

УДК 556.555.6:581.132

Л. Е. Сигарева<sup>1</sup>, В. В. Законнов<sup>1</sup>, П. Гершевский<sup>2</sup>

**СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ В ДОННЫХ  
ОТЛОЖЕНИЯХ ЕВТРОФНОГО ВЛОЦЛАВСКОГО  
ВОДОХРАНИЛИЩА<sup>1</sup>**

Приведены данные о содержании растительных пигментов в донных отложениях евтрофного Влоцлавского водохранилища на р. Висле (Польша). Обсуждается зависимость концентрации пигментов от показателей трофического состояния водохранилища: типологических свойств грунтов и продуктивности фитопланктона.

*Ключевые слова:* растительные пигменты, донные отложения, тип грунта, евтрофное водохранилище.

Растительные пигменты являются предметом исследования многих научных дисциплин на различных уровнях организации жизни — от молекулярного до биосферного. В гидробиологии характеристики растительных пигментов используются как показатели первичной продукции, качества воды, трансформации водных масс, трофности водоемов и др. Сведения о пигментах необходимы для понимания механизма продукционных процессов в водоемах. При изучении сукцессий разнотипных водных экосистем несомненный интерес представляют евтрофные водоемы, теоретически находящиеся на терминальном этапе развития.

Большинство работ, связанных с определением растительных пигментов, выполнено на фитопланктоне — весьма изменчивом во времени сообществе, что не позволяет с достаточной уверенностью оценивать продукционные свойства экосистемы в целом, особенно по материалам эпизодических наблюдений. В то же время более консервативный компонент экосистемы — донные отложения сравнительно редко используются в мониторинге, поскольку закономерности и механизмы связей между трофическими показателями и характеристиками донных отложений изучены недостаточно. Настоящая работа продолжает исследование информационного зна-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена по Межакадемическому проекту РАН и ПАН «Седиментационные процессы в Углицком и Влоцлавском водохранилищах» и поддержана грантом РФФИ (проект № 08-04-00384).

© Сигарева Л. Е., Законнов В. В., Гершевский П., 2011

чения содержания растительных пигментов в донных отложениях разнотипных водоемов по единой методике, доступной для практического применения [11—15].

Цель работы — оценить уровень содержания и горизонтальное распределение растительных пигментов в донных отложениях высокопродуктивного водохранилища (на примере Влоцлавского).

**Материал и методика исследований.** Влоцлавское водохранилище, созданное в 1970 г., самое большое в Польше, находится в равнинной части долины р. Вислы [16, 18]. Площадь водохранилища — 70,4 км<sup>2</sup>, объем — 0,408 км<sup>3</sup>, длина — 57 км, средняя глубина — 5,5 м (максимальная — около 13 м), средняя ширина — 1,2 км. Водоохранилище долинного типа, сильно проточное (коэффициент водообмена — 19—24 раза в год), обеспечивающее неполное сезонное регулирование речного стока. Средний многолетний расход р. Вислы в створе гидроузла г. Влоцлавека составляет 903 м<sup>3</sup>/с (максимум — 1500 м<sup>3</sup>/с). Колебания уровня воды нерегулярные и небольшие, их годовая амплитуда в верхнем бьефе гидроузла не превышает 1 м, а суточная — 15 см. Стоковые течения замедляются от 1 м/с (в зоне переменного подпора) до 0,1—0,4 м/с (у плотины). Для водохранилища характерны высокая скорость осадконакопления, достигающая в профундали у плотины 3—4 см/год. Площадь дна занята глинистыми (49,4%) и песчанистыми илами (18,9%), илистыми песками (11,3%) и песками (11,1%), на остальной территории ложа встречаются трансформированные грунты (разбухшие, обнаженные, размытые вплоть до иллювиального горизонта почвы) [16]. По показателям продуктивности фитопланктона (средняя за четыре года наблюдений концентрация хлорофилла на станциях составляла 18,9—107,9 мкг/дм<sup>3</sup>, средняя биомасса водорослей — 16,8 мг/дм<sup>3</sup>) водохранилище относится к водоемам евтрофного типа с периодическим «цветением» воды синезелеными водорослями [16]. Первичная продукция фитопланктона Влоцлавского водохранилища, оцененная нами по уравнениям В. В. Бульона [2, 3] исходя из средней концентрации хлорофилла *a* и прозрачности воды [16], составляет 126 г С/(м<sup>2</sup>·год).

Материал собран в сентябре 2008 г. на трех типичных разрезах. Первый разрез (ст. 1, 2, 3) располагался в верхнем участке на расстоянии 7 км ниже г. Плоцка, второй (ст. 4, 5, 6) — в среднем участке, в 14 км от плотины, третий (ст. 7, 8, 9) — в нижнем, в 6 км от плотины. Литоральные станции (10 и 11) были расположены в районе д. Довбегнево. Пробы донных отложений отбирали грунтовой трубкой длиной 60 см. Из керна вырезали слои толщиной 5 см, измеряя обычной линейкой до маркирующего первичного грунта (дерновина, русловой песок). Общепринятыми методами определяли глубину, прозрачность, электропроводность и температуру воды, а в лаборатории — естественную влажность донного осадка, воздушно-сухую объемную массу, содержание органического вещества, тип грунта и растительные пигменты [1, 4, 12].

Пигменты извлекали ацетоном из влажного грунта. Взвесь в экстракте осаждали на центрифуге HERMLE Z323K при 8 тыс. об/мин в течение 15 мин при температуре 16°C. Оптическую плотность экстрактов измеряли (до

и после подкисления) на спектрофотометре Lambda 25 UV/VIS фирмы Perkin Elmer. Концентрацию «чистого» хлорофилла *a* (хл.) и продуктов его распада — феопигментов (Ф) рассчитывали по формулам для фитопланктона [20]. О соотношении желтых и зеленых пигментов судили по отношению оптической плотности на длинах волн 480 и 665 нм (индекс  $E_{480}/E_{665}$ ). При всех расчетах учитывали поправку на неспецифическое поглощение, измеренное на 750 нм.

### ***Результаты исследований и их обсуждение***

В таблице 1 представлены некоторые характеристики станций, а также прозрачность, средние для столба воды электропроводность и температура.

Электропроводность (средняя 633, пределы 578—679 мкСм/см) и температура (средняя 12,3, пределы 11,5—12,6°C) варьировали незначительно. Прозрачность воды (средняя  $106 \pm 8$  см) увеличивалась по направлению к плотине почти в 2 раза (от 80 до 150 см), а на станциях одного разреза изменялась незначительно. По классификации О. А. Алекина [1], вода р. Вислы относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу со средней минерализацией.

Показатели состояния донных отложений изменялись по всем трем осям водохранилища — продольной, поперечной и вертикальной, отражая особенности экологических условий, то есть экологическую зональность. Так, глубины на станциях разрезов (см. табл. 1), а также характеристики физических и химических свойств донных отложений (табл. 2) свидетельствуют о том, что для водохранилища свойственны асимметричность ложа и неоднородность распределения разнотипных грунтов. По продольной оси в зоне переменного подпора преобладают крупнодисперсные наносы, в средней части водохранилища и у плотины — тонкодисперсные отложения. По поперечным разрезам водохранилища в литорали накапливаются пески, в профундали — илы. По толщине зерна характерна слоистость с различными типами грунтов.

Особенности распределения растительных пигментов в донных отложениях также обусловлены экологической зональностью водохранилища. Горизонтальное распределение пигментов неравномерное. Связь концентрации пигментов с показателем морфометрии — высотой водного столба характеризуется положительным, но невысоким коэффициентом корреляции ( $r = 0,52$ ,  $n = 20$ ,  $P \leq 0,05$ ), отражающим асимметрию ложа и мозаичность отложений. Для сравнения с волжскими водоемами: в озерах с симметричной формой котловины и циркулаторным распределением пигментов в отложениях коэффициент корреляции достигает высоких значений (0,8—0,9), тогда как в водохранилищах они могут быть даже отрицательными из-за интенсивного вымывания органических веществ из профундальных отложений [11—13].

Характер связи содержания пигментов в донных отложениях с глубиной в водоеме может зависеть и от световых условий (в частности, фотосинтетически активной радиации). Однако в литорали растительные пигменты

**1. Характеристики станций отбора проб донных отложений Влоцлавского водохранилища (сентябрь 2008 г.)**

Разрезы, станции	Расположение станции на разрезе	Глубина водного столба, м	Прозрачность воды, см	Электропроводность воды, мкСм/см	Температура воды, °С
I, 1	200 м от правого берега	4,6	80	646	11,6
I, 2	Середина	4,3	90	578	11,7
I, 3	200 м от левого берега	3,0	80	596	
II, 4	300 м от правого берега, русло р. Вислы	9,5	100	610	12,4
II, 5	Середина	4,6	100	590	12,6
II, 6	400 м от левого берега	4,1	100	650	12,3
III, 7	80 м от правого берега	6,2	120	670	12,2
III, 8	Середина	7,6	140	679	12,5
III, 9	200 м от левого берега, русло р. Вислы	9,9	150	648	12,4
IV, 10	Пляж, зона приобья, левый берег	0,0	×	650	13,7
IV, 11	5 м от левого берега	0,5	До дна	650	12,5

Примечание. × — невозможно измерить.

обычно не накапливаются, несмотря на благоприятные для фотосинтеза условия, а интенсивное стоковое вдольбереговое и ветровое перемещение водных масс способствуют вымыванию органического вещества из отложений. Концентрация пигментов здесь незначительная. По вкладу дериватов хлорофилла и относительной доли желтых пигментов состав пигментов поверхностных отложений близок к такому фитопланктона (см. табл. 2, [6]). В донных отложениях афотической зоны, то есть при глубинах, превышающих трехкратную прозрачность по диску Секки, концентрация пигментов выше, чем в отложениях фотической зоны. В свою очередь, на станциях с неосвещаемым дном содержание пигментов тоже сильно различается (43—852 мкг/г сухого осадка) из-за неодинаковых условий седиментации органико-минеральной взвеси. В благоприятных для аккумуляции взвесей местах возрастает концентрация органического вещества и, соответственно, растительных пигментов, а степень деградации хлорофилла и отношение концентрации желтых пигментов к зеленым увеличиваются. Связь показателей деградации фонда пигментов с глубиной характеризуется высоким

2. Содержание растительных пигментов и типологические характеристики донных отложений Влоцлавского водохранилища (сентябрь 2008 г.)

Разрезы, станции	Слои, см	Тип грунта	Объемная масса (сухая), г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	ОВ, %	Ф + хл., мкг/г сухой массы	Ф + хл., мг/(м <sup>2</sup> •мм)	Ф, % (Ф + хл.)	Е <sub>480</sub> /Е <sub>665</sub>
I, 1	0—5	Серый песчанистый ил	0,84	43,8	3,6	180,1	179,8	63,0	1,50
I, 2	0—5	Бурый наилок	0,20	81,2	12,2	753,8	146,9	56,1	1,28
I, 2	5—10	Серый песчанистый ил	0,68	52,2	4,4	113,5	91,9	55,9	1,70
I, 3	0—5	Бурый наилок	0,28	75,8	17,8	680,1	159,1	56,6	1,37
I, 3	20—25	Серый песчанистый ил	0,53	57,6	6,4	184,4	112,9	70,7	2,00
II, 4	0—5	Темный глинистый ил	0,28	74,8	10,8	386,7	107,2	78,7	2,12
III, 8	0—5	Черный глинистый ил	0,19	81,0	13,9	503,1	98,5	79,4	1,90
III, 8	20—25	Серый глинистый ил	0,32	71,1	9,4	254,9	82,0	91,8	2,54
III, 8	40—45	Черный глинистый ил	0,28	74,6	12,5	429,0	104,6	91,1	2,40
III, 9	0—5	— " —	0,17	83,7	15,1	852,4	134,4	74,7	1,74
III, 9	20—25	Серый глинистый ил	0,24	78,2	12,7	408,4	100,9	86,9	2,16
III, 9	40—45	Черный глинистый ил	0,32	72,2	11,1	321,9	95,6	90,2	2,35
IV, 10	0—5	Песок	1,51	22,0	0,3	1,9	3,1	48,4	0,76
IV, 11	0—5	— " —	1,61	16,7	0,2	2,1	3,3	13,1	0,86
II, 4	25—30	Серый глинистый ил с Арейссеной	0,40	67,3	9,8	216,6	90,2	85,1	2,42
II, 5	0—5	Темный глинистый ил	0,20	80,6	13,3	511,6	98,1	75,0	1,93
II, 5	30—35	Серый глинистый ил	0,40	66,6	9,4	200,7	77,4	87,0	2,56

Продолжение табл. 2

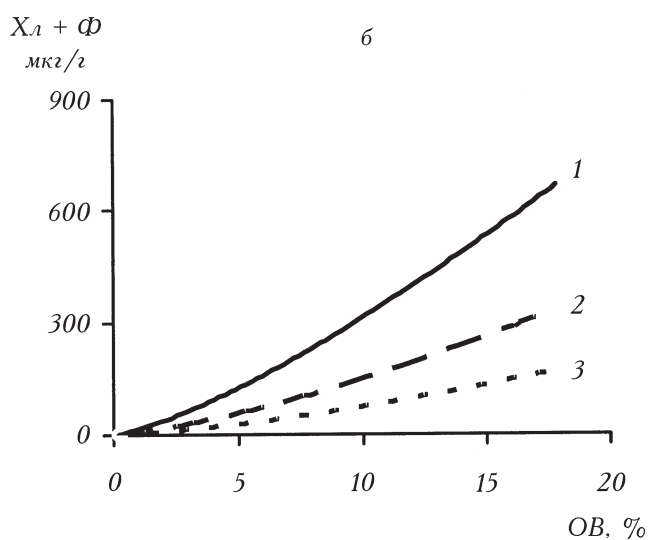
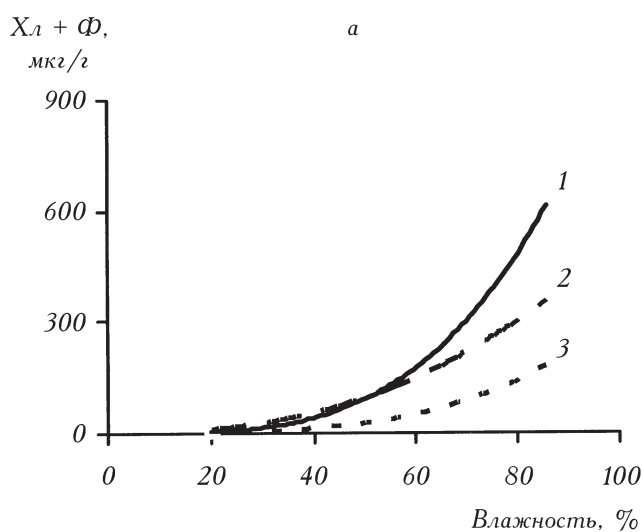
Разрезы, станции	Слои, см	Тип грунта	Объемная масса (сухая), г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	ОВ, %	Ф + хл., мкг/г сухой массы	Ф + хл., мг/(м <sup>2</sup> ·мм)	Ф, % (Ф хл.)	E <sub>480</sub> /E <sub>665</sub>
II, 6	0—5	Темный глинистый ил	0,22	77,8	12,7	318,7	62,0	78,3	2,26
II, 6	40—45	— " —	0,39	67,6	11,1	130,9	50,5	90,0	3,24
III, 7	0—5	Илистый песок	1,34	26,2	1,7	43,4	49,7	83,6	1,98

коэффициентом корреляции ( $r = 0,74$ ), достоверным при 5%-ном уровне значимости [8].

Вертикальное распределение пигментов по высоте зерна зависит от скорости накопления минеральных и органических составляющих отложений и распределения интенсивности продукционно-деструкционных процессов во времени. Среднее содержание хлорофилла *a* и феопигментов в верхнем слое (0—5 см) составляло  $385 \pm 92$ , в нижележащих слоях (в пределах слоя зерна 5—45 см) —  $251 \pm 38$  мкг/г сухого осадка. В глубоких слоях зерна возрастает степень деградации растительных пигментов и уменьшается их содержание в органическом веществе (см. табл. 2). Поскольку концентрация пигментов в донных отложениях разнотипных водоемов обычно соответствует содержанию органического вещества и биогенных элементов (азот, фосфор) [4, 6, 7, 15], можно считать, что более высокие концентрации пигментов в верхнем слое отложений Влоцлавского водохранилища, чем в нижних слоях, отражают процесс евтрофирования.

Изучение связи между концентрацией пигментов и типологическими свойствами донных отложений Влоцлавского водохранилища подтверждает вывод, полученный на других водоемах: распределение пигментов в донных отложениях согласуется с особенностями грунтового комплекса. Так, при группировке данных по типу грунтов содержание пигментов четко возрастает в следующем порядке: песок ( $2,0 \pm 0,1$  мкг/г сухого осадка), илистый песок ( $43,4 \pm 0,0$ ), серый песчаный ил ( $159,3 \pm 23,0$ ), серый глинистый ил ( $242,3 \pm 46,1$ ), темный глинистый ил ( $405,7 \pm 56,5$ ), черный глинистый ил ( $526,6 \pm 114,8$ ) и бурый наил (ок) ( $716,9 \pm 136,8$  мкг/г сухого осадка).

Количественные связи между суммарной концентрацией пигментов (Ф + хл.), влажностью и содержанием органического вещества в отложениях Влоцлавского водохранилища характеризуются степенными уравнениями с высокими коэффициентами детерминации (рисунок): при одинаковых влажности и содержании органического вещества донные отложения Влоцлавского водохранилища содержат гораздо больше хлорофилла *a* и феопигментов, чем, например, отложения водоемов верхневолжского водосборного бассейна



Зависимость между концентрацией растительных пигментов и влажностью (а) и содержанием органического вещества донных отложений (б) Влоцлавского водохранилища (1), оз. Пleshеево (2) и Угличского водохранилища (3). Уравнения связи — а: 1.  $y = 9E-05x^{3,53}$  ( $R^2 = 0,99$ ); 2.  $y = 0,0056x^{2,48}$  ( $R^2 = 0,99$ ); 3.  $y = 2E-05x^{3,62}$  ( $R^2 = 0,93$ ); б: 1.  $y = 15,272x^{1,31}$  ( $R^2 = 0,94$ ); 2.  $y = 5,851x^{1,40}$  ( $R^2 = 0,98$ ); 3.  $y = 2,555x^{1,45}$  ( $R^2 = 0,98$ ).

— евтрофного по первичной продукции фитопланктона оз. Пleshеево [12] и мезотрофного Угличского водохранилища [13]. Причиной различий является более высокая продуктивность фитопланктона Влоцлавского водохранилища, что, вероятно, обусловлено повышенной антропогенной нагрузкой.

В волжских водоемах положительная связь между концентрацией пигментов и показателями свойств грунтов выявлялась наиболее четко в верхнем слое [11—15]. Анализ степенной связи концентрации как отдельных пигментов, так и их суммы с влажностью и содержанием органического вещества в отложениях Влоцлавского водохранилища показал, что для нижних слоев ядра коэффициент детерминации ( $R^2$ ) меньше, чем для верхнего (табл. 3). Ослабление связи наиболее заметно для хлорофилла *a* в нижних слоях,

где концентрация этого пигмента незначительна и основной фонд представлен продуктами его деградации — феопигментами (см. табл. 2).

Содержание хлорофилла *a* с феопигментами в расчете на миллиметровый слой отложений ( $123 \pm 14$  мг/(м<sup>2</sup>·мм)) сопоставимо с содержанием хлорофилла *a* в столбе воды (128 мг/м<sup>2</sup>), полученным исходя из средней кон-

**3. Коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) степенной связи концентрации пигментов с влажностью (I) и содержанием органического вещества (II)**

Слой, см	I			II		
	Ф + хл.	Ф	хл.	Ф + хл.	Ф	хл.
0—5	0,92	0,89	0,88	0,97	0,97	0,92
> 5	0,64	0,83	0,11	0,53	0,72	0,14

центрации 23,3 мкг/дм<sup>3</sup> и средней глубины водохранилища 5,5 м [16]. При максимальной концентрации хлорофилла *a* в планктоне (108 мкг/дм<sup>3</sup>) соотношение между содержанием пигментов в воде и донных отложениях увеличивается почти до 5. Аналогичные величины соотношения (1,9—3,7) были установлены и для волжских водоемов [11], что подтверждает существование количественной связи между продуктивностью фитопланктона и концентрацией пигментов в донных отложениях высокопродуктивного Влоцлавского водохранилища. Можно полагать, что продуктивность других автотрофных компонентов не влияет существенно на содержание пигментов в донных отложениях, поскольку не превышает таковую фитопланктона. Так, например, вклад высшей водной растительности в общую первичную продукцию в евтрофных водохранилищах Днепра составляет 3—12% [10]. В мезотрофном озере Нарочь (Белоруссия), имеющем площадь зеркала, сходную с таковой Влоцлавского водохранилища, вклады планктона, микрофитобентоса, эпифитона и макрофитов в суммарную первичную продукцию составляют соответственно 44,6, 6,6, 17,8 и 31,1% [5].

Повышенное содержание пигментов в грунтах исследуемого водохранилища согласуется с другими признаками высокой продуктивности — концентрацией хлорофилла *a* и первичной продукцией планктона, характерной для евтрофных вод, и наличием илов на основной части площади дна (около 70%). Подобное сочетание трофических признаков свойственно, например, высокопродуктивному озеру Неро в Ярославской области [11]. Следовательно, наиболее общие трофические признаки высокопродуктивных водохранилищ и озер, то есть искусственных и естественных водоемов, можно считать сходными. Наличие единых закономерностей формирования продукционных свойств различных водных объектов дает возможность применять установленные зависимости между содержанием пигментов, типологическими свойствами грунтов и характеристиками водной среды в системе экологического мониторинга, а также при изучении трофности и евтрофирования разнотипных водоемов [11—15, 17, 19, 21].

**Заключение**

Полученные результаты дополняют сведения о трофических признаках водоемов, необходимые при изучении эволюции экосистем евтрофных водохранилищ.



По содержанию пигментов в отложениях, так же как и по их концентрации в планктоне, исследуемое водохранилище на р. Висле относится к высокопродуктивным водоемам.

Особенности распределения пигментов в донных осадках водохранилищ разного трофического статуса обусловлены продуктивностью фитопланктона, а также факторами формирования грунтового комплекса. Количественные связи между концентрацией пигментов и типологическими показателями донных отложений (влажностью, содержанием органического вещества) характеризуются высокими положительными коэффициентами корреляции, как и в других водоемах.

\*\*

*Наведено дані про вміст рослинних пігментів у донних відкладах евтрофного Влоцлавського водосховища на р. Віслі (Польща). Обговорюється залежність концентрації пігментів від показників трофічного стану водосховища: типологічних властивостей ґрунту та продуктивності фітопланктону.*

\*\*

*Data on the content of vegetative pigments in bottom sediments of the eutrophic Wloclawek reservoir on the Vistula river (Poland) are presented. The dependence of the concentration of pigments on indices of the trophic state of the reservoir: typological properties of sediments and phytoplankton productivity are discussed.*

\*\*

1. Алевин О.А. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 442 с.
2. Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах. — Л.: Наука, 1994. — 222 с.
3. Бульон В.В. Вклад основных групп автотрофных организмов в первичную продукцию водоемов // Вод. ресурсы. — 2004. — Т. 31, № 1. — С. 98—108.
4. Буторин Н.В., Зимина Н.А., Курдин В.В. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. — Л.: Наука, 1975. — 160 с.
5. Жукова А.А. Оценка значимости различных автотрофных компонентов в формировании продуктивности мезотрофного озера: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Минск, 2007. — 21 с.
6. Законнов В.В. Аккумуляция биогенных элементов в донных отложениях водохранилищ Волги // Органическое вещество донных отложений волжских водохранилищ. — СПб.: Гидрометеиздат, 1993. — С. 3—16.
7. Законнов В.В. Осадкообразование в водохранилищах волжского каскада: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. — М., 2007. — 39 с.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. — М.: Высш. шк., 1980. — 293 с.
9. Мартынова М.В. Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. — М.: Наука, 2010. — 243 с.
10. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. — Л.: Наука, 1985. — 295 с.

11. Сигарева Л.Е. Формирование и трансформация фонда растительных пигментов в водоемах верхневолжского бассейна: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — М., 2006. — 47 с.
12. Сигарева Л.Е., Законнов В.В., Тимофеева Н.А. Оценка экологического состояния оз. Плещеево по пигментным характеристикам донных отложений // Проблемы региональной экологии. — 2000. — № 6. — С. 100—113.
13. Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. Содержание растительных пигментов в донных отложениях мезотрофного Угличского водохранилища // Биология внутр. вод. — 2005. — № 2. — С. 47—55.
14. Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. Растительные пигменты в донных отложениях как показатели экологического состояния водохранилищ // Актуальные проблемы рационального использования биологических ресурсов водохранилищ. — Рыбинск: Изд-во Рыбинский Дом печати, 2005. — С. 270—282.
15. Тимофеева Н.А., Сигарева Л.Е. Взаимосвязи концентраций растительных пигментов с азотом и фосфором в донных отложениях водохранилищ // Вод. ресурсы. — 2004. — Т. 31. № 3. — С. 332—336.
16. Achrem E., Gierszewski P. Zbiornik Włocławski. Biblioteka Monitoringu Środowiska. — Bydgoszcz, 2007. — 146 s.
17. Adams M. S., Prentki R. T. Sedimentary pigments as an index of the trophic status of Lake Mead // Hydrobiologia. — 1986. — Vol. 143, N 18. — P. 71—77.
18. Banach M. Morfodynamika strefy brzegowej zbiornicka Włocławek. — Prace Geograficzne. — 1994. — N 161. — 180 s.
19. Brenner M., Binford M.W. Relationships between concentrations of sedimentary variables and trophic state in Florida lakes // Canad. J. Fish. Aquat. Sci. — 1988. — Vol. 45. — P. 294—300.
20. Lorenzen C.J. Determination of chlorophyll and phaeo – pigments: spectrophotometric equations // Limnol. Oceanogr. — 1967. — Vol. 12, N 2. — P. 343—346.
21. Swain E.B. Measurement and interpretation of sedimentary pigments // Freshwater Biol. — 1985. — Vol. 15, N 1. — P. 53—75.

<sup>1</sup> Институт биологии внутренних вод РАН, Борок

<sup>2</sup> Институт географии и пространственной организации ПАН, Варшава, Торунь

Поступила 18.08.10