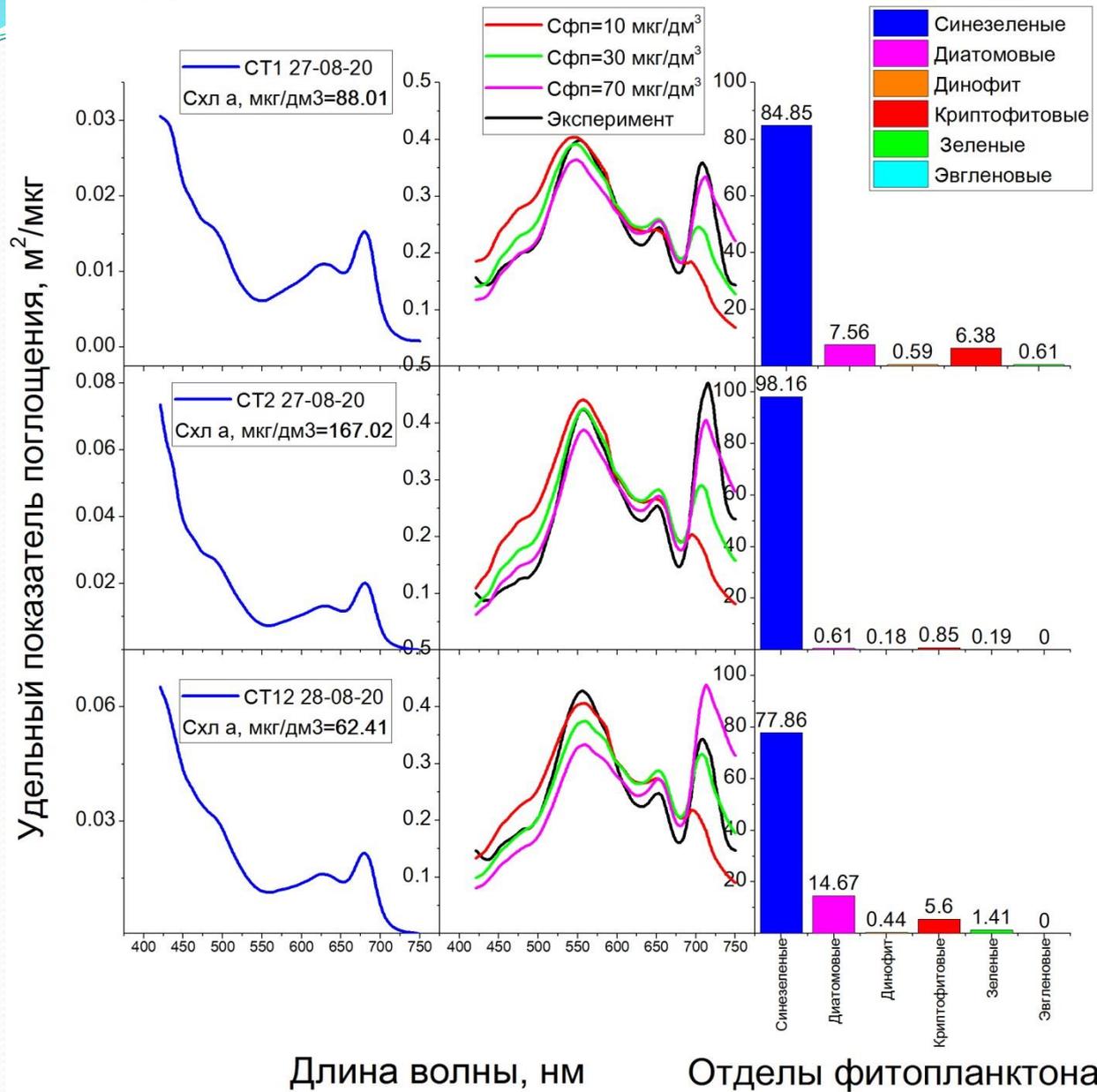
Примечание: ПБ – правый берег; ФВ – фарватер (западный мост г. Ростов-на-Дону); «н/опр» – не определяли

Таксономический состав фитопланктона на отдельных станциях
Цимлянского водохранилища и р. Дон

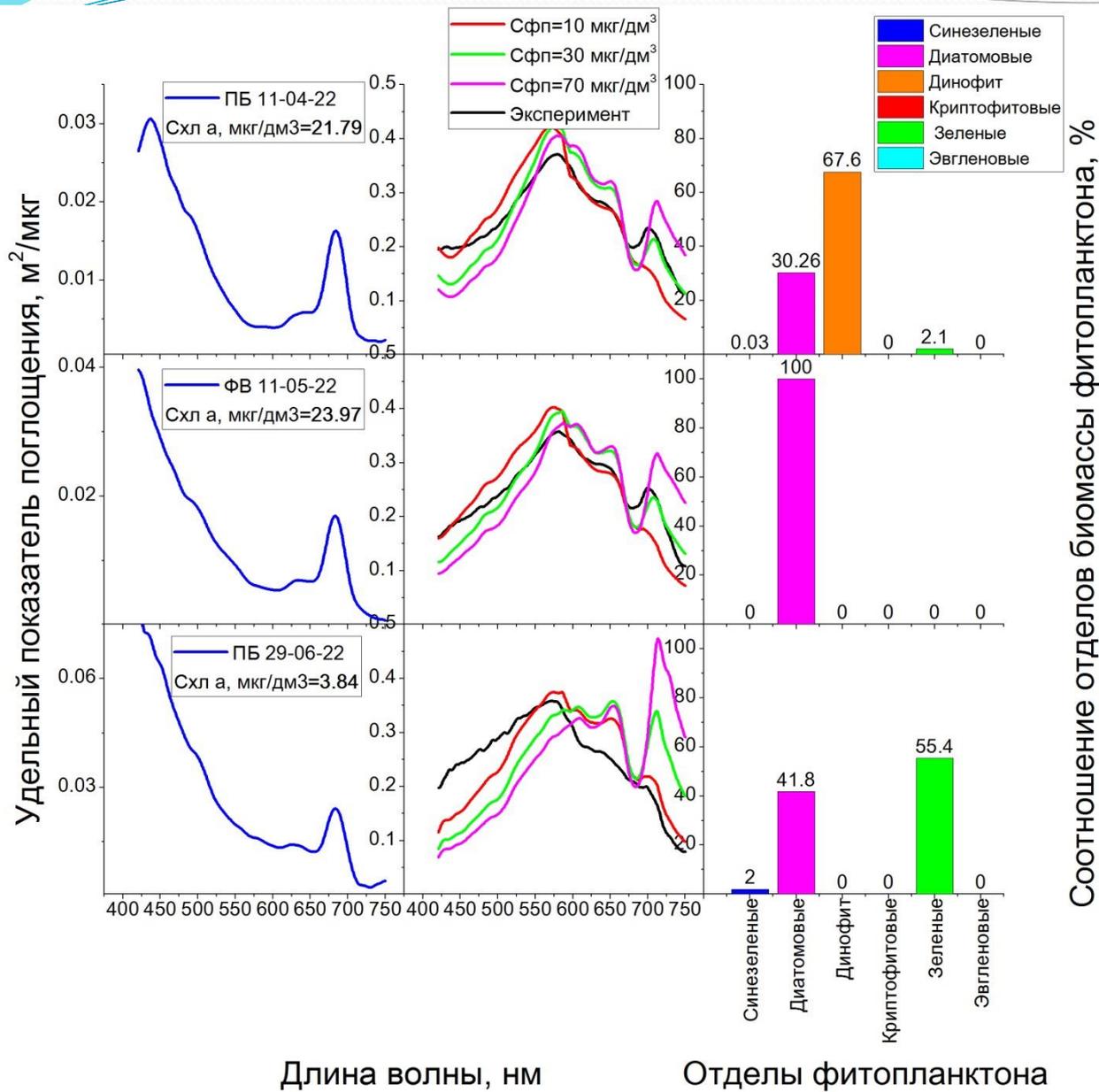
Дата	Станция	Отделы фитопланктона				
		Синезеленые	Диатомовые	Динофитовые	Зеленые	Криптофитовые
27.08.2020	ст.1	$\frac{28547,2}{84,8}$	$\frac{2542,2}{7,6}$	$\frac{197,3}{0,6}$	$\frac{209,9}{0,6}$	$\frac{2146,3}{6,4}$
-«-	ст.2	$\frac{159773,5}{98,2}$	$\frac{998,6}{0,6}$	$\frac{296,2}{0,2}$	$\frac{316,1}{0,2}$	$\frac{1389,0}{0,9}$
-«-	ст.12	$\frac{38051,0}{77,9}$	$\frac{7169,2}{14,7}$	$\frac{217,0}{0,4}$	$\frac{690,0}{1,4}$	$\frac{2737,8}{5,6}$
11.04.2022	ПБ	$\frac{0,53}{0,03}$	$\frac{570,21}{30,3}$	$\frac{1273,7}{67,6}$	$\frac{39,62}{2,1}$	отс
11.05.2022	ФВ	отс	$\frac{487,06}{100,0}$	отс	отс	отс
29.06.2022	ПБ	$\frac{8,35}{2,8}$	$\frac{125,6}{41,8}$	отс	$\frac{166,4}{55,4}$	отс

Примечание: «отс» – отсутствие в составе фитопланктона;

Дробь: биомасса отдела в мг/м³– числитель, доля, в % – знаменатель)



Совместные спектры показателя поглощения (слева), коэффициента спектральной яркости (нормированные – средний ряд) и таксономического состава фитопланктона (справа) для станций 1, 2, 12 Цимлянского водохранилища



Совместные спектры показателя поглощения (слева), коэффициента спектральной яркости (нормированные – средний ряд) и таксономического состава фитопланктона (справа) для р.Дон

Заключение

1. Собран экспериментальный материал для комплексной базы данных, состоящий из дистанционной спектрометрической информации и первичных гидрооптических данных (экспериментально измеренных спектров показателя поглощения органической и неорганической составляющих фильтратов проб воды).
2. Разработаны основы теоретической интерпретации дистанционно получаемой гиперспектральной спектрометрической информации по водным объектам 2 типа на примере водных объектов Юга России.
3. *Определен таксономический состав фитопланктона.* Рассчитаны модельные спектры коэффициентов спектральной яркости использующие экспериментально определенные спектры показателя поглощения фитопланктона.



Благодарю за внимание