

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГОРЬКОВСКОГО И ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ

Л.Е. Сигарева, Н.А. Тимофеева, В.В. Законнов

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
Россия, 1525742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок
E-mail: sigareva@ibiw.yaroslavl.ru*

Поступила в редакцию 25.08.09 г.

Сравнительный анализ содержания растительных пигментов в донных отложениях Горьковского и Чебоксарского водохранилищ. – Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А., Законнов В.В. – Изучено распределение растительных пигментов и типологические характеристики донных отложений по продольному профилю и поперечным разрезам крупных последовательно расположенных водохранилищ Волги – Горьковского и Чебоксарского. Определено содержание пигментов в гранулометрических фракциях отложений с диаметрами частиц > 0.1 , $0.1 - 0.01$, < 0.01 мм. Распределение пигментов согласуется со структурой грунтового комплекса. Получены уравнения связи между содержанием хлорофилла в сумме с феопигментами и свойствами седиментов. Выявлены особенности распределения пигментов в исследованных водохранилищах.

Ключевые слова: растительные пигменты, донные отложения, водохранилища Волги.

Comparative studies of the vegetative pigment content in the bottom sediments of the Gorky and Cheboksary reservoirs. – Sigareva L.Ye., Timofeeva N.A., and Zakonnov V.V. – The distribution of plant pigments and typological characteristics of the bottom sediments in two Volga reservoirs (the Gorky and Cheboksary ones) were studied. The vegetative pigment content was determined in several fractions with grain sizes > 0.1 , $0.1 - 0.01$, and < 0.01 mm. The differences in the plant pigment content agree with the horizontal distribution of the bottom sediments. A series of regression equations describing the dependence between the chlorophyll and pheopigment content and the properties of the bottom sediments was obtained. Peculiarities of the pigment distribution were found.

Key words: plant pigments, bottom sediments, Volga reservoirs.

ВВЕДЕНИЕ

Горьковское и Чебоксарское водохранилища имеют существенную протяженность в волжском каскаде, что обуславливает их значимость в водоснабжении, судоходстве и рекреации. Несмотря на большое количество работ, основное свойство экосистем этих водохранилищ – продуктивность – исследовано недостаточно. Изменения продуктивности напрямую связаны с эвтрофированием, для изучения которого особое значение имеют растительные пигменты в донных отложениях (ДО). По содержанию пигментов в осадках судят о многолетних изменениях биомассы и состава фитопланктона, его первичной продукции, трофии водоема (Swain, 1985; Leavitt, 1993). Для корректного использования сведений об осадочных пигментах в экологическом мониторинге необходимо знание закономерностей связей между биотическими и абиотическими факторами продуктивности. В этом аспекте представляет интерес оценка корреляций между содержанием растительных пигментов и физико-химическими характеристиками донных отложений. Эти вопросы затрагивались и ранее, однако исследования были эпизодическими и проводились в разные годы (Сигарева, Тимофеева, 2001 *а, б*; Сигарева и др., 2004).

Цель работы – выявить особенности пространственного распределения седиментированных растительных пигментов в связи с типологическими свойствами донных отложений, включая гранулометрический состав, в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах, различающихся возрастом, географическим расположением и водным режимом.

Горьковское водохранилище создано в 1955, Чебоксарское – в 1981 г. Первое находится в южной тайге, второе – в зоне смешанных лесов. Оба относятся к Средней Волге, иногда Горьковское считается верхневолжским. Морфометрические характеристики: длина – 434 и 341 км, площадь – 1591 и 1270 км², средняя глубина – 5.5 и 4.7 м соответственно. Водные массы Горьковского водохранилища формируются за счет волжской воды, поступающей из Рыбинского, в Чебоксарском существенна роль окских вод (Литвинов, Законнова, 1994). Коэффициент водообмена Горьковского водохранилища (6.1 год⁻¹) меньше, чем Чебоксарского (19.8 год⁻¹) (Литвинов, 2000).

Средняя толщина накопленных осадков в Чебоксарском водохранилище (4.5 см) существенно меньше, чем в Горьковском (12.4 см) (Законнов, Законнова, 2008). Основные типы донных отложений в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах распределены следующим образом: трансформированные грунты – 20 и 18%, пески и илистые пески – 46 и 52%, песчанистые и глинистые илы – 34 и 30% общей площади соответственно. По содержанию хлорофилла фитопланктона Горьковское и Чебоксарское водохранилища относятся к эвтрофным водоемам (Минеева и др., 2008).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал собран в экспедиции с 31 июля по 14 августа 2001 г. на 33-х станциях Горьковского и 28-ми станциях Чебоксарского водохранилищ. Координаты станций приведены в работе Н.М. Минеевой с соавторами (2008). Сетка станций (глубины от 2 до 21 м) охватывала верхнюю, среднюю и нижнюю части водоемов. Пробы отбирались дночерпателем ДАК-250 из верхнего 5-сантиметрового слоя донных отложений. Хлорофилл *a* в сумме с продуктами разрушения – феопигментами (Хл+Ф), каротиноиды, водно-физические свойства донных осадков (объемная масса воздушно-сухая, естественная влажность) и содержание органического вещества (ОВ) определяли как в предыдущих работах (Буторин и др., 1975; Сигарева и др., 2000; Сигарева, Тимофеева, 2001). Гранулометрический состав (в процентном отношении) оценен с использованием электромагнитной просеивающей машины «Analysette 3» Alfred Fritsch (Германия). Методом мокрого отсева выделяли фракции песка, алеврита и пелита с диаметром частиц > 0.1, 0.1 – 0.01 и < 0.01 мм. Содержание растительных пигментов в отдельных размерных фракциях определено в 17-ти образцах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первые сведения о содержании растительных пигментов в донных отложениях Горьковского и Чебоксарского водохранилищ позволили выявить, что основной показатель распределения пигментов по площади дна – разнообразие типов вто-

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

ричных осадков (Сигарева, Тимофеева, 2001 б; Сигарева и др., 2004). Результаты настоящего исследования, включающего гранулометрический анализ, углубляют представления об этой закономерности. Связь пигментов с типом грунта была прослежена по продольному профилю и поперечным разрезам водохранилищ (табл. 1 – 3).

Таблица 1
Содержание растительных пигментов в донных отложениях Горьковского водохранилища

Станции	Глубина, м			Тип грунта			Хл+Ф, мкг/г сухого грунта		
	п	р	л	п	р	л	п	р	л
Верхний участок									
Нижний бьеф Рыбинской ГЭС	4.5	6.0	3.5	I	I	I	0.9	0.2	1.2
Выше г. Ярославля	7.5	5.0	5.0	I	I	I	3.1	0.2	0.3
Ниже г. Ярославля	9.0	6.0	9.0	III	I	III	15.2	0.2	18.8
Ниже п. Красный Профинтерн	5.0	9.5	8.0	III	I	I	25.9	0.3	1.8
Средний участок									
Выше г. Костромы	4.0	10.0	7.5	III	I	III	43.6	0.4	49.8
Ниже г. Костромы	8.0	9.0	6.0	IV	II	II	76.6	11.5	10.9
г. Плес	7.0	15.0	15.0	III	III	IV	72.6	37.0	74.3
Выше г. Кинешма	11.5	12.5	4.0	III	IV	IV	33.5	77.5	93.6
Ниже г. Кинешма	9.5	13.0	6.0	III	II	IV	24.1	15.0	80.0
Нижний участок									
Устье р. Унжи	–	–	–	–	III	–	–	14.2	–
г. Юрьево	13.0	–	5.5	IV	–	IV	124.3	–	86.3
Верхний бьеф Горьковской ГЭС	7.5	15.0	13.0	IV	IV	IV	96.6	152.5	207.1

Примечание. п – правый берег, р – русло, л – левый берег; I – песок, II – илистый песок, III – песчанистый ил, IV – глинистый ил.

Таблица 2
Физико-химические характеристики донных отложений и содержание растительных пигментов по продольному профилю Горьковского и Чебоксарского водохранилищ

Показатель		Горьковское			Чебоксарское		
		А	Б	В	А	Б	В
Глубина, м		6.5±0.6	9.2±1.0	10.8±2.0	4.3±0.7	6.6±0.9	10.8±1.9
Влажность, %		24.0±3.5	51.0±4.6	71.5±7.6	19.0±1.6	26.4±6.7	46.9±7.0
Объемная масса воздушно-сухая, г/см ³		1.49±0.12	0.76±0.11	0.37±0.14	1.66±0.06	1.42±0.18	0.92±0.17
ОВ, %		1.4±0.4	7.4±1.4	14.9±3.0	0.5±0.1	2.8±1.8	6.0±1.5
Фракции, %	> 0.1 мм	91.2±4.4	57.6±8.5	31.3±9.7	98.0±1.6	87.6±9.3	56.5±12.1
	0.1 – 0.01 мм	7.8±3.9	34.7±6.9	61.5±11.4	2.0±1.6	8.5±7.2	36.3±10.3
	< 0.01 мм	1.0±0.6	7.8±2.2	13.9±4.6	0.0±0.0	3.9±2.8	7.2±2.4
Хл + Ф	мкг/г сухого грунта	5.7±2.7	46.7±8.2	113.5±29.2	0.8±0.4	101.8±71.2	56.0±20.3
	мг/г ОВ	0.23±0.07	0.73±0.14	0.71±0.08	0.12±0.06	1.07±0.62	1.05±0.20
	SPDU/г ОВ	1.36±0.42	4.27±0.82	4.20±0.49	0.72±0.35	6.91±4.14	5.92±1.12
	мг/(м ² мм сырого слоя)	5.6±2.4	24.9±2.9	28.1±4.7	1.2±0.6	56.2±38.9	28.4±7.4
Феопигменты, %		93.6±2.2	88.0±1.6	85.5±1.2	92.8±3.0	82.7±5.6	92.0±1.5
E ₄₈₀ / E ₆₆₅		2.20±0.19	3.13±0.23	2.47±0.15	1.82±0.19	1.46±0.15	2.39±0.16
E ₄₈₀ / (1.7E ₆₆₅)		1.33±0.13	2.00±0.15	1.59±0.07	1.14±0.15	0.91±0.06	1.49±0.11

Таблица 3

Физико-химические характеристики грунтов и содержание растительных пигментов на поперечных разрезах Горьковского (Г) и Чебоксарского (Ч) водохранилищ

Показатели		1 (Г)	2 (Г)	3 (Г)	1 (Ч)	2 (Ч)	3 (Ч)
Хл + Ф	мкг/г сухого грунта	0.9–124.3 47±12 (86)	0.2–152.5 29.5±15.7 (169)	0.1–477.2 92.1±57.6 (177)	0.1–124.9 14.4±13.0 (272)	0.6–436.1 69.0±49.7 (204)	0.3–207.1 56.7±18.7 (109)
	мг/г ОВ	0.10–0.99 0.6±0.1 (42)	0.03–2.30 0.48±0.22 (144)	0.03–3.36 0.88±0.40 (128)	0.02–2.53 0.57±0.27 (142)	0.26–4.79 1.05±0.51 (137)	0.08–1.42 0.58±0.12 (66)
	SPDU/г ОВ	0.5–6.2 3.5±0.5 (44)	0.2–13.2 2.7±1.3 (145)	0.2–20.1 5.1±2.4 (131)	0.1–13.6 3.2±1.5 (139)	1.5–33.3 6.7±3.6 (152)	0.5–8.5 3.4±0.7 (68)
	мг/(м ² ·мм сы- рого слоя)	1.7–37.3 21.9±3.7 (56)	0.3–31.0 11.6±4.1 (111)	0.1–238.6 44.9±27.8 (175)	0.2–50.0 8.1±5.2 (193)	0.9–261.7 41.1±30.0 (204)	0.5–41.4 21.6±4.6 (70)
Влажность, %		13.6–81.8 50.6±6.4 (42)	14.3–80 35.7±7.4 (66)	14.3–81.8 48.2±7.5 (52)	9.5–71.4 39.1±9.0 (65)	14.3–69.2 23.6±5.4 (69)	15.0–72.7 38.4±7.8 (57)
Объемная масса воздушно- сухая, г/см ³		0.2–1.9 0.8±0.2 (67)	0.2–1.8 1.2±0.2 (50)	0.2–1.8 0.9±0.2 (69)	0.4–1.9 1.1±0.2 (60)	0.4–1.8 1.5±0.1 (27)	0.3–1.7 1.1±0.2 (49)
ОВ, %		0.7–15.7 7.2±1.6 (75)	0.3–22.3 5.0±2.3 (149)	0.4–20.5 7.8±2.2 (92)	0.2–14.2 5.5±2.1 (107)	0.1–9.4 1.3±1.0 (222)	0.2–12.5 4.2±1.8 (120)
Фракции, %	> 0.1 мм	13.6–99.8 59.1±9.2 (51)	4.4–100.0 79.0±10.9 (44)	4.1–100.0 60.8±15.6 (73)	40.5–100.0 93.5±6.2 (20)	14.2–99.8 74.6±11.5 (44)	11.4–99.8 57.8±10.4 (60)
	0.1–0.01 мм	0.2–71.2 34.6±7.1 (68)	0.0–68.8 14.5±7.7 (167)	0.0–88.8 32.6±13.3 (115)	0.0–47.9 5.3±5.0 (282)	0.2–78.0 19.9±9.7 (138)	0.2–96.4 39.5±10.5 (88)
	< 0.01 мм	0.0–28.8 6.4±2.7 (139)	0.0–26.8 6.5±3.2 (158)	0.0–21.8 6.6±3.0 (127)	0.0–11.6 1.2±1.2 (299)	0.0–20.3 5.5±2.9 (152)	0.0–21.4 6.3±2.2 (115)

Примечание. В числителе – пределы, в знаменателе – среднее с ошибкой, в скобках – коэффициент вариации. 1 – правобережная пойма, 2 – бывшее русло, 3 – левобережная пойма.

Характеристика грунтов. В верховьях преобладают песчаные отложения, при переходе речных участков в долинные – песчано-илистые, в озеровидных и приплотинных – илисто-глинистые (см. табл. 1). От верхних участков водохранилищ к нижним относительное содержание алеврито-пелитовых частиц увеличивалось, а песчаных – уменьшалось (см. табл. 2). Содержание крупнодисперсной фракции на бывшем русле более высокое по сравнению с затопленной поймой. Гранулометрический состав изменялся синхронно с физико-химическими свойствами отложений: при уменьшении доли песчаной фракции уменьшалась воздушно-сухая объемная масса и увеличивались естественная влажность и концентрация ОВ. Особенность донных отложений Чебоксарского водохранилища по сравнению с Горьковским – сравнительно высокий вклад крупнодисперсных частиц при более низком содержании ОВ.

Среднее содержание пигментов (Хл+Ф) четко увеличивалось в ряду: песок → илистый песок → серый песчанистый ил → серый глинистый ил при величинах в Горьковском водохранилище более низких (0.9, 12.5, 33.5, 106.9 мкг/г сухого осадка (с.о.)), чем в Чебоксарском (1.0, 15.0, 436.1, 152.5 мкг/г с.о.).

Распределение пигментов по продольному профилю и поперечным разрезам. Неоднородность горизонтального распределения осадочных пигментов согласуется с особенностями распределения хлорофилла в планктоне (Минеева и др., 2008), но выражена более четко. Концентрация пигментов на русле чаще всего ниже, чем на затопленной пойме, и обычно соответствует типу ДО (см. табл. 1 – 3). Только в отдельных случаях пониженные концентрации пигментов на русле не были связаны со сменой типа ДО. По длине Горьковского водохранилища концентрация пигментов увеличивалась от верховьев к плотине повсеместно (см. табл. 2). В Чебоксарском водохранилище такая же тенденция прослеживалась только для русловых станций. Содержание Хл+Ф в целом для пойменных и русловых станций было максимальным на среднем участке, поскольку именно этот район водохранилища наиболее подвержен антропогенной нагрузке и более продуктивен по фитопланктону. Кроме того, причинами отмеченных различий могли быть особенности морфометрии и водного режима, показателем чего является неоднозначная связь содержания растительных пигментов с глубиной.

Глубина – фактор накопления и формирования определенных типов отложений, поскольку от нее зависит количество взвешенного вещества во всей толще воды. В водоемах (озерах) с симметричной котловиной коэффициент корреляции между пигментами и глубиной, как правило, высокий (до 0.8 – 0.9), в водохранилищах – ниже (Сигарева и др., 2000; Сигарева, Тимофеева, 2001 *а, б*). По результатам настоящей работы коэффициент корреляции между концентрацией пигментов и глубиной в Горьковском – 0.42 ($n = 33$, $P < 0.05$), в Чебоксарском – не достоверен (0.08, $n = 28$). Более сильная неоднородность распределения осадочных пигментов в Чебоксарском водохранилище подтверждается повышенным коэффициентом вариации (218% против 115% в Горьковском).

Удельное содержание пигментов. Данный показатель отражает генезис и степень разрушения ОВ (Swain, 1985; Leavitt, 1993). В Горьковском водохранилище его значения (0.55 ± 0.08 мг/г ОВ) ниже, чем в Чебоксарском (0.83 ± 0.22 мг/г ОВ). Прослеживается тенденция к увеличению удельной концентрации от песков к илам. В Горьковском водохранилище коэффициент корреляции между удельным содержанием пигментов (в ОВ) и концентрацией ОВ ($r = 0.28$, $n = 33$, не достоверен) меньше, чем в Чебоксарском ($r = 0.50$, $n = 28$, $P < 0.01$), что может указывать на более высокую скорость новообразования растительного органического вещества в последнем водоеме.

Степень деградации пигментов. Хлорофилл в отложениях находится преимущественно в разрушенной форме. Продукты его деградации – феопигменты, составляют в среднем 89 – 90% от их суммы с хлорофиллом. Величины показателей соотношения желтых и зеленых пигментов – индексов E_{480}/E_{665} и $E_{480}/(1.7E_{665})$ были, как обычно, выше таковых для фитопланктона, но по водохранилищам различались: в Горьковском водохранилище вклад желтых пигментов в ДО несколько выше (2.7 и 1.7), чем в Чебоксарском (2.0 и 1.2) (см. табл. 2, 3).

Статистическая связь пигментов с ОВ. Содержание Хл+Ф в расчете на сухой грунт изменяется параллельно содержанию ОВ. Коэффициенты корреляции между этими показателями 0.95 ($n = 33$, $P < 0.01$) в Горьковском и 0.70 ($n = 28$, $P < 0.01$) в Чебоксарском водохранилищах. Ослабление связи в Чебоксарском обусловлено наличием высоких концентраций пигментов при сравнительно низком содержании ОВ. Самые высокие концентрации Хл+Ф отмечены на станциях затопленной поймы ниже г. Кстово в сером глинистом иле (477.2 мкг/г с.о.) и г. Держинска в сером песчанистом иле (436.1 мкг/г с.о.). В расчете на органическое вещество удельные концентрации пигментов составили 3.4 и 4.8 мг/г ОВ или в условных единицах 20.1 и 33.3 SPDU/г ОВ соответственно. Высокие концентрации пигментов на указанных станциях Чебоксарского водохранилища, вероятно, отражают повышенную первичную продукцию, о чем свидетельствуют концентрации хлорофилла в планктоне (Минеева и др., 2008). Поскольку эти величины не характерны для исследуемого ряда данных, их не учитывали при расчете уравнений регрессии между пигментами и типологическими показателями ДО (рис. 1).

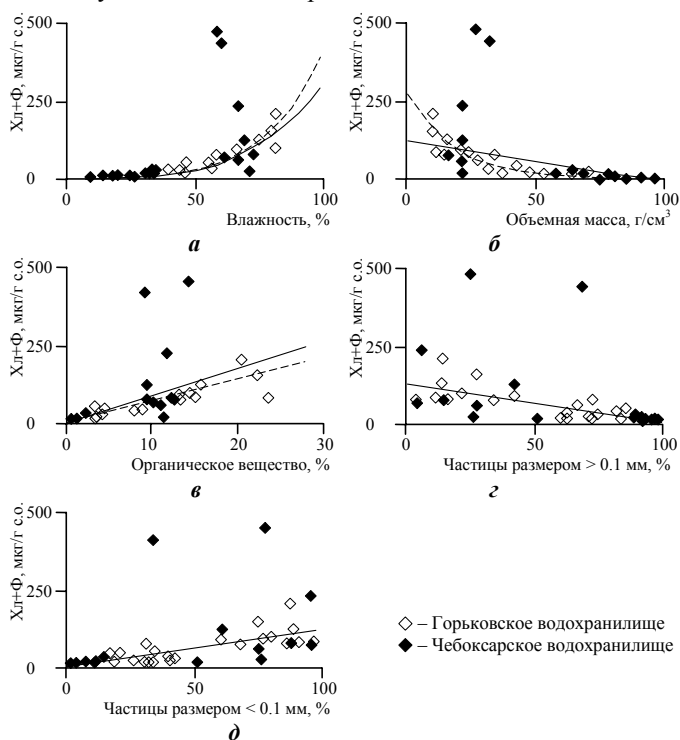


Рис. 1. Зависимость между концентрацией пигментов и типологическими свойствами донных отложений в Горьковском (1) и Чебоксарском (2) водохранилищах. Уравнения регрессии: $y = \exp(1.30+0.05x)$, $r^2 = 0.96$ (а, 1), $y = \exp(1.17+0.05x)$, $r^2 = 0.87$ (а, 2), $y = \exp(5.62-2.79x)$, $r^2 = 0.86$ (б, 1), $y = 122.88-73.30x$, $r^2 = 0.57$ (б, 2), $y = 11.59x-11.62$, $r^2 = 0.84$ (в, 1), $y = 7.38-4.77x$, $r^2 = 0.91$ (в, 2), $y = 128.69-1.30x$, $r^2 = 0.72$ (г, 1), $y = 117.59-1.18x$, $r^2 = 0.60$ (г, 2), $y = 1.30x-1.68$, $r^2 = 0.72$ (д, 1), $y = 1.18x-0.04$, $r^2 = 0.60$ (д, 2). Коэффициенты r достоверны при $P < 0.05$; при расчете уравнений регрессии для Чебоксарского водохранилища не учитывались точки с концентрациями 477 и 436 мкг/г с.о.

в условных единицах 20.1 и 33.3 SPDU/г ОВ соответственно. Высокие концентрации пигментов на указанных станциях Чебоксарского водохранилища, вероятно, отражают повышенную первичную продукцию, о чем свидетельствуют концентрации хлорофилла в планктоне (Минеева и др., 2008). Поскольку эти величины не характерны для исследуемого ряда данных, их не учитывали при расчете уравнений регрессии между пигментами и типологическими показателями ДО (рис. 1).

Коэффициенты уравнений регрессии для Горьковского и Чебоксарского водохранилищ различаются незначительно (см. рис. 1, в). Аналогичный характер связи концентрации пигментов с ОВ установлен на других волж-

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

ских водохранилищах и озерах, что отражает наличие универсальной зависимости между биотическими и абиотическими процессами формирования ДО и трофического статуса водоема (Сигарева и др., 2000; Сигарева, Тимофеева, 2001 а, б, 2004).

Связь пигментов с гранулометрическим составом отложений. Сведения о количественном анализе связи пигментов с показателями гранулометрического состава ДО в литературе немногочисленны, а для волжских водохранилищ они отсутствуют. Сообщается о взаимосвязанных изменениях содержания хлорофилла и процентной доли мелкозернистой фракции (≤ 0.01 мкм) в донных осадках Балтийского моря (Kowalewska, 1994). Наши данные показывают, что содержание Хл+Ф связано положительной зависимостью с суммарной долей алевроитовой и пелитовой фракций и отрицательной – с долей частиц песка (см. рис. 1, з, д). Связь концентрации пигментов с размерами частиц наиболее сильно выражена в Чебоксарском водохранилище: коэффициенты корреляции концентрации Хл+Ф с процентным содержанием отдельных фракций (< 0.01 , $0.1 - 0.01$ и > 0.1 мм) были достоверными ($P < 0.05$, $n = 9$) и составили: на русле 0.91, 0.85, -0.87, в правобережной пойме 0.84, 0.77, -0.84, левобережной пойме 0.47, 0.80, -0.85. Линейные уравнения регрессии между содержанием Хл+Ф и показателями гранулометрического состава ДО сходны для обоих водохранилищ (см. рис. 1). Аналогичный характер связи был отмечен между содержанием ОВ и размерным составом ДО (Законнов, 1993).

Основные источники растительных пигментов в отложениях – планктонные и бентосные водоросли, судя по размерам их клеток в волжских водохранилищах, могут встречаться во всех фракциях, но преимущественно в тонкодисперсных (< 0.1 мм). Положительная зависимость между концентрацией пигментов и процентной долей тонкодисперсных частиц (< 0.1 мм) отражает увеличение содержания Хл+Ф в ряду: песчаная → алевроитовая → пелитовая фракции. Такая закономерность прослеживается для песка, илистого песка и песчанистого ила (табл. 4).

Таблица 4

Содержание растительных пигментов
в отдельных фракциях разнотипных донных отложений

Тип отложений	Хл+Ф, мкг/г сухой массы фракции с размером частиц		
	> 0.1 мм	$0.1 - 0.01$ мм	< 0.01 мм
Песок	0.4 ± 0.1	29.2 ± 30.1	165.2 ± 100.2
Илистый песок	0.4 ± 0.2	80.2 ± 14.9	93.1 ± 16.5
Серый песчанистый ил	12.3 ± 8.3	33.7 ± 14.7	106.1 ± 24.4
Серый глинистый ил	95.7 ± 15.8	62.8 ± 10.8	102.5 ± 18.8
Все пробы	43.1 ± 13.0	54.6 ± 7.7	109.3 ± 12.6

В то же время в сером глинистом иле содержание пигментов мало зависело от размеров частиц (см. табл. 4), что согласуется с распределением по гранулометрическим фракциям этого типа отложений других компонентов: органического углерода, общего азота, общего фосфора (Законнов, 1993), ОВ и численности бактерий (Романенко, Законнов, 1990).

Соотношение между содержанием пигментов во фракциях ДО разного типа было оценено с использованием данных по гранулометрическому составу и среднему содержанию Хл+Ф в единице массы фракций соответствующих грунтов (см. табл. 4). Согласно расчету, в песчаных грунтах пигменты сосредоточены в основном в крупнодисперсной фракции ДО, в илистых песках и серых глинистых илах – в алевритовой, серых песчанистых илах – в алевритовой и пелитовой фракциях (рис. 2).

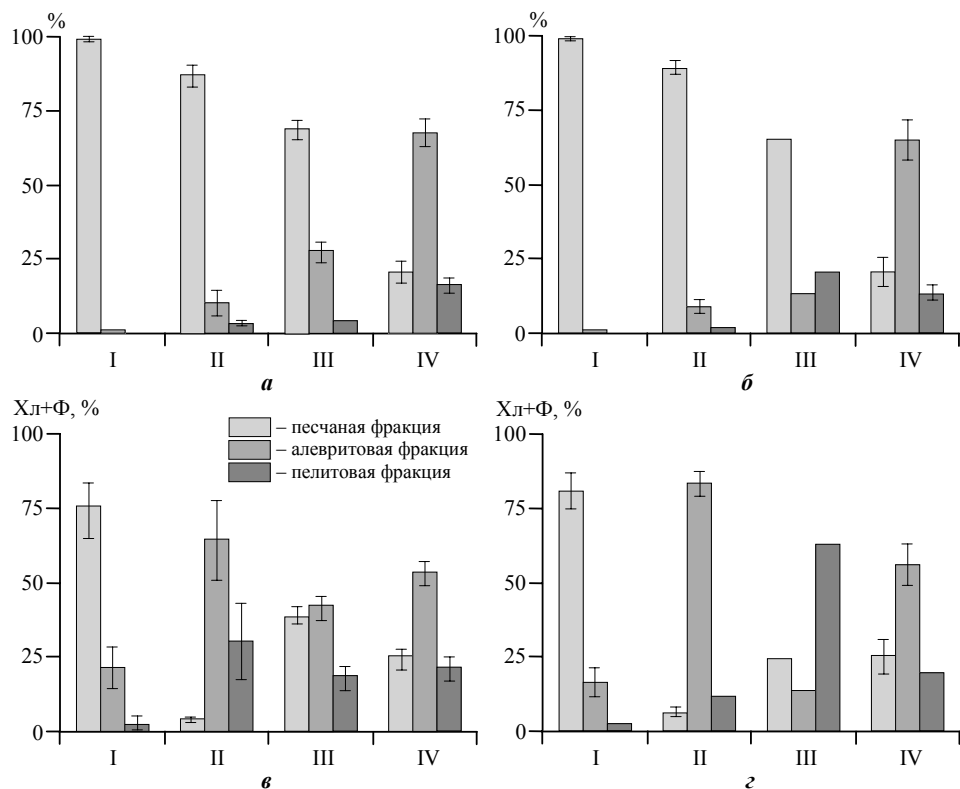


Рис. 2. Содержание гранулометрических фракций (а, б) и растительных пигментов (в, г) в разнотипных отложениях Горьковского (а, в) и Чебоксарского (б, г) водохранилищ. По оси ординат – процентное содержание размерных фракций (% сухой массы грунта) и относительного содержания пигментов (Хл+Ф, % общего содержания) в них. Усл. обозначения по оси абсцисс (I, II, III, IV) см. табл. 1

Соотношение пигментов с водно-физическими свойствами отложений. Связь в основном нелинейная и несколько слабее, чем с ОВ. Достаточно тесное соотношение пигментов с объемной массой и влажностью грунтов, как и с гранулометрическим составом, сохраняется опосредованно через связь ОВ с этими же пара-

метрами. Известно, что по мере увеличения вклада тонкодисперсных частиц и ОВ уменьшается объемная масса и увеличивается влажность ДО (Буторин и др., 1975; Законнов, 1993). Линии тренда, характеризующие связь Хл+Ф с влажностью, достаточно сходны для Горьковского и Чебоксарского водохранилищ (см. рис. 1, а, б).

Пространственное распределение растительных пигментов в отложениях Горьковского и Чебоксарского водохранилищ, несмотря на высокую изменчивость концентраций, в общих чертах повторяет характер распределения хлорофилла в планктоне, детальный анализ которого представлен в работе Н.М. Минеевой с соавторами (2008). Исключительная мозаичность ДО обуславливает более сильную изменчивость концентраций пигментов по сравнению с таковой в водной толще: коэффициенты вариации содержания хлорофилла в планктоне Горьковского и Чебоксарского водохранилищ – 36 и 100%, в отложениях – 115 и 218% соответственно. На наш взгляд, главные факторы продуктивности в обоих водохранилищах – абиотические, а изменчивость концентраций пигментов (в планктоне и отложениях) обусловлена различиями гидродинамического режима: более интенсивный водообмен способствует более быстрому изменению абиотических условий, которые влияют на развитие альгоценозов. Тесная связь между концентрацией растительных пигментов и абиотическими факторами отражает, прежде всего, прямую зависимость продуктивности фитопланктона от влияния условий среды обитания.

Исследования макрозообентоса, проведенные на Горьковском и Чебоксарском водохранилищах, показали, что его обилие коррелирует с теми же характеристиками, с которыми тесно связано распределение осадочных пигментов: физико-химическими свойствами грунтов, скоростью течения, показателями морфометрии (Литвинов и др., 2004). Положительная связь концентрации пигментов с биомассой зообентоса была установлена на озере Плещеево (Сигарева и др., 2000). Эти результаты дают основание считать растительные пигменты в отложениях индикаторами продуктивности донных биотопов.

Полученные результаты позволяют более уверенно использовать сведения о горизонтальном распределении осадочных растительных пигментов в экологическом мониторинге водоемов. При оценке трофии и продукционных особенностей водохранилищ в пространственно-временном аспекте необходимо исследование связи между концентрациями растительных пигментов и типологическими характеристиками ДО по широкой сетке станций, отражающей продольную и поперечную структуру биотопов.

ВЫВОДЫ

Горьковское и Чебоксарское водохранилища различаются по состоянию фонда растительных пигментов в донных отложениях, несмотря на принадлежность единой экосистеме волжского каскада и последовательное расположение относительно друг друга. Главные факторы различий пространственного распределения пигментов в отложениях водохранилищ – абиотические и, прежде всего, более интенсивный водообмен в Чебоксарском по сравнению с Горьковским.

Концентрация осадочных пигментов зависит от первичной продукции фитопланктона, типа грунта и содержания в нем органического вещества. В Чебоксар-

ском водохранилище количественная связь между содержанием осадочных пигментов и типологическими показателями грунтов – гранулометрическим составом, естественной влажностью, объемной массой и содержанием органического вещества – выражена менее четко, чем в Горьковском.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08–04–00384).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1975. 159 с.

Законнов В.В. Аккумуляция биогенных элементов в донных отложениях водохранилищ Волги // Органическое вещество донных отложений волжских водохранилищ. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 3–16.

Законнов В.В., Законнова А.В. Географическая зональность осадкообразования в системе водохранилищ Волги // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 105 – 111.

Литвинов А.С. Энерго- и массообмен в водохранилищах Волжского каскада. Ярославль: Изд-во Ярослав. гос. техн. ун-та, 2000. 83 с.

Литвинов А.С., Баканов А.И., Законнов В.В., Кочеткова М.Ю. О связи показателей донных сообществ с некоторыми характеристиками среды обитания // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 5. С. 611 – 618.

Литвинов А.С., Законнова В.В. Характеристика гидрологических условий в Чебоксарском водохранилище в первые годы заполнения // Водные ресурсы. 1994. Т. 21, № 3. С. 365 – 374.

Минеева Н.М., Литвинов А.С., Степанова И.Э., Кочеткова М.Ю. Содержание хлорофилла и факторы его пространственного распределения в водохранилищах Средней Волги // Биол. внутр. вод. 2008. № 1. С. 68 – 77.

Романенко В.И., Законнов В.В. Общее количество бактерий в донных отложениях Рыбинского водохранилища на частицах разного размера // Биол. внутр. вод: Информ. бюл. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. № 87. С. 9 – 13.

Сигарева Л.Е., Законнов В.В., Шарпова Н.А. Оценка экологического состояния оз. Плещеево по пигментным характеристикам донных отложений // Проблемы региональной экологии. 2000. № 6. С. 100 – 113.

Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. Растительные пигменты в донных отложениях как показатели трофического состояния водохранилищ Верхней Волги // Проблемы региональной экологии. 2001 а. № 2. С. 23 – 35.

Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. Изучение связи содержания растительных пигментов в донных отложениях с показателями трофического состояния Горьковского водохранилища // Водные ресурсы. 2001 б. Т. 28, № 6. С. 742 – 751.

Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А., Законнов В.В. Особенности распределения растительных пигментов в донных отложениях Чебоксарского водохранилища // Гидробиол. журн. 2004. Т. 40, № 5. С. 27 – 35.

Kowalewska G. Occurrence of chlorins in recent sediments of the southern Baltic Sea // Pol. Arch. Hydrobiol. 1994. Vol. 41, № 2. P. 237 – 249.

Leavitt P.R. A review of factors that regulate carotenoid and chlorophyll deposition and fossil pigment abundance // J. Paleolimnol. 1993. Vol. 9. P. 109 – 127.

Swain E.B. Measurement and interpretation of sedimentary pigments // Freshwater Biol. 1985. Vol. 15. P. 53 – 75.