

ИТОГИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.
2011. – Т. 20, № 2. – С. 54-70.

УДК 574.55; 551.481 (470.4)

СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ САМАРСКОЙ ЛУКИ

© 2011 В.И. Номоконова*

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти (Россия)

Поступила 28 ноября 2010

Рассмотрено разнообразие озер Самарской Луки по содержанию хлорофилла «а» и феопигментов в воде и донных отложениях.

Ключевые слова: хлорофилла «а», феопигменты, озера, Самарская Лука.

Nomokonova V.I. *The content of photosynthetic pigments in water and ground deposits of lakes the Samara bows*

A diversity of lakes the Samara Bows on the contents chlorophyll *a* and pheopigments in water and ground deposits is considered.

Key words: chlorophyll *a*, pheopigments, lakes, Samara Bows

Фотосинтетические пигменты в воде и донных отложениях в водоемах являются маркерами органического вещества, синтезированного фитопланктоном, фитобентосом, высшей водной растительностью, пурпурными и зелеными бактериями. Их содержание в воде характеризует продуктивность водоемов. Осаждение и захоронение пигментов в осадках определяется совокупным действием биологических, физических и химических факторов в водоеме и на водосборе. Поэтому их состав и количество в толще донных отложений отражает историю развития водоема (Vallentyne, 1956; Czezuga, 1965; Pardue et al., 1986; Давыдова, Трифонова, 1979 и др.). Они могут быть использованы как индикаторы настоящих и предыдущих трофических условий (Sanger, Gorham, 1970, 1972; Guilizzoni et. al., 1983, Swain, 1985, Adams, Prentki, 1986; Nalepa, Quigley, 1987 и др.), ацидификации озер (Guilizzoni et.al., 1992) и климатических изменений (Lami et al., 2000; Guilizzoni et al., 2001 и др.)

Вместе с тем, определение фотосинтетических пигментов в донных отложениях не получило такого распространения, как измерение содержания хлорофилла в воде. Учитывая, что наблюдения на водоемах не всегда ведутся регулярно и оценка их трофического, а соответственно и экологического состояния осложняет-

* Номоконова Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

ся, измерение фотосинтетических пигментов в донных отложениях является одним из перспективных экспресс методов в этом направлении. Определение фотосинтетических пигментов в воде и донных отложениях малых водоемов Самарской Луки было частью научных исследований, проведенных ИЭВБ РАН на территории национального парка Самарская Лука и Жигулевского заповедника. Целью данного исследования было определение биоразнообразия озер Самарской Луки по содержанию фотосинтетических пигментов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Самарская Лука представляет полуостров, образованный излуциной Волги в районе городов Тольятти и Самары, и омываемый водами Куйбышевского и Саратовского водохранилищ. На ее территории расположены национальный парк «Самарская Лука» и Жигулевский заповедник. Систематические гидробиологические исследования на их территории были начаты в 1998 г. В настоящей работе изложены результаты определения фотосинтетических пигментов в sestone 19 водоемов, в 13 – и в донных отложениях. Вскрытие и очищение воды озер ото льда определялось погодными условиями и обычно происходило в конце апреля. Максимальная температура воды регистрировалась в июле. Питание озер осуществляется атмосферными осадками с разной ролью подземных вод. Площадь водного зеркала озер национального парка, за исключением пойменного, не более 0,3 га (Жариков и др., 2007), заповедника – 0,2 га. Наблюдения за динамикой содержания пигментов проводились с апреля (мая) по октября. В ряде озер и в ноябре-декабре.

Среди исследованных водоемов на территории национального парка одно – Большое Шелехметское – пойменное, связанное с Саратовским водохранилищем. Остальные бессточные, расположенные в разных ландшафтах полуострова. Среди них – старичные озера: пересыхающее Опкан и мелеющее Лизинка, оз. Клюквенное, образовавшееся в карьере после выемки торфа, запрудные Подгорское, пруд Верхний, и возможно оз. Харовое (Жариков и др., 2007), карстовые: Бездонное, Малое Карстовое, Серебрянка, Золотенка. На территории заповедника – озера в карьерах после выемки грунта. Четыре из них, образованные в карьерах после выемки битуминозных песчаников, были названы Гудронными: 1; 2; 3 и 4. Четыре других, соответственно, после выемки глины – Стрельными: 5; 6; 7 и 8. Озера расположены преимущественно в лесных массивах. Деревья и кустарники, за исключением озер Бездонное, М. Карстовое и Золотенка, спускаются до уреза воды. Практически во всех озерах в разной степени развита высшая водная растительность.

Лимнологическая характеристика водоемов национального парка приводится в ряде работ (Паутова, 2001; Поспелов и др., 2000; Розенберг и др., 2006; Голубая книга, 2007; Жариков и др., 2007; Номоконова, 2009), заповедника – в работах В.И. Номоконовой (2007а, 2007б, 2009 и др.). Показано, что минерализация озер – от малой до средней, кислотность от слабо кислой до слабощелочной, по цветности воды озера от олиго- до полигумозных. По содержанию общего фосфора в основном это евтрофные водоемы (Номоконова, 2004, 2009). В придонных слоях большинства озер содержание минерального азота, фосфатов и общего фосфора выше, чем в поверхностном (Номоконова, 2009).

Отбор проб для определения содержания хлорофилла «а» (далее Хл.) и фео-пигментов в водной массе озер проводился 2 литровым батометром Рутнера. В от-

носителем глубоких озер Самарской Луки (более 2 м) в поверхностном и придонном слоях воды (рис. 1, К-Т). В более мелких водоемах (глубиной меньше 2 м) – преимущественно в поверхностном слое воды (рис. 1, А-И). Параллельный отбор проб в поверхностном и придонном горизонтах был выполнен в озерах Клюквенное (в апреле-августе), Стрельное 7 (в мае-сентябре), Гудронное 3 (в мае-августе), Стрельное 6 (в июне-октябре) и Харовое (в мае и июне). В озерах Жигулевского заповедника пробы по вертикали отбирали и с промежуточных горизонтов. Станции постоянных наблюдений располагались в центральной части озер.

Донные отложения отбирали стратометром Перфильева. Сразу определялась высота керна, проводилось визуальное его описание и разделение на слои: 0-1,5 см, 1,5-3, 3-5, 5-8, 8-10 и далее через 5 см. Каждый слой седимента помещался в бюкс и до анализа хранился в морозильной камере.

Определение пигментов проводили измерением оптической плотности ацетоновых экстрактов. Для экстракции пигментов из осадка бралась сырая навеска весом до 2 г. Расчет концентрации хлорофилла «а» в сумме с феопигментами (далее Хл) делали по формулам, разработанным группой ЮНЕСКО (1966), процент феопигментов – по Лоренцену (Lorenzen, 1967). Для донных отложений результаты пересчитаны на массу сухого грунта. Для этого одновременно с пигментами бралась проба от 1 до 3 г для определения массы сухого осадка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что содержание Хл. в сумме с феопигментами в целом в сестоне озер (рис. 1) изменялось в поверхностном слое воды от 2,5 до 309 мг/м³, в придонном от 2,6 до 1124 мг/м³ – в более широких пределах. Коэффициент вариации составлял, соответственно, 45-146% (в большинстве озер 45-80%) и 49-153% (51-82%). Среднее содержание Хл. в поверхностном слое воды озер изменялось от 7,4 до 193,6 мг/м³ и от 15,0 до 341 мг/м³ в придонном (табл. 1). В большинстве озер среднее и максимальное его количество в поверхностном горизонте по классификации Г.Г. Винберга (1960) соответствовало водоемам евтрофного типа, в придонном – гиперевтрофного.

Феопигменты в среднем в поверхностном слое воды от суммы с чистым хлорофиллом «а» составляли 10-49%, в придонном 14-69%. Наиболее часто в пресных водах их доля равняется 10-30% (Бульон, 1983). В водохранилищах Волги, по средним данным (Минеева, 2004), она составляла 23-32%. Как видно из табл. 1, в поверхностном горизонте большинства исследованных озер среднее содержание феопигментов находится в этом диапазоне часто встречающихся значений. Данные, полученные при обработке проб, взятых из придонного, чаще анаэробного слоя воды, в основном превышают его. В течении вегетационного сезона относительное содержание феопигментов так же, как Хл., претерпевает значительные колебания (рис. 1). Коэффициент вариации его значений в поверхностном слое 10 озер составил 48-87%, 5 озер – 94-200%, в придонном в большинстве озер 21-79%, в одном – 112%.

Как видно при сравнении табл. 1 и 2, в большинстве озер Самарской Луки среднее содержание Хл. выше, чем в волжских водохранилищах. В поверхностном слое воды гиперевтрофных озер: карстовые Бездонное и М. Карстовое, запрудное Подгорское в среднем оно достигало 123-193,4 мг/м³. Различно и соотношение содержания Хл в поверхностном и придонном слоях воды. В водохранилищах Волги,

Таблица 1

Содержание хлорофилла «а» (мг/м³) и феопигментов (в % от суммы с хлорофиллом «а») в поверхностном (1) и придонном (2) слое воды в озерах Самарской Луки

Водоёмы	1		2	
	Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное
	Хлорофилл «а»			
М. Карстовое	193,6 ± 35,4	308 (VII)	102,0 ± 20,7	188 (X)
Подгорское	137,1 ± 33,5	246 (IX)	200 ± 52,1	355 (VII)
Бездонное	123,4 ± 31,2	304 (X)	133 ± 38,2	335 (X)
Клюквенное	83,1 ± 25,1	177 (IX)	-	-
Серебрянка	63,8 ± 22,8	179 (VIII)	-	-
Гудронное 2	51,9 ± 11,3	80,6 (X)	162,6 ± 61,3	460,7 (VIII)
Харовое	37,7 ± 20,8	153,5 (VII)	-	-
Стрельное 7	33,6 ± 10,1	72,6 (IX)	159,8 ± 85,2	371,8 (VII)
Гудронное 3	33,0 ± 10,4	67,1 (V)	341 ± 261	1124 (V)
Стрельное 5	30,9 ± 7,6	59,9 (IX)	217,5 ± 92,2	638 (IX)
Пруд Верхний	28,9±7,8	56,1 (VIII)	-	-
Б. Шелехметское	27,3 ± 6,4	54,1 (VIII)	36,0 ± 6,7	59,0 (VIII)
Лизинка	19,1±5,5	42,5 (IX)	-	-
Гудронное 1	19,0 ± 4,7	38,0 (VII)	315,3 ± 105	699 (VIII)
Золотянка	18,2 ± 6,9	55 (VI)	-	-
Стрельное 8	10,3 ± 4,1	29,1 (IX)	139,9 ± 70,8	411 (IX)
Стрельное 6	10,8 ± 2,9	22,9(IX)	21,2 ± 6,0	43 (VIII)
Гудронное 4	9,6±1,0	12,6 (IX)	15,0±2,5	23,8 (VII)
Опкан	7,4±1,1	10,3 (IV)	-	-
	Феопигменты, %			
Лизинка	49 ± 13	89 (VI)	-	-
Гудронное 1	47 ± 12	80 (VI)	54 ± 11	69 (IX)
Золотянка	43 ± 13	59 (IX)	-	-
Опкан	38 ± 10	52 (V)	-	-
Гудронное 2	34 ± 8	61 (VII)	63 ± 11	95 (V)
Гудронное 3	36 ± 8	69 (X)	36 ± 8	
Пруд Верхний	31 ± 11	64 (VI)	-	-
Гудронное 4	27 ± 12	84 (VIII)	28±13	45 (VIII)
Шелехметское	25 ± 5	39 (IV)	27 ± 6	43,7 (X)
Клюквенное	24 ± 8	65 (VI)	-	-
Серебрянка	24 ± 7	49,6(X)	-	-
Бездонное	24 ± 7	54 (VII)	69 ± 6	89 (VI)
Стрельное 5	20 ± 9	52 (VII)	60 ± 14	100 (VII)
Стрельное 8	20 ± 8	48 (VIII)	61 ± 16	82 (VII)
Харовое	17 ± 8	52 (IV)	-	-
Стрельное 7	16 ± 6	36 (VIII)	32 ± 16	78 (VIII)
М. Карстовое	12 ± 4	25 (V)	46 ± 6	73 (VII)
Стрельное 6	12 ± 10	61 (VII)	14 ± 5	28 (VIII)
Подгорское	10 ± 3	21 (X)	40 ± 10	78 (VII)

Примечание: в скобках указаны месяцы.

в отличие от исследованных озер, среднее его содержание в верхних слоях воды с интенсивным фотосинтезом водорослей, выше, чем в придонных. В придонном горизонте водохранилищ сохранялись окислительные условия, и критических величин содержание кислорода достигало лишь в редких случаях и кратковременно. В афотической зоне водохранилищ идет потребление синтезированного водорослями

Таблица 2

Среднее содержание хлорофилла «а» (мг/м³) в поверхностном и придонном слоях воды в водохранилищах Волги

Водохранилище	Плес, залив	Станция	Глубина, м	n	Хлорофилл «а»	
					Ом	У дна
Иваньковское 1992 г. (VI, VII)	Волжский	Русло	9-14	15	18,7 ± 4,1	9,5 ± 1,1
	Иваньковский	Русло	10-18	9	8,6 ± 1,7	4,3 ± 0,5
Горьковское 1992 г. (V-IX)	Приплотинный	Русло	20	15	19,9 ± 3,7	6,6 ± 1,1
Куйбышевское 1985 г. (V-XI) 1985 г. (V-XI) 1985,1990-1995 гг.(V-X) 1990-1991 гг. (V-X) 1989-1995 гг. (IV-XI)	Черемшанский залив	Верховье	5,7	18	32,2 ± 7,5	19,7 ± 4,4
		Средина	15,5	19	16,2 ± 6,5	3,9 ± 0,9
	Новодевиченский	Русло	30	20	5,3 ± 1,5	1,5 ± 0,3
		Пойма	11	18	7,0 ± 2,2	2,3 ± 0,5
	Приплотинный	русло (ст. 34)	28-35	93	15,5 ± 4,0	6,2 ± 1,4
		пойма (ст. 39)	10-12	73	17,0 ± 2,8	10,1 ± 2,7
пойма (ст.39в)		6-12	650	21,6 ± 3,2	9,3 ± 1,2	

Примечание. По: Экология фитопланктона...(1989), Номоконова (1991), Паутова, Номоконова (1994), Паутова, Номоконова (2002); n – число определений.

органического вещества гидробионтами, биохимическое разложение с участием различных групп бактерий, содержание Хл. к придонному слою снижается. На это указывают и результаты экспериментов по оценке седиментации органического вещества в Куйбышевском водохранилище (Номоконова, 1989), и данные синхронных определений его деструкции в воде и донных отложениях (Паутова и др., 1994). Его выравнивание по вертикали наблюдается в периоды ветрового перемешивания водных масс.

В большинстве мелких озер Самарской Луки (табл. 3) прозрачность воды по диску Секки (S) на станциях постоянных наблюдений в отдельные даты превышала их глубину. Фотическая зона, если ее принять равной утроенной величине прозрачности воды по диску Секки (S), за редкими исключениями (зарегистрированными в озерах Клюквенное и Стрельное 7) распространялась до дна.

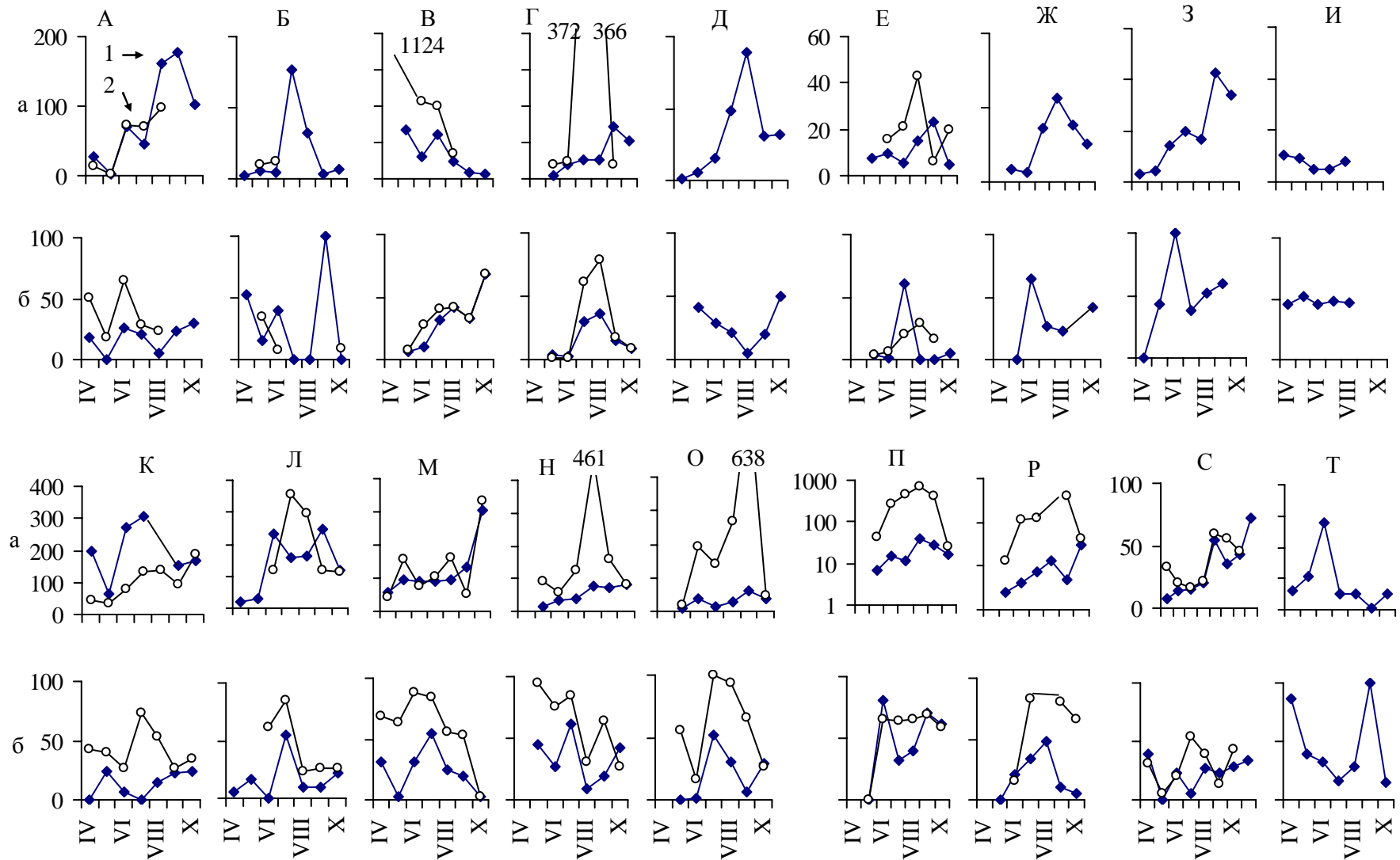


Рис. 1. Сезонная динамика содержания хлорофилла "а" (а, мг/м³) и феопигментов (б, % от суммы с Хл) в поверхностном (1) и придонном слое (2) воды озер Самарской Луки с глубиной до 2 м (А-И) и более 2 м (К-Т)

Примечание. Озера: А – Клюквенное, Б – Харовое, В – Гудронное 3, Г – Стрельное 7, Д – Серебрянка, Е – Стрельное 6, Ж – Пруд Верхний, З – Лизинка, И – Опкан, К – М. Карстовое, Л – Подгорское, М – Бездонное, Н – Гудронное 2, О – Стрельное 5, П – Гудронное 1, Р – Стрельное 8, С – Б. Шелехметское, Т – Золотенка.

Таблица 3

Средняя глубина, прозрачность и содержание кислорода в мелких озерах Самарской Луки

Показатель	Озеро									
	Клюк- венное	Опкан	Лизинка	Пруд Верхний	Сереб- рянка	Харовое	Гуронное 3	Гудрон- ное 4	Стрель- ное 6	Стрель- ное 7
Глубина, м	1,2	(0,8)	(0,9)	1,1	0,6	1,0	0,9	0,9	1,3	1,6
S, м	1,0-0,2	0,1-дно	0,5-дно	0,3-1,0	0,6-дно	1,5-дно	0,8-дно	0,05-0,2	1,5-дно	0,5-1,0
O ₂ (%), Ом	96-193	88-150	40-100	79-142	36-109	60-110	6-131	15-30	37-156	59-178
O ₂ (%), у дна	70-111	–	–	–	–	–	6-186	6-24	28,8-127	0-89

Примечание. Здесь и в табл. 4 средняя глубина озер, расположенных на территории национального парка приведена по: Уманская и др. (2003), содержание кислорода по: Пospelов и др. (2000). В скобках – максимальная глубина в высыхающем оз. Опкан и мелеющем оз. Лизинка.

Таблица 4

Средняя глубина, прозрачность и содержание кислорода в относительно более глубоких озерах Самарской Луки

Показатель	Озеро								
	Гудро- нное 1	Гудро- нное. 2	Стрель- ное 5	Стре- льное 8	Б. Шелех- метское	Подгор- ское	М. Карсто- вое	Бездон- ное	Золотенка
Глубина, м	2,9	3,5	3,6	3,5	3,7	2,0	2,0	2,7	2,6
S, м	0,9-1,2	0,7-1,1	0,7-1,3	1,0-1,4	0,6-1,3	0,4-1,1	0,2-0,4	0,2-1,1	0,6-1,2
O ₂ (%), Ом	15-116	17-129	14-139	23-104	107-181	90-277	88-191	59-157	38-95
O ₂ (%), у дна	0-13	0-15	0-8	0-28	34-103	48-110	0-44	0-14	8-19

В придонном слое воды сохранялись окислительные условия. Среднее содержание кислорода в поверхностном слое воды варьировало от 58,6 (оз. Лизинка) до 127,7% (оз. Клюквенное), в придонном от 47,9 (в мае-сентябре в оз. Стрельное 7) до 94,6% (в апреле-августе в оз. Клюквенное). Как отмечено выше, в мелких озерах содержание пигментов определялось в основном в поверхностном слое воды. В весенний биологический сезон, в апреле-мае, содержание Хл. в этом горизонте большинства озер изменялось от 4,1 (оз. Лизинка) до 26,4 мг/м³ (оз. Клюквенное). Максимальные величины были зарегистрированы в мае в оз. Гудронное 3: в поверхностном слое воды 67,1 мг/м³, в придонном в 17 раз больше – 1124,2 мг/м³. Доля феопигментов от их суммы с чистым хлорофиллом в оз. Гудронное 3 не превышала 7% (в ряде других озер увеличивалась до 15,6-52,1%). В это время вода в озере имела кислую реакцию (рН у поверхности равнялась 3,4, у дна – 3,2), и интенсивно, особенно в придонном горизонте, развивалась практически монокультура *Chlamydomonas reinhardtii* Dang. (Номоконова и др., 2007). Содержание кислорода при интенсивном фотосинтезе водорослей в придонном слое повышалось до 186% (в поверхностном до 131%). В других озерах (Клюквенное, Стрельное 7 и Харовое), в которых содержание Хл. определялось и в придонном горизонте, его количество в мае в поверхностном слое воды составляло 1,7-11,64 мг/м³ и было в 1,7-4,9 раза меньше, чем придонном (2,56-19,6 мг/м³). Содержание кислорода в разных слоях воды оз. Клюквенное оказывалось практически равным (91-96 %). В оз. Стрельное 7 в верхнем слое воды (101,3%) было выше, чем в придонном (74,8%).

Сезонные максимумы содержания Хл. в поверхностном слое воды наблюдались в летний и позднелетне-раннеосенние биологические сезоны, в июле-сентябре (в весенний сезон в оз. Гудронное 3 в мае). В поверхностном горизонте они варьировали от 22,9 (оз. Стрельное 6) до 176,8-179 мг/м³ (озера Клюквенное и Серебрянка). В трех озерах (Клюквенное, Стрельные 6 и 7), в которых содержание Хл. также определялось в разных горизонтах водного столба, его количество в придонном слое оставалось более высоким, чем в поверхностном. Особенно большое различие наблюдалось в июле-августе в оз. Стрельное 7, когда в придонном слое воды регистрировались экстремально высокие величины содержания Хл. (365,5-371,8 мг/м³) – в 14-15 раз выше, чем в поверхностном (25,1-26,8 мг/м³). Доля феопигментов в общей сумме с Хл. также достигала экстремальных значений – 60,8-78,5%. Содержание кислорода в августе снижалось до аналитического нуля. Обратная картина наблюдалась в августе в оз. Клюквенное и в сентябре в Стрельных озерах 6 и 7. Содержание Хл. в поверхностном горизонте этих озер соответствовало его сезонному максимуму, и было в 1,6-4 раз выше, чем в придонном.

Поздней осенью (октябрь) при гомотермии содержание Хл. в поверхностном слое воды в озерах снижалось; в оз. Гудронное 3 – до 7 мг/м³, содержание кислорода в озере уменьшалось до 6,2%, доля феопигментов в общем Хл. увеличивалась до 68%. Наиболее высоким содержание Хл. оставалось в оз. Клюквенное – 101,6 мг/м³ (в ноябре 91,02), доля феопигментов составляла 29,5 %, а содержание кислорода достигало 134%. В других озерах содержание Хл. было ниже и изменялось преимущественно от 13,3 (оз. Харовое) до 63,8 мг/м³ (оз. Серебрянка). Доля феопигментов варьировала от 9,3% (оз. Стрельное 7) до 49,6% (оз. Серебрянка), содержание кислорода от 37,3 (оз. Стрельное 6) до 58,9% (оз. Стрельное 7).

Озера глубиной более 2 м с мая до сентября по температуре воды и содержанию кислорода озера стратифицированы. Содержание кислорода в придонном слое воды большинства озер, в отличие от мелких водоемов, на протяжении большей части ве-

гетационного сезона равнялось аналитическому нулю или приближалось к нему – преобладали процессы деструкции органического вещества. Относительно высоким содержанием кислорода в придонном горизонте на протяжении вегетационного периода оставались в озерах Б. Шелехметское и Подгорское (табл. 4). Среднее его содержание в поверхностном слое воды озер варьировало от 65,6 (оз. Гудронное 1) до 125 и 157% (соответственно, озера Б. Шелехметское и Подгорское). Содержание кислорода в придонном слое большинства озер оказывалось ниже 20% (в трех – меньше 3%) и только в озерах Подгорское и Б. Шелехметское равнялось 76,9 и 80,2%. Распространение фотической зоны до дна прослеживалось в редких случаях и в немногих озерах (Б. Шелехметское, Подгорское, Гудронное 1, Стрельное 8).

Диапазон изменения содержания Хл. в апреле-мае был значительно шире, чем в мелких озерах: в поверхностном слое воды от 6,9 (оз. Гудронное 1) до 196,7 мг/м³ (оз. М. Карстовое), в придонном – от 12,9 (оз. Стрельное 8) до 155,4 мг/м³ (оз. Бездонное). В придонных слоях воды в мае его количество было в 1,5-6 раз выше, чем в поверхностном. Доля феопигментов изменялась от аналитического нуля (в мае в озерах Гудронное 1, Стрельные 5 и 8,) до 45,1% (оз. Гудронное 2) в верхнем горизонте и до 94,7% (в оз. Гудронное 2) в придонном.

Сезонные максимумы содержания Хл. в поверхностном слое воды отмечались в основном в июле-сентябре. В поверхностном слое воды они варьировали от 29,1 (оз. Стрельное 8) до 308 мг/м³ (оз. М. Карстовое), в придонном были выше и изменялись от 188 (оз. М. Карстовое) до 699 мг/м³ (оз. Гудронное 1). Содержание Хл. чаще в 1-3 раза было выше в придонном горизонте, чем в поверхностном. Это отношение увеличивалось только в трех озерах: Стрельное 5 – до 9-11 раз, Гудронное 1 – до 15-40, Стрельное 8 – до 17-80 раз. Доля феопигментов составляла 65-100%. Как и в группе мелких озер, среди относительно более глубоких также выделились три водоема, содержание Хл. в поверхностном горизонте которых было выше, чем в придонном, в 1,8-2,7 раза. Такое соотношение наблюдалось при сезонном максимуме содержания Хл. в поверхностном слое воды в озерах Подгорское и М. Карстовое, в сентябре – в оз. Бездонное. Доля феопигментов в общем Хл. составляла 9,4-22,8% в поверхностном горизонте озер, при интенсивном развитии водорослей, и 19-53,7% в придонном.

Позднеосенний (октябрь) сезонный максимум содержания Хл., как видно из рис. 1, был характерен только для оз. Бездонное. Значительно меньшие его увеличения к октябрю наблюдались в оз. Гудронное 2 (в поверхностном слое воды) и в оз. М. Карстовое (в придонном). При гомотермии существенных различий содержания Хл. в разных слоях воды в большинстве озер не наблюдалось. Высоким оно оставалось в озерах Подгорское (112-116 мг/м³), М. Карстовое (168,2-187,6) и Бездонное (303,8-335,5). В других варьировало в основном от 25,5 до 46,2 мг/м³. Доля феопигментов от суммы с чистым Хл. в оз. М. Карстовое составляло 0-0,6, оз. Бездонное – 2,3-3,2, оз. Подгорское – 21,5-26,2%, в других озерах – в основном 26,2-66,7%.

В целом на протяжении вегетационного сезона в половине озер глубиной более 2 м содержание Хл. было выше в придонном горизонте (за редкими исключениями в октябре). Наибольшая разница наблюдалась в озерах Гудронное 1 и Стрельное 8. На этом фоне выделялись озера М. Карстовое, Бездонное, Золотенка, Подгорское и Б. Шелехметское. Повышенным в поверхностном слое воды его количество было в оз. М. Карстовое (кроме октября), в июне, августе и сентябре в оз. Бездонное, в июне и июле в оз. Золотенка, в июне и сентябре в оз. Подгорское, существенных различий не наблюдалось в пойменном оз. Б. Шелехметское. Как видно из ниже приведенных

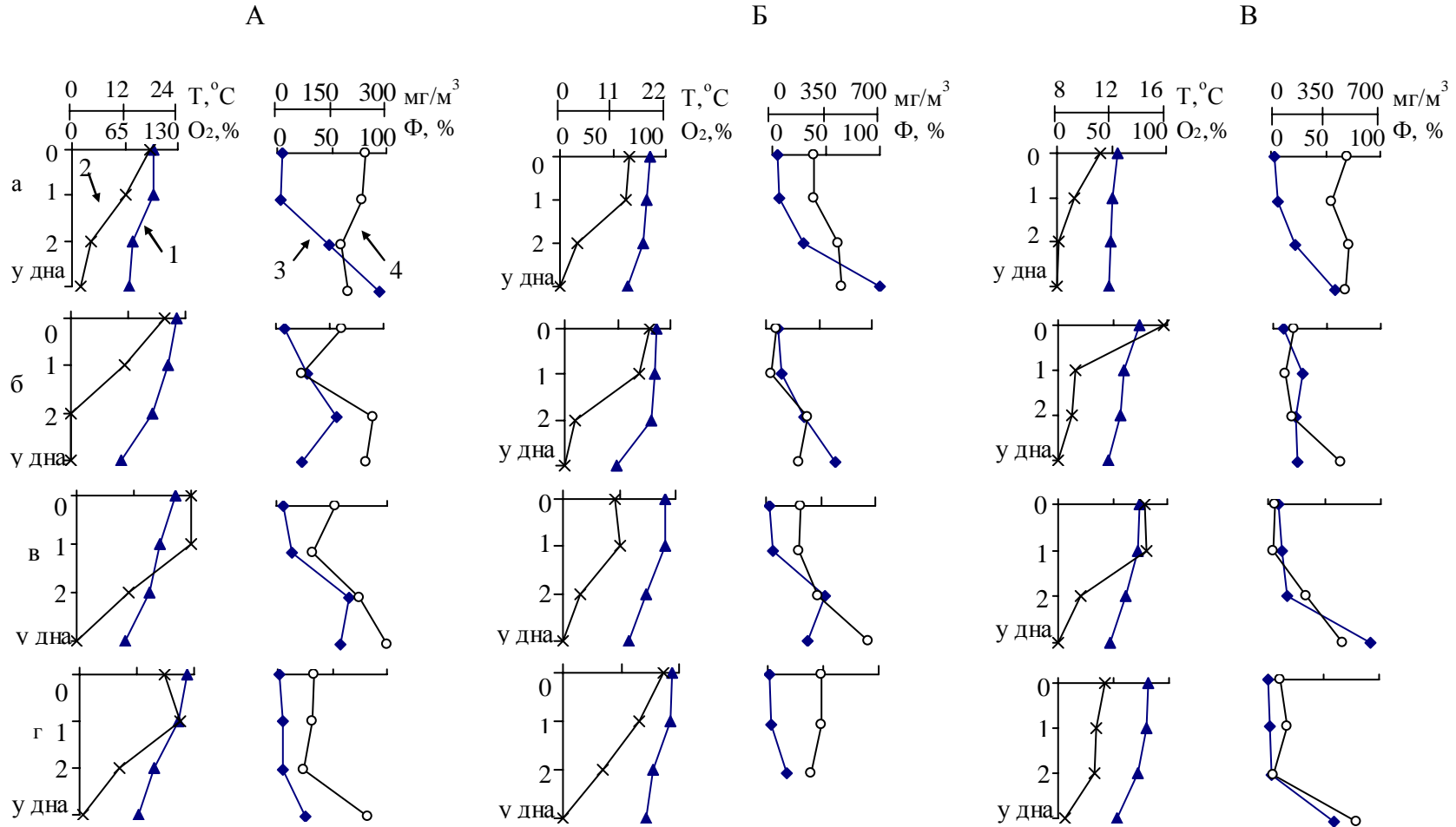


Рис. 2. Вертикальное изменение температуры воды (1 – $T, ^\circ\text{C}$), насыщение воды кислородом (2 – $\text{O}_2, \%$), содержания Хл. (3 – мг/м^3), феопигментов (4 – $\Phi, \%$) в озерах заповедника в июле (А), августе (Б), сентябре (В). По оси ординат глубина в м
Примечание. Озера: а – Гудронное 1, б – Гудронное 2, в – Стрельное 5, г – Стрельное 8.

данных, средняя за период вегетации доля феопигментов в его сумме с чистым Хл была выше в придонном горизонте (в оз. Б. Шелехметское близкой):

Гори- зонт	Озеро							
	Гудро- нное 1	Гудро- нное. 2	Стрель- ное 5	Стре- льное 8	Б. Шелех- метское	Подгор- ское	М. Кар- стовое	Бездон- ное
Ом	47	34	20	20	25	10	12	24
У дна	54	63	60	61	27	40	46	69

Динамика пигментов по вертикали показана на рис. 2 и 3. Как видно, увеличение содержания Хл. и феопигментов в июле-августе, при стратификации водных масс по температуре воды и насыщения воды кислородом (рис. 2) начиналось обычно с глубины, равной 1 м. В сентябре, когда вертикальные градиенты температуры воды снижались – чаще в придонном горизонте. В октябре при гомотермии содержание пигментов по вертикали выравнивалось (рис. 3). Увеличение доли феопигментов в их сумме с чистым Хл. ниже 1 м сохранялось только в оз. Стрельное 8.

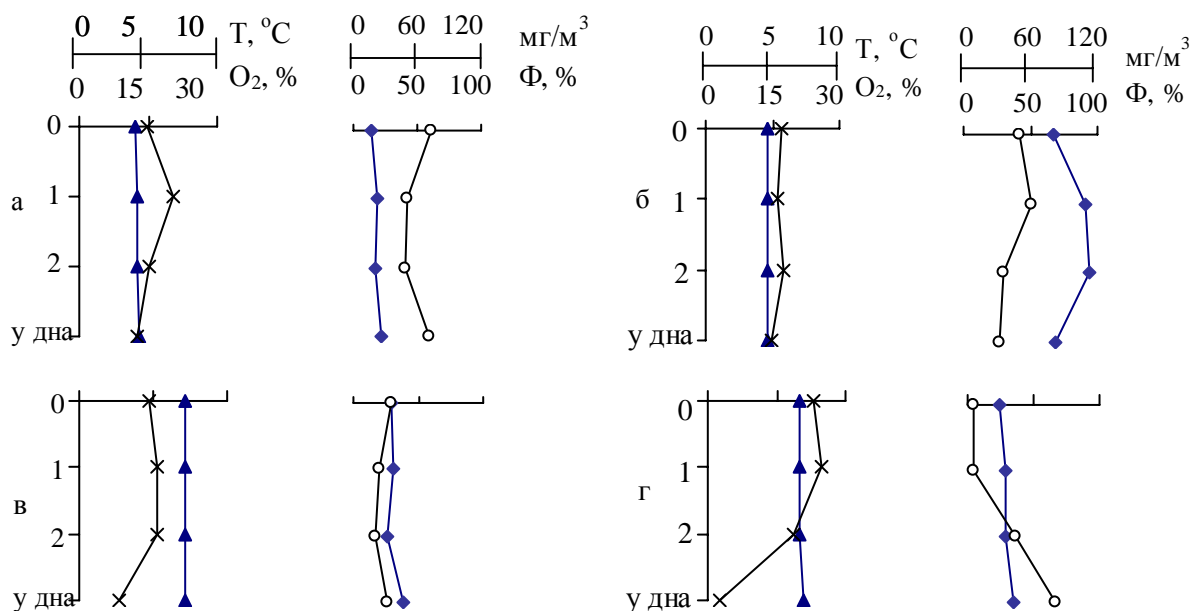


Рис. 3. Вертикальное изменение температуры воды (1 – $T, ^\circ\text{C}$), насыщение воды кислородом (2 – $\text{O}_2, \%$), содержания Хл. (3 – мг/м^3), феопигментов (4 – $\Phi, \%$) в озерах заповедника в октябре

Примечание. По оси ординат глубина в м. Остальные обозначения на рис. 2.

Высокое содержание Хл. в сестоне при анаэробных условиях должны приводить к накоплению и захоронению пигментов в донных отложениях. Анализ кернов донных отложений изучаемых озер показал, что грунты в центральной части представлены илистыми отложениями разной мощности и качества. Как правило, во всех озерах верхние 5 см осадка – жидкий ил, ниже уплотняющийся. В Гудронных озерах заповедника высота отобранного керна была 20-26 см. Седимент по всей его длине представлял маслянистый ил. В Гудронных озерах 1 и 3 черного цвета, в оз. Гудронное 2 от поверхности до 5 см – черного с зеленым отливом, далее черный. В Стрельных озерах высота отобранного керна составила 12-14 см. Мощность иловых отложе-

ний меньше: в оз. Стрельное 5 – до 5 см, в озерах Стрельное 7 и 8 – до 8 см. Ниже грунт был представлен глиной. Верхние 0-1,5 см донных отложений это черный ил (оз. Стрельное 5) или черный с зеленым отливом (оз. Стрельное 8 и 7). Далее до 5 см в оз. Стрельное 5 – ил от черного до серого цвета. До глубины 8 см в озере Стрельное 7 – ил от черного до черного с глиной, в оз. Стрельное 8 – от серо-черного до серого. Качество донных отложений озер национального парка более разнообразно. Высота керна изменялась от 7 до 34 см. Черные илы были в озерах Подгорское (с прослойкой черно-серого цвета на глубине 8-34 см в) и Серебрянка (соответственно 5-8). В оз. Б. Шелехметское до 3 см грунты представляли черный ил, который сменялся черно-серым илом с примесью песка до 5 см и далее серым песчаным илом. В озерах Клюквенное и М. Карстовое илы до 5 см имели серый цвет. Далее ил серо-коричневый с растительными остатками – в Клюквенном, илы серые с глиной – в оз. М. Карстовое. В оз. Золотянка грунты представлены заиленным серым песком.

Как показывают результаты определения пигментов в верхних 0-1,5 см осадка, исследованные озера отличаются высоким содержанием Хл. (табл. 5).

Таблица 5

Содержание хлорофилла «а» и феопигментов (Ф) в поверхностном слое осадка (0-1,5 см)

Водоемы	Хл., мкг/г с.о.		Ф, %	
	Среднее	Максимальное	Среднее	максимальное
Гудронное 2	6000 ± 546	7365 (VII, X)	76 ± 4,5	82 (VI)
Стрельное 5	1512 ± 365	2285 (VI, VII)	79 ± 3,6	96 (V)
Гудронное 1	1248 ± 104	1599 (VII)	83 ± 2,8	90 (X)
Стрельное 7	1082 ± 401	2077 (VII)	82 ± 1,5	86 (V)
Стрельное 8	953 ± 129	1458 (VII)	85 ± 1,7	91 (VIII)
Гудронное 3	764 ± 126	1195 (IX)	82 ± 1,5	84 (X)
Серебрянка*	377	560 (X)	72	78 (VII)
М. Карстовое*	137	239 (X)	75	80 (VII)
Подгорское**	-	909 (VII)	-	67 (VII)
Клюквенное**	-	905 (VII)	-	85 (VII)
Б. Шелехметское**	-	134 (VII)	-	57 (VII)
Золотенка**	-	79 (VII)	-	85 (VII)
Харовое*	-	98 (X)	-	74 (X)

Примечание. Пробы отбирались: * – в мае, июле и октябре, ** – в июле, в других озерах – в мае-октябре.

При сопоставлении данных синхронного определения Хл. в осадке и в sestone озер в июле, между ними наблюдается прямая зависимость (рис. 4). Эту закономерность подтверждают и результаты изучения сезонной динамики содержания Хл. в водной массе озер и в верхних 0-1,5 см донных отложений (рис. 5). Большая часть захороненных в осадках пигментов находится в деградированном состоянии: по средним данным доля феопигментов от суммы с Хл. составляет от 76 до 85% (табл. 6, рис. 5). При этом вариабельность феопигментов в осадках ниже, чем в водной массе Коэффициент вариации составил 2-27%.

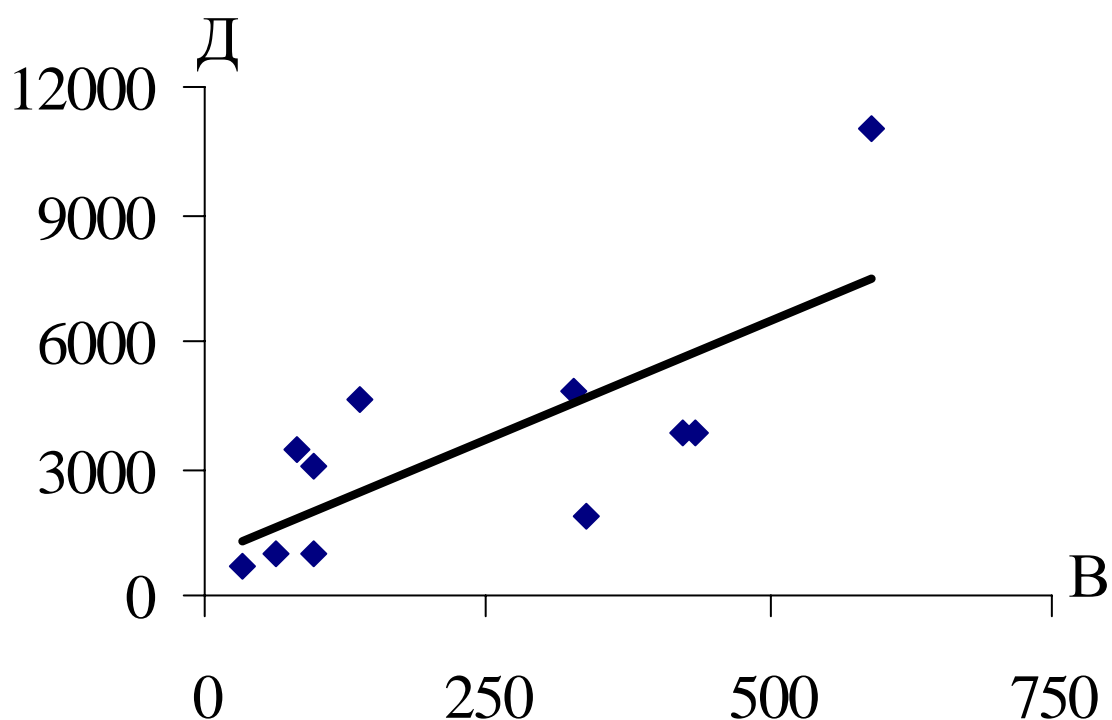


Рис. 4. Зависимость содержания Хл в поверхностном слое (0-1,5 см) донных отложений (Д, мг/м²) от его содержания в сестоне (В, мг/м²)

Таблица 6

Среднее содержание хлорофилла (Хл.) и феопигментов в разных слоях донных отложений в озерах Жигулевского заповедника

Слой осадка, см	Озера					
	Гудронные			Стрельные		
	1	2	3	5	7	8
	Хл., мкг/г с.о.					
0-1,5	1248±104	6000±546	764±126	1512±365	1082±401	953±129
1,5-3,0	617±85	2915±479	319±97	333±59	299±111	334±31
3,0-5,0	165±33	1847±298	195±39	125±22	151±92	190±34
	Феопигменты, %					
0-1,5	83±2,8	76±4,5	82±1,3	79±3,6	82±1,5	85±1,7
1,5-3,0	68±7,0	61±7,5	79±4,8	82±3,4	80±1,4	85±2,0
3,0-5,0	67±5,1	53±5,6	72±4,2	81±1,0	78±1,7	87±2,2

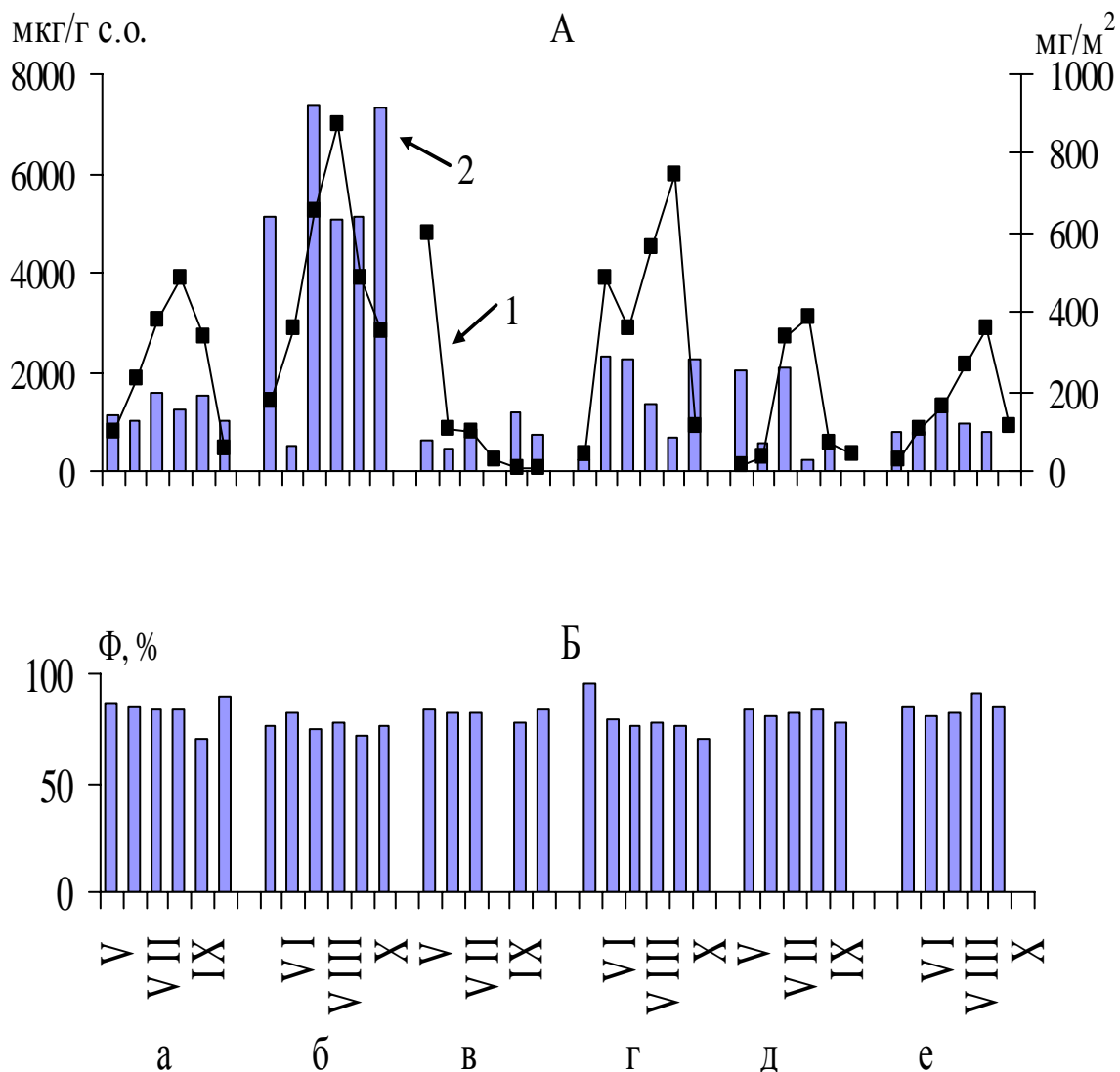


Рис. 5. Сезонная динамика содержания Хл. в воде (1, mg/m^2) и в верхних 0-1,5 см донных отложений (2, mcg/g c.o.) (А), доли феопигментов (Φ , %) от суммы с чистым хлорофиллом «а» в верхних 0-1,5 см осадка (Б) в озерах Жигулевского заповедника
Примечание. Озера: Гудронные 1 (а), 2 (б), 3 (в), Стрельные 5 (г), 7 (д) и 8 (е).

Наиболее высоким содержанием Хл. выделяются искусственные озера заповедника: Гудронные 1, 2, 3 и Стрельные 5, 6, 8, а также Клюквенное и Подгорское национального парка. Среднее содержание Хл. в поверхностном слое большинства озер, расположенных в заповеднике, изменялось от 1082 до 1512 mcg/g c.o. (табл. 6). Экстремально высокие величины были зарегистрированы в донных отложениях оз. Гудронное 2: среднее 6000 mcg/g c.o. , максимальное в июле 11047 mcg/g c.o. (рис. 5). В озерах Клюквенное и Подгорское в июле содержание Хл. в слое 01-1,5 см составило 905- 909 mcg/g c.o. (рис. 5). Меньше его количество в 0-1,5 см в июле было в карстовых озерах: Серебрянка – 559,7 mcg/g c.o. , М. Карстовое – 232 и в оз. Золотенка (79,1), а также в оз. Харовое – 48,9 mcg/g c.o. В оз. Шелехметское 134 mcg/g c.o.

Гудронные и Стрельные озера выделяются и по вертикальному распределению содержания Хл. (рис. 6). Его количество резко снижается на глубине, равной 5-8 см, до 27-70 mcg/g c.o. Ниже 5-8 см в Стрельных озерах иловые отложения сменяются

глиной. В Гудронных озерах на глубине 8-13 см появляется запах битума, в оз. Стрельное 8 – на глубине 5-8 см. По характеру изменения содержания Хл. в колонке грунта можно выделить также озера Клюквенное и Подгорское. Содержание Хл. в донных отложениях оз. Клюквенное оставалось выше 100 мкг/г с.о. до конца отобранной колонки грунта (до глубины 16-20 см). В оз. Подгорское – до слоя 8-13 см.

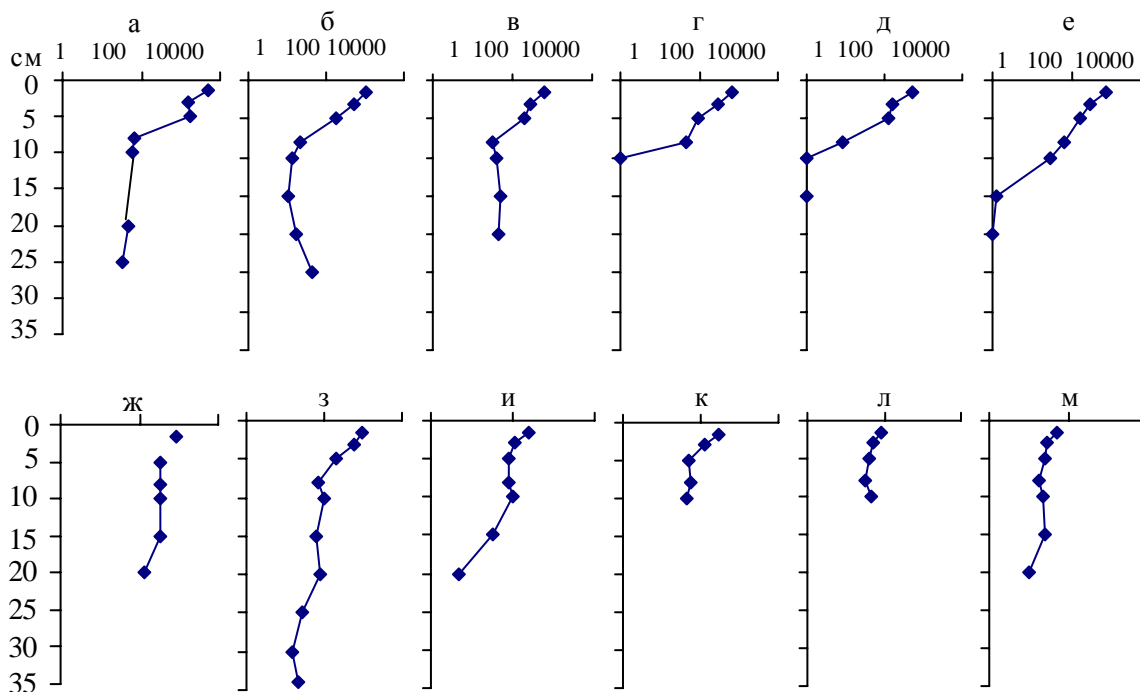


Рис. 6. Изменения содержания Хл. по вертикали в донных отложениях исследованных озер

По оси абсцисс – содержание Хл (мкг/г с.о.) в логарифмическом масштабе, по оси ординат высота керна в см. Озера Жигулевского заповедника: а – Гудронное 2 (2.05.2004), б – Гудронное 1 (12.05.2004), в – Гудронное 3 (12.09.2004), г – Стрельное 5 (13.09.2005), д – Стрельное 7 (13.09.2005), е – Стрельное 8 (13.09.2005). Озера национального парка: ж – оз. Клюквенное (10.07.2003), з – оз. Подгорское (11.07.2003), и – оз. М. Карстовое (15.10.2003), к – оз. Серебрянка (22.05.2003), л – оз. Золотянка (09.07.2003), м – оз. Харовое (22.05.2003).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования 19 малых озер Самарской Луки было показано, что среднее содержание хлорофилла «а» в поверхностном слое воды разных водоемов варьирует от 7,4 до 193,6 мг/м³ и увеличивается в условиях стратификации водных масс по температуре и насыщению воды кислородом до 15,0–341 мг/м³ к придонному горизонту. Среднее содержание хлорофилла «а» в верхнем слое (0-1,5 см) донных отложений искусственных озер заповедника изменялось от 764 до 6000 мкг/г с.о. В июле в озерах национального парка составляло 48,9-905 мкг/г с.о. Донные отложения озер отличались стабильно высоким содержанием феопигментов. В озерах заповедника в слое 0-1,5 см их доля от суммы с чистым хлорофиллом «а» составляла 70-96%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бульон В.В.** Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 151 с.
- Винберг Г.Г.** Первичная продукция водоемов. Минск, 1960. 329 с.
- Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы. Самара, СамНЦ, 2007. 200 с.
- Давыдова Н.Е., Трифонова И.С.** Диатомеи планктона и донных отложений и содержание хлорофилла в осадках двух разнотипных озер Карельского перешейка как показатели процесса эвтрофирования // Бот. журн. 1979. Т. 64, № 8. С. 1174-1183.
- Жариков В.В., Горбунов М.Ю., Уманская М.В. и др.** Экология сообществ бактерий и свободноживущих инфузорий малых водоемов Самарской Луки. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. 193 с.
- Минеева Н.М.** Растительные пигменты в воде Волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.
- Номоконова В.И.** Седиментация фитопланктона и его содержание в донных отложениях // Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Л.: Наука, 1989. С. 237-249. -
- Номоконова В.И.** Закономерности первичной продукции фитопланктона Куйбышевского водохранилища: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1991. 24 с. – **Номоконова В.И.** Трофическое состояние озер Самарской Луки // Первичная продукция водных экосистем. Материалы междунар. конф. Борок, Россия. Ярославль, 2004. С. 74-75. – **Номоконова В.И.** Содержание хлорофилла «а» и биогенных элементов в малых водоемах бассейна Нижней Волги // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. Сб. науч. работ по материалам докладов на Междунар. Конф. «Водная экология на заре XXI в.», посвящ. 100-летию со дня рожд. Проф. Г.Г. Винберга. КМК, Москва, 2006. С. 19-29. – **Номоконова В.И.** Гидрохимический режим и трофическое состояние озер Самарской Луки и сопредельной территории // Изв. Самар. НЦ РАН. №1, Т. 11. 2009. С. 155-164.
- Номоконова В.И., Горохова О.Г., Романова Е.П. и др.** Озера в урочище Гудронный // Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы. Самара, СамНЦ, 2007а. С. 157-162. – **Номоконова В.И., Горохова О.Г., Саксонов С.В., Конева Н.В.** Озера на плато в районе горы Стрельной // Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы. Самара, СамНЦ, 2007б. С. 163-165. – **Паутова В.Н.** Лимнологические исследования в юго-восточной части Самарской Луки. Положение в ландшафте, гидрологические и гидрохимические особенности водоемов. // Изв. Самар. НЦ РАН. 2001. Т. 3, № 2. С. 265-274. – **Паутова В.Н., Номоконова В.И.** Продуктивность фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Тольятти. 1994. 188 с. – **Паутова В.Н., Номоконова В.И.** Динамика содержания хлорофилла "а" в фитопланктоне Куйбышевского водохранилища // Гидробиолог. журн. 2002. Т. 38, № 6. С. 3-9. – **Паутова В.Н., Иватин А.В., Номоконова В.И.** Соотношение между первичной продукцией и деструкцией органического вещества // Продуктивность фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Тольятти. 1994. С. 137-149.
- Поспелов А.П., Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Поспелова М.Д.** Характеристика гидрохимического режима водоемов Самарской Луки // Изв. Самар. НЦ РАН. 2000. Т. 2, № 2. С. 216-223.
- Розенберг Г.С., Паутова В.Н., Поспелов А.П. и др.** Комплексная характеристика некоторых водоемов юго-восточной части национального парка «Самарская Лука» // Бюлл. «Самарская Лука», 2006. № 18. С. 38-96.
- Уманская М.В., Горбунов М.Ю., Быкова С.В. и др.** Общая характеристика некоторых водоемов Самарской Луки // Заповедное дело России: принципы, проблемы, приоритеты: Материалы междунар. науч. конф., посвящ. 75-летию Жигулевского гос. природного заповедника им. И.И. Спрыгина. Бахилова Поляна, 2003. Т. 1. С. 72-76.
- Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Л.: Наука. 1989. 304 с.

Adams M. S., Prentki R.T. Sedimentary pigments as index of the trophic status of Lake Mend. *Hydrobiologia*. 1986. № 143. P. 71-77.

Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A. Plant pigment ratios from lake sediments as indicators of recent acidification in alpine lakes. *Limnol. Oceanogr*, 1992. 37(7). P 1565-1569. – **Guilizzoni P., Bonomi G., Galanti G., Ruggiu D.** Relationship between sedimentary pigments and primary production: evidence from core analyses of twelve Italian lakes. *Hydrobiologia*. 1983. 103. P. 103-106. – **Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A., Appleby P.G., Alvisi F.** Fourteen years of palaeolimnological research of a past industrial polluted lake (L. Orta, Northern Italy): an overview. *J. Limnol.*, 2001. V. 60 (2). P. 249-262.

Czeczuga B. Quantitative changes in sedimentary chlorophyll in the bed sediment of lake Mikolajki during the post-glacial period // *Schweiz. Z. Hydrol.*, 1965. 27. P. 88-98.

Lami A., Guilizzoni P., Marchetto A. High resolution analysis of fossil pigments, carbon, nitrogen and sulphur in the sediment of eight European Alpine lakes: the MOLAR project. *J. Limnol.*, 2000. 59 (suppl. 1). P. 15-28. – **Lorenzen C.J.** Determination of chlorophyll and pheopigments: Spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr*. 1967. V. 12. P. 343-346.

Nalepa T. F., Quigley M.A. Distribution of photosynthetic pigments in nearshore sediments of lake Michigan. *J. Great Lakes Res.* (International association for Great Lakes research). 1987. 13 (1). P. 37-42.

Pardue J., Kesler D.H., Dabiezies J., Prufert L. Phosphorus and chlorophyll degradation product profiles in sediment from Reelfoot lake, Tennessee. *Journal of the Tennessee Academy of Science*. 1986. V. 61. №. 2. P. 46-49.

Sanger J.E., Gorham E. The diversity of pigments in lake sediments and its ecological significance. *Limnol. Oceanogr*. 1970, V. 15 (1). P. 59-69. – **Sanger J.E., Gorham E.** Stratigraphy of fossil pigments as a guide to the post glacial history of Kirchner Marsh, Minnesota. *Limnol. Oceanogr*. 1972. V. 17. P. 840-854. – **SCOR - UNESCO Working group N 17.** Determination of photosynthetic pigments in sea water // *Monographs on oceanographic methodology*. Paris. UNESCO: 1966. P. 9-18. – **Swain E.B.** Measurements interpretation of sedimentary pigments. *Frashwat. Baiol*. 1985. 15. P. 53-75.

Vallentyne J.R. Epiphasic carotenoids in post-glacial lake sediments. *Limnol. Oceanogr*, 1956. V. 1 (4). P. 252-262.