

*А.В. Гончаров, К.М. Абдуллаева*

**ОСОБЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА МОСКВОРЕЦКИХ  
ВОДОХРАНИЛИЩ В СВЯЗИ С ИХ ГЛУБОКОВОДНОСТЬЮ  
И ИЗМЕНЕНИЕМ УРОВНЯ ВОДЫ**

*A. V. Goncharov, K. M. Abdullayeva*

**FEATURES OF PHYTOPLANKTON OF MOSKVORECKIE RESERVOIRS  
IN CONNECTION WITH THEIR DEPTH AND WATER LEVEL CHANGE**

*Анализ многолетних материалов показал, что различия в продуктивности Москворецких водохранилищ — Истринского, Можайского, Озернинского, Рузского — может быть следствием различий их глубоководности. Данная связь реализуется через воздействие биогенных элементов, вынос которых из придонных слоев к поверхности водоема легче происходит при низком уровне воды, чем при высоком.*

*Ключевые слова: уровень воды, глубоководность, биологическая продуктивность, фитопланктон, биогенные элементы, москворецкие водохранилища.*

*Analysis of long-term materials showed that differences in productivity of Moskvoreckie reservoirs — Istra, Mozhaisky, Ozerninsky, Ruzsky — may be due to differences in their deep-water nature. This connection is realized through the influence of biogenic elements, removal from near-bottom layers to the surface easier occurs at the lowest level of water than high.*

*Key words: level of water, deep water, biological productivity, phytoplankton, biogenic elements, Moskvoreckie reservoirs.*

Уровень воды в водоемах и параметры глубоководности могут оказывать значительное влияние на их биопродукционные характеристики: «в одинаковых климатических условиях существенные различия в биотической части экосистем как раз и объясняются особенностями строения озерных систем» [3]. Изучение этого вопроса имеет важное значение для водохранилищ, в которых уровень и морфометрические параметры можно регулировать, а перед строительством — и проектировать.

Москворецкие водохранилища (Истринское, Можайское, Озернинское, Рузское) являются крупным источником водоснабжения г. Москвы. Это — высокопродуктивные водоемы, в которых массовое развитие фитопланктона может приводить к «цветению» воды, снижению концентрации растворенного в воде кислорода, появлению неприятного запаха — и к другим неблагоприятным последствиям. Рассматриваемые водоемы различаются между собой по степени и характеру развития фитопланктона; на рис. 1 приведены графики, построенные по данным «Мосводоканала». Наибольшей биомассой фитопланктона характеризуется Истринское водохранилище, затем идет Озернинское водохранилище, Рузское и Можайское (рис. 1а). В этом же порядке в планктоне снижается доля сине-зеленых водорослей и увеличивается процент диатомовых.

Обращает на себя внимание тесная связь между биомассой фитопланктона водохранилищ и коэффициентом их относительной глубоководности (рис. 1б); этот коэффициент предложен Д. Хатчинсоном [4] и представляет собой отношение средней глубины к средней ширине водоема, выраженное в промилле. Большая величина коэффициента относительной глубоководности свидетельствует об устойчивой термической стратификации водной массы водохранилища в летний период. При этом перемешиваемость водной массы и обогащение фотического слоя биогенными элементами из придонных слоев — затруднены. Дефицит биогенных элементов влечет за собой снижение первичной продукции и биомассы фитопланктона. Однако весной происходит активная конвективная циркуляция, водные массы насыщаются биогенными элементами и продукционные различия между водохранилищами стираются.

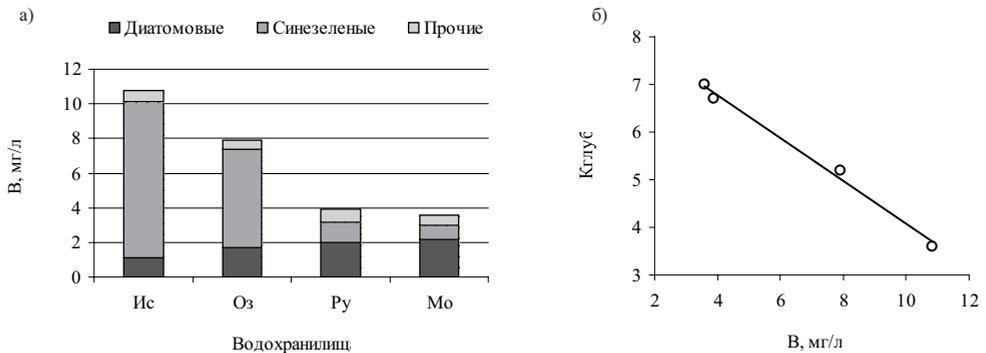


Рис. 1. Средние за вегетационный сезон значения биомассы фитопланктона (проведено осреднение по всем районам водохранилищ за апрель-октябрь 2002–2007 гг.), мг/л (а); связь между биомассой фитопланктона и коэффициентом глубоководности московских водохранилищ (б)

Характер сезонных изменений фитопланктона в московских водохранилищах сходен (рис. 2). После весеннего прогрева и перемешивания водной массы (выносящего биогенные элементы к поверхности) происходит бурное развитие диатомовых водорослей. В это же время наблюдается массовое размножение дафний, которые питаются водорослями и в ходе фильтрования осветляют воду. В июне наступает фаза «чистой воды», когда концентрация фитопланктона сильно снижается. Вслед за этим уменьшается и количество дафний, которые к тому же потребляются появившимися к этому времени мальками рыб и хищными беспозвоночными. В середине лета происходит новый подъем численности фитопланктона; однако преобладают в это время уже не диатомовые, а другие — сине-зеленые, а также динофитовые водоросли. Они устойчивы к выеданию беспозвоночными, т.к. имеют крупные размеры, либо образуют массивные колонии, недоступные для потребления фильтраторами. Кроме того, эти водоросли могут перемещаться по вертикали вниз и вверх и выбирать, таким образом, наиболее благоприятные условия с точки зрения освещенности и содержания биогенных элементов. Это очень важно, учитывая то, что в летнее время обычно наблюдается

дефицит биогенных элементов. В условиях недостатка в воде нитратов и аммония, сине-зеленые могут использовать атмосферный азот, осуществляя азотфиксацию.

На рис. 2 видны различия между Рузским и Истринским водохранилищами. В более продуктивном Истринском водохранилище основная часть биомассы фитопланктона создается летом сине-зелеными водорослями, для которых биогенных элементов, по-видимому, достаточно. Фосфор и азот в этом сравнительно мелководном водоеме могут поступать из придонных слоев к поверхности во время ветрового перемешивания летом. В Рузском водохранилище основная часть фитопланктона создается весной — после конвективного перемешивания водной массы. Летом фитопланктона здесь значительно меньше — по-видимому, сказывается недостаток биогенов, поступление которых из придонных слоев к поверхности затруднено вследствие большей глубоководности водохранилища.

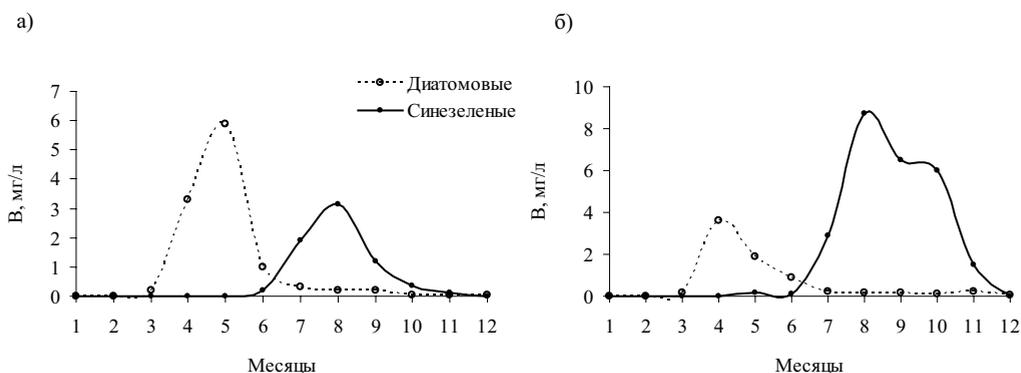


Рис. 2. Сезонные изменения фитопланктона в приплотинной зоне Рузского (а) и Истринского (б) водохранилищ (среднее за 2002–2007 гг.)

В московских водохранилищах довольно существенны межгодовые изменения биомассы фитопланктона. Для выяснения причин этого явления были подсчитаны коэффициенты корреляции между биомассой фитопланктона и некоторыми гидролого-гидрохимическими показателями (по данным ОАО «Мосводоканал»), которые могут рассматриваться в качестве влияющих факторов. В табл. 1–3 содержатся результаты расчетов, произведенных как по средним многолетним данным, так и по среднемесячным (за 1984–2012 гг.; а по Истринскому водохранилищу — за 1990–2012 гг.). Коэффициенты корреляции достоверны (при уровне значимости 0,05) начиная со значений  $r = 0,35$  (а по Истринскому водохранилищу — с  $r = 0,4$ ). В расчетах представлены приплотинные (нижние) районы водохранилищ, а для Можайского и Истринского водохранилищ кроме того — средние участки (у поселков Красновидово и Рождествено). Температура для расчетов использована из двух источников:  $T_{\text{воды}}$  — температура воды в Можайском водохранилище (на водомерном посту в пос. Красновидово — измеряется 2 раза в день),  $T_{\text{возд}}$  — температура воздуха по данным метеостанции «Можайск». Общий фосфор не измерялся, имеются только данные по фосфатам.

В табл. 1 подсчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между биомассой фитопланктона и гидролого-гидрохимическими параметрами водохранилищ — по средним за вегетационные периоды значениям (5–9 мес). Проявляется довольно существенная обратная связь биомассы фитопланктона с уровнем и объемом заполнения водохранилищ; особенно это характерно для приплотинных участков Озернинского ( $r = -0,78$ ), Рузского  $r = -0,73$ , Можайского  $r = -0,54$  водохранилищ. Связь с температурой очень слабая, за исключением Истринского водохранилища ( $r = 0,54$ ).

Таблица 1

**Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между биомассой фитопланктона и гидролого-гидрохимическими параметрами водохранилищ — по средним за вегетационные периоды значениям (5–9 мес)**

	Оз_Приплот	Ру_припл	Мож_Приплот	Мож_Средн	Ис_Приплот	Ис_Средн
Год	-0,09	0,19	-0,07	-0,04	0,44	0,23
Тводь	0,08	0,04	0,11	0,08	0,48	0
Твезд	0,1	0,07	0,1	0,05	0,54	0,42
Уровни ВБ	-0,54	-0,67	-0,12	-0,26	-0,27	-0,27
Объем заполнения	-0,78	-0,73	-0,54	-0,5	-0,12	-0,27
PO <sub>4</sub>	-0,06	-0,14	0,26	-0,26	0,11	-0,07
NO <sub>3</sub> (N)	0,09	-0,15	-0,35	0,28	-0,06	-0,2
Мутн	0,63	-0,02	0,03	0,39	0,02	0,48

Обратную связь развития фитопланктона с уровнем водохранилища можно объяснить следующим образом. В жаркое сухое лето с низким уровнем, в водохранилище обычно выше температура придонного слоя воды. Вследствие этого, а также из-за малой глубины, складывается определенная цепь причинно-следственных связей. Более интенсивный удельный поток детрита в гипolimнион приводит к быстрому поглощению кислорода при разложении органического вещества. Возникновение резкого дефицита кислорода в придонных слоях стимулирует регенерацию биогенных веществ из донных отложений. В результате увеличивается внутренняя биогенная нагрузка. В этих условиях, на фоне малого притока биогенных веществ с водосбора, даже короткое штормовое перемешивание слоев приводит к быстрому обогащению прогретого эпилимниона биогенными веществами и наблюдается интенсивное развитие фитопланктона, иногда в виде резких вспышек цветения. В многоводные годы с высоким уровнем водохранилища эти процессы протекают гораздо менее интенсивно и развитие фитопланктона происходит более плавно, не достигая высоких величин [1].

В весеннее время связь биомассы фитопланктона с уровнем и объемом заполнения водохранилищ, как правило, снижается — табл. 2. Это можно объяснить тем, что весной водоросли, как правило, не испытывают дефицита биогенных элементов и дополнительное их поступление, связанное с пониженным уровнем, не требуется. Исключение составляет Можайское водохранилище, для которого коэффициенты корреляции с уровнем и объемом заполнения водохранилища составили  $-0,57$  и  $-0,73$ .

По-видимому, здесь играют роль какие-то гидролого-морфометрические характеристики водоема, которые мы не учитываем.

В табл. 2 видно, что между биомассой диатомовых водорослей в мае и порядковым номером года имеется прямая связь; то есть биомасса водорослей возрастает со временем. Кроме того весной прослеживается положительная связь фитопланктона с температурой. Ранее, рассматривая аналогичное явление на примере Можайского водохранилища [2], мы высказывали мнение, что оно может быть вызвано потеплением климата.

*Таблица 2*

**Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между биомассой диатомовых водорослей и гидролого-гидрохимическими параметрами водохранилищ — по средним за май значениям**

	Оз_Приплот	Ру_припл	Мож_Приплот	Мож_Средн	Ис_приплот	Ис_Средн
Год	0,53	0,54	0,66	0,56	0,68	0,29
Тводы	0,45	0,33	0,26	0,15	0,07	-0,14
Твозд	0,43	0,36	0,21	0,04	0,18	-0,18
Уровни ВБ (м)	-0,1	-0,2	-0,57	-0,3	0,31	-0,32
Объем заполнения	0	-0,18	-0,73	-0,16	0,48	-0,32
PO <sub>4</sub>	-0,22	-0,47	-0,31	-0,4	-0,04	-0,13
NO <sub>3</sub> (N)	0,28	0,1	-0,07	-0,14	-0,19	0,9
Мутн	-0,09	-0,22	-0,2	-0,68	0,48	0,77

В табл. 3 оценивается связь сине-зеленых водорослей с различными гидролого-гидрохимическими параметрами летом. Видно, что в это время на первый план выходит роль уровня воды (объема заполнения водохранилища). Как упоминалось выше, летом водоросли обычно испытывают дефицит биогенных элементов и дополнительное их поступление из придонных слоев к поверхности при низком уровне, способствует возрастанию биомассы.

*Таблица 3*

**Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между биомассой сине-зеленых водорослей и гидролого-гидрохимическими параметрами водохранилищ — в июле**

	Оз_Приплот	Ру_припл	Мож_Приплот	Мож_Средн	Ис_приплот	Ис_Средн
Год	-0,13	-0,01	0,09	0,16	0,13	0,07
Тводы	-0,1	-0,02	-0,08	0,21	0,24	-0,27
Твозд	-0,13	-0,12	-0,23	0,06	0,26	-0,23
Уровни ВБ (м)	-0,63	-0,57	-0,05	-0,31	-0,38	-0,58
Объем заполнения	-0,89	-0,47	-0,28	-0,44	-0,37	-0,58
PO <sub>4</sub>	0,32	0,49	0,3	-0,05	-0,06	0,17
NO <sub>3</sub> (N)	0,26	-0,12	-0,38	0,03	0,42	0,6
Мутн	0,69	0,45	0,42	0,39	0,46	0,76

В то же время исчезают характерные для предыдущей таблицы связи фитопланктона с годами наблюдения и с температурой. То есть количество сине-зеленых водорослей не возрастает со временем, как это характерно для диатомовых весной. По-видимому, дефицит биогенных элементов летом не позволяет проявиться температурному фактору; кроме того, как известно, наибольший температурный тренд приходится на зимне-весенний период [2].

### **Выводы**

Разница в продуктивности и биомассе фитопланктона Москворецких водохранилищ может быть следствием различий их глубоководности. Данная связь реализуется через воздействие биогенных элементов, вынос которых из придонных слоев к поверхности затруднен в водоемах с большим коэффициентом относительной глубоководности.

Влияние уровня воды на развитие фитопланктона проявляется на протяжении значительной части вегетационного сезона, когда фитопланктон лимитирован биогенными элементами.

В период весеннего перемешивания водной массы, когда биогенных элементов достаточно много, значение уровня воды, как фактора развития фитопланктона, снижается. В это время повышается роль температуры воды; наблюдается многолетний тренд увеличения биомассы диатомовых водорослей в мае, который, по всей вероятности, обусловлен потеплением климата.

### **Литература**

1. *Гончаров А.В., Даценко Ю.С.* Зависимость степени развития фитопланктона от уровня воды в москворецких водохранилищах. // Актуальные проблемы водохранилищ. Всероссийская конференция с участием специалистов из стран ближнего и дальнего зарубежья. 29 октября — 3 ноября 2002 г., Борок, Россия: Тез. докл. — Ярославль, 2002, с. 63–64.
2. *Гречушников М.Г., Гончаров А.В., Калашикова Е.Г., Белов А.Ю.* Многолетние изменения гидротермического режима и характера развития фитопланктона в Можайском водохранилище. // Вестник Московского университета, 2002, сер. V, География, №3, с. 22–25.
3. *Догановский А.М.* Уровенный режим озер — интегральный показатель климатических и экологических изменений. // Общество. Среда. Развитие (Тerra Humana), 2007, вып. 1, с. 103–110.
4. *Хатчинсон Д.* Лимнология. — М.: Прогресс, 1969. — 592 с.