

Ostroumov S.A. 2003c. Anthropogenic effects on the biota: towards a new system of principles and criteria for analysis of ecological hazards // Rivista di Biologia. Biology Forum. **96**. N 1. 159—169.

Ostroumov S.A., Dodson S., Hamilton D., Peterson S., Wetzel R.G. 2003. Medium-term and long-term priorities in ecological studies // Rivista di Biologia. Biology Forum. **96**. 327—332

Park C. 2001. Environment. London; N.Y. 660 p.

Varney M. 1996. The marine carbonate system // Oceanography / Eds. C. Summerhayes, S. Thorpe. London. P. 182—194.

Vellinga P., van Verseveld W.J. 2000. Climate change and extreme weather events. Gland. 46 p.

Wetzel R.G. 2001. Limnology: Lake and River Ecosystems. San Diego. 1006 pp.

Yablokov A.V., Ostroumov S.A. 1991. Conservation of Living Nature and Resources: Problems, Trends, Prospects. Berlin; N.Y. 272 p.

Поступила в редакцию
5.03.04

**SEARCHING APPROACHES TO SOLVING THE PROBLEM
OF GLOBAL CHANGE: ELEMENTS OF THE THEORY
OF THE BIOTIC-ECOSYSTEM MECHANISMS OF THE REGULATION
AND STABILIZATION OF PARAMETERS OF THE BIOSPHERE,
GEOCHEMICAL AND GEOLOGICAL ENVIRONMENT**

Ostroumov S.A.

The paper revisits the role of the biota (living organisms, the sum of ecological and hydrobiological factors) in the regulation and stabilization of parameters of the biosphere, geophysical and geochemical processes and, as a result, in the preventing the extreme weather events and global change of the climate system. The shortlist of the seven most important functions of biota in doing so is formulated and commented. Some elements of the theory of the apparatus of the biosphere are given.

УДК 551.481:581.526.325

**ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ, СТРУКТУРЫ
И ПРОДУКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА
УЧИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 1998—2001 гг.**

М.Н. Корсак, С.А. Мошаров, Г.А. Даллакян, А.Ю. Белов

(кафедра гидробиологии)

Планктон сформировавшихся водохранилищ состоит из гетеротрофного (бактерии, инфузории, коловратки и ракообразные) и автотрофного компонентов. Определяющая роль в общей сбалансированности процессов синтеза и разрушения органического вещества, создаваемого в водоеме, которая в конечном итоге и определяет его экологическое состояние, принадлежит автотрофным организмам, диатомовым, зеленым и перидиниевым водорослям, а также цианобактериям. В водохранилищах с невысоким коэффициентом водооб-

мена весной и в первой половине лета в составе фитопланктона доминируют диатомовые водоросли, которые в середине июня—июле вытесняются синезелеными (Константинов, 1979). Изучение особенностей динамики планктонного сообщества Учинского водохранилища со времени его создания в 1936 г. и до настоящего времени проводилось лишь эпизодически (Учинское..., 1963; Накани, Корсак, 1976; Потапова, 1976; Даллакян и др., 2001). Целью данной работы было выявление характерных повторяющихся количественных и ка-

чественных показателей сезонной сукцессии фитопланктонного сообщества в водохранилище на фоне сезонной динамики первичной продукции органического вещества.

Материалы и методы

Измерение первичной продукции проводили в течение вегетационных периодов в 1998—2001 гг., используя радиоуглеродную модификацию скляночного метода (Накани, Корсак, 1976). Пробы воды отбирали из поверхностного слоя (0,5 м) в двух точках: на входе в водохранилище (ст. Пестово) и на выходе из него (ст. Листвянка). Экспериментальные склянки с водой экспонировали в течение 24 ч *in situ* в поверхностном слое водоема. Фильтрацию и обработку проб проводили в соответствии с общепринятой методикой (Романенко, Кузнецов, 1974). Прочет препаратов и определение исходной активности раствора выполнены на сцинтилляционном счетчике Mark II с использованием сцинтилляторов ЖС-106 и ЖС-8.

Интегральную первичную продукцию для всего эвфотического слоя (под 1 м²) рассчитывали, используя уравнение регрессии, полученное нами для Учинского водохранилища ранее (Накани, Корсак, 1976):

$$P_g = 3,3 + 1,8 P_{0,5},$$

где P_g — интегральная продукция, мг С/м² · сут, $P_{0,5}$ — продукция в поверхностном слое 0,5 м, мг С/м³ · сут.

Анализ сезонной динамики гидрохимических показателей и общей численности микроводорослей, включая основные группы фитопланктона (диатомовые, зеленые, синезеленые и прочие водоросли), проводили по данным, полученным в лаборатории Акуловского гидроузла.

Результаты

Пестово. Доминирующей группой в фитопланктонном сообществе (до 90% от общей численности) в весенне-летний период (в мае—июне) были диатомовые (роды *Stephanodiscus*, *Asterionella*). Максимум весеннего “цветения” фитопланктона в период наших исследований обычно наблюдался в начале мая и достигал величин 8—16 млн кл/л. В 2000 г. весеннее “цветение” диатомовых (до 90 млн кл/л) отмечалось в конце апреля—середине мая. В июне—июле численность водорослей в водоеме оставалась на уровне 0,5—5 млн кл/л. В середине июля было отмечено резкое увеличение численности фитопланктона (до 45 млн кл/л) с последующим снижением через несколько дней до 10—12 млн кл/л. Летний максимум фитопланктона был обусловлен

массовым развитием синезеленых (роды *Microcystis*, *Anabaena*), доля которых в сообществе достигала 64%. В отдельные годы в позднелетний период наряду с синезелеными высокую численность составляли и зеленые водоросли. Так, в августе 1998 г. доля этих групп в фитопланктоне составляла 47%. Необычным был 2000 г., когда в конце июля доминировали зеленые водоросли (65%), а затем в течение всего августа диатомовые (68—79%). В конце вегетационного периода (октябрь) численность фитопланктона составляла 0,5 млн кл/л.

Листвянка. Весеннее “цветение” фитопланктона в районе ст. Листвянка начиналось в начале мая и продолжалось обычно до конца месяца. Общая численность водорослей в этот период достигала 25 млн кл/л (в 2001 г. — до 8 млн кл/л) и к концу месяца снижалась до 0,5 млн кл/л. Основу фитопланктона в весенний период (май) составляли диатомовые водоросли (87—93% от общей численности), преимущественно рода *Stephanodiscus*. В летний период численность фитопланктона снижалась до 0,1—0,5 млн кл/л. Синезеленые (род *Microcystis*) появлялись в фитопланктоне в середине июля и занимали доминирующее положение, обуславливая летние пики численности фитопланктона (10—104 млн кл/л в разные годы). В летне-осенний период доля синезеленых в фитопланктоне обычно составляла 60—97% общей численности, достигая максимума (99%) в период летнего пика численности. В 2000 г. летнее доминирование этой группы было не столь выражено. Так, доля синезеленых в августе варьировала от 65 до 50%, а диатомовые составляли от 35 до 50%. Осенний фитопланктон характеризовался невысокими количественными показателями, и к концу октября численность снижалась до 0,1—0,3 млн кл/л. Биологической осенью состав фитопланктона в разные годы значительно варьировал: в 1998 и 2001 гг. основной вклад в общую численность вносили только зеленые и диатомовые водоросли, а в 1999 и 2000 гг. синезеленые оставались доминирующей группой до ноября.

Обсуждение

Анализ динамики численности основных групп фитопланктона в течение четырех лет позволил выделить ряд существенных признаков сезонной сукцессии в Учинском водохранилище.

В составе фитопланктона Учинского водохранилища наиболее значимую роль в сезонной сукцессии играют диатомовые водоросли и синезеленые, которые и обуславливают основные сезонные максимумы численности (рис. 1). Гораздо меньшая роль принадлежит группе зеленых и перидиниевых водорослей. В отличие от этих групп, актив-

ные клетки синезеленых обнаруживались только в летне-осенний период.

В течение вегетационного сезона обычно наблюдалось несколько сезонных “вспышек” численности водорослей. Весенние пики были приурочены к первой декаде мая и были вызваны массовым развитием диатомовых водорослей (роды *Stephanodiscus*, *Asterionella*, *Melosira*), составлявших до 90% общей численности фитопланктона. В меньшем количестве были представлены зеленые и другие водоросли. В разные годы наблюдались один либо два весенних пика и их продолжительность варьировала от недели до 10 дней. Начало весеннего цветения водоема обуславливают диатомовые родов *Melosira*, *Fragilaria* и *Synedra*. Зеленые и синезеленые водоросли появляются в планктоне позже, чем диатомовые (Константинов, 1979), поскольку для их оптимального развития необходима более высокая температура.

По окончании весеннего периода в фитопланктоне появляются синезеленые и в большинстве случаев за короткий период резко увеличивают свою численность, становясь доминирующей группой в фитопланктонном сообществе (рис. 1). За рассматриваемый четырехлетний период 1998—2001 гг. в районе ст. Пестово появление этой группы водорослей было приурочено к середине июня. В последующие две-три недели состав фитопланктона был достаточно разнообразным при отсутствии ярко выраженной доминирующей группы. Бурное размножение синезеленых (роды *Microcystis*, *Anabaena*) (более 65% от общей численности) происходило в период с 5 по 13 июля. Продолжительность периодов доминирования синезеленых в разные годы значительно варьировало. Так, в 1999 и 2001 гг. в течение трех месяцев (с июля по сентябрь) значительная часть фитопланктона была представлена синезелеными (75—95%). В 1998 и 2000 гг. периоды доминирования одной из групп (синезеленых, диатомовых или зеленых) чередовались на протяжении летне-осеннего периода. Наблюдавшиеся в летний период “вспышки” численности были обусловлены массовым развитием синезеленых, доля которых возрастала до 98%.

В районе ст. Листвянка синезеленые появляются в составе фитопланктона в конце июня—начале июля (19 июня—12 июля в 1998—2001 гг.). Практически сразу эта группа становится доминирующей и формирует один или несколько летних пиков численности с конца июля до конца августа. Численность диатомовых в этот период существенно снижается, хотя их доля в общей численности фитопланктона периодически повышается до значимых величин (47—75%). Период доминирования синезеленых в 1998, 1999 и 2001 гг. продолжался с августа по октябрь включительно. С конца сентября до конца октября фитопланктонное сообщество характеризовалось невысокими значениями численности при доминировании диатомовых (60—85%). В 2000 г. период доминирования синезеленых был наиболее коротким за рассматриваемый четырехлетний период (один месяц — август) и доля этой группы была ниже, чем в аналогичные периоды других лет, составляя 50—65%. Однако значительное присутствие синезеленых (28—36%) в фитопланктоне отмечалось вплоть до начала ноября.

Таким образом, в разных районах водохранилища сезонная динамика численности фитопланктона и смена доминирующих групп водорослей имели сходный характер.

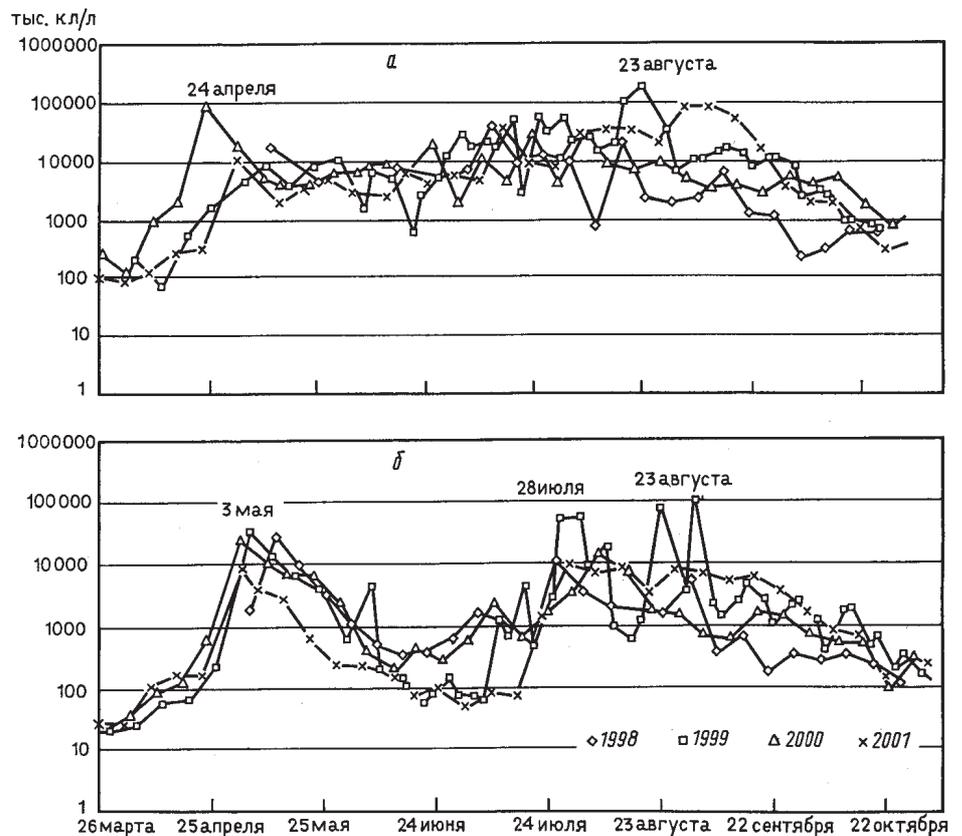


Рис. 1. Сезонная динамика численности фитопланктона Учинского водохранилища в 1998—2001 гг.: а — в районе входа вод в водохранилище (ст. Пестово); б — в районе водозабора (ст. Листвянка)

Интересно отметить следующий факт. В течение вегетационного периода относительная численность диатомовых водорослей варьировала в противофазе с колебаниями относительной численности синезеленых. Иначе говоря, в периоды повышения доли синезеленых снижалась относительная численность диатомовых.

Результаты анализа сезонной динамики общей численности фитопланктона за 4-летний период позволяют установить определенные закономерности развития сообщества в Учинском водохранилище (рис. 2). При достаточно сильных межгодовых вариациях численности в ходе сезонной сукцессии можно выделить четко выраженные периоды: весеннее “цветение” (май), летний минимум численности (июнь—середина июля), позднелетнее “цветение” (август—сентябрь), осеннее снижение численности (сентябрь—октябрь). В наибольшей степени данная сезонная периодичность в общей численности фитопланктона была выражена на ст. Листвянка, где обилие водорослей в течение вегетационного периода (в период “цветений” и между ними) изменялось на несколько порядков величин. В противоположном районе водохранилища (ст. Пестово) подобные вариации в течение сезона были не столь значительны, что обусловлено более высокой общей численностью фитопланктона в летний пе-

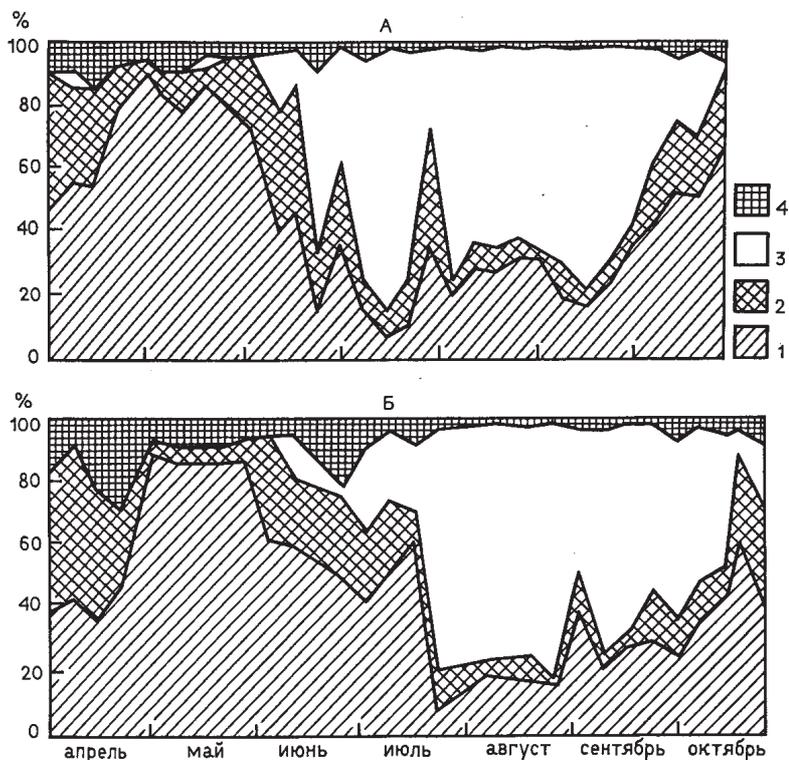


Рис. 2. Обобщенная сезонная динамика структуры доминирования фитопланктонного сообщества Учинского водохранилища в 1998–2001 гг.: А — в районе входа вод в водохранилище (ст. Пестово); Б — в районе водозабора (ст. Листвянка). Обозначения: 1 — диатомовые, 2 — зеленые, 3 — синезеленые, 4 — прочие

Таблица 1

Максимальные пики численности фитопланктона на ст. Пестово

Год	Весенний пик		Летний пик		Соотношение весеннего и летнего пиков
	дата	численность, млн кл/л	дата	численность, млн кл/л	
1998	12 мая	16	13 июля	42	2,6
1999	11 мая	10	23 августа	203	20
2000	24 апреля	91	7 августа	33	3
2001	3 мая	10	3 сентября	90	9

Примечание к табл. 1 и 2. Величины, выделенные жирным шрифтом, соответствуют максимальным из двух сезонных пиков численности фитопланктона (весенний и летний) для каждого года исследований.

риод. Общий уровень фитопланктона на входе вод в водохранилище (ст. Пестово) в течение всего вегетационного периода в целом был в несколько раз выше, чем на выходе вод (ст. Листвянка).

В районе впадения вод в водохранилище (ст. Пестово) даты начала “вспышек” численности в разные годы значительно варьировали (табл. 1), тогда как в противоположном районе водохранилища (ст. Листвянка) и весенний, и летний пики отмечались практически в одно и то же время (табл. 2). При этом величины этих пиков варьировали с определенной закономерностью — если в один год весенний пик был выше летнего, то в следующем году ситуация была обратной. Эта закономерность наблюдалась в обоих районах исследований, т.е. была характерна для всего водоема.

Как уже отмечалось в предыдущих наших исследованиях, в районе впадения вод в водохранилище (ст. Пестово) фитопланктон был более обилен, чем в районе выхода вод (ст. Листвянка) (Корсак и др., 2003). Межгодовые вариации величин максимальных сезонных пиков численности в районе ст. Пестово также были более значительными (табл. 1 и 2). Результаты анализа свидетельствуют о большей вариабельности условий среды обитания фитопланктона в районе впадения вод в водохранилище.

Результаты исследований сезонной динамики первичной продукции также свидетельствуют о более высоком уровне биологической активности фитопланктона в районе ст. Пестово. Используя вышеприведенное уравнение и результаты экспериментальных

Т а б л и ц а 2

Максимальные пики численности фитопланктона на ст. Листвянка

Год	Весенний пик		Летний пик		Соотношение весеннего и летнего пиков
	дата	численность, млн кл/л	дата	численность, млн кл/л	
1998	12 мая	27	27 июля	11	2,5
1999	5 мая	32	28 июля	56	1,75
2000	3 мая	24	7 августа	14	1,7
2001	3 мая	8	30 июля	10	1,25

определений первичной продукции в поверхностном слое, мы рассчитали продукцию органического вещества во всем слое фотосинтеза в двух точках водохранилища в период с 1998 по 2001 г. Учитывая периодичность развития фитопланктона Учинского водохранилища, описанную выше, были выполнены оценки интегральных величин первичной продукции в каждый из периодов сезонной сукцессии (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Интегральная первичная продукция для разных сезонов развития фитопланктона Учинского водохранилища в 1998–2001 гг. (г С/м²)

Сезонный период	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.
Пестово				
“биологическая весна” (май)	—	5,6	227,6	16,5
“биологическое лето” (июнь—июль)	31,2	10,3	340,6	—
“биологическая осень” (август—сентябрь)	25,6	16,6	66,4	26,0
Листвянка				
“биологическая весна” (май)	—	1,1	55,4	3,8
“биологическое лето” (июнь—июль)	1,8	0,3	31,3	13,3
“биологическая осень” (август—сентябрь)	5,0	3,7	16,3	10,4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Даллакян Г.А., Корсак М.Н., Мошаров С.А. 2001. Динамика первичной продукции Учинского водохранилища в летний период 1998 года // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. № 1. 42–43.
 Константинов А.С. Общая гидробиология. 1979. М. 480 с.

Уровень первичной продукции в период исследований варьировал от года к году в значительной степени (табл. 3). Количество новообразованного за вегетационный период органического вещества в районе ст. Пестово было в несколько раз больше, чем на ст. Листвянка. При этом очевидна сопряженность величин первичной продукции по годам между двумя точками. За четырехлетний период максимальное количество органического вещества было образовано в 2000 г. в точке входа вод (ст. Пестово). На ст. Листвянка интегральные величины первичной продукции в этот год также были на высоком уровне относительно других лет наблюдений, хотя и ниже, чем на ст. Пестово.

В ст. Пестово в 1999 и в 2001 гг. максимальное количество органического вещества было синтезировано в ходе летне-осеннего “цветения” синезеленых, а в 2000 г. уже весенний фитопланктон создавал больше органического вещества, чем осенний. Аналогичная периодичность была отмечена и на ст. Листвянка. Сезоны с максимальной продуктивностью характеризовались и максимальным пиком численности (см. табл. 1 и 2).

Выводы

Результаты проведенных исследований позволяют охарактеризовать основные процессы, определяющие динамику автохтонного вещества в водохранилище. Речные воды, поступающие в Учинское водохранилище в районе ст. Пестово, насыщенные кислородом и биогенными элементами, создают условия для активного развития фитопланктона. В этом районе наблюдались высокие значения первичной продукции и общей численности фитопланктона. При движении вод по акватории водохранилища содержание кислорода и биогенных элементов снижается, и в районе ст. Листвянка, где берет начало система водоснабжения г. Москвы, величины первичной продукции и количественные характеристики фитопланктона находятся на более низком уровне. Таким образом, концентрация автохтонного органического вещества в водохранилище при постепенном движении вод по акватории (от ст. Пестово до ст. Листвянка) значительно снижается.

Корсак М.Н., Мошаров С.А., Даллакян Г.А., Белов А.Ю., Митин А.В. 2003. Динамика фитопланктона Учинского водохранилища и биогенных элементов в 1998–1999 гг. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. № 2. 34–39.
 Накани Д.В., Корсак М.И. 1976. Первичная продукция фитопланктона Учинского водохранилища // Гидробиол. журн. 12. № 3. 15–19.

Потапова Н.А. 1976. Динамика численности бактериопланктона в Учинском водохранилище // Гидробиол. журн. **12**. № 3. 66–68.

Романенко В.И., Кузнецов С.И. 1974. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Л. 194 с. Учинское и Можайское водохранилища (гидробиологические и ихтиологические исследования). 1963. М.

Поступила в редакцию
27.10.03

**PROPERTIES OF SEASON DYNAMICS, COMMUNITY STRUCTURE
AND PRODUCTIVITY OF PHYTOPLANKTON
IN UCHINSKOE RESERVOIR IN 1998–2001**

M.N. Korsak, S.A. Mosharov, G.A. Dallakyan, A.J. Belov

Results of research of season dynamics of phytoplankton total numbers and primary production in Uchinskoe reservoir in 1998–2001. Diatom and bluegreen algae play a leading role in seasonal succession of phytoplankton. These groups cause the seasonal number maxima. Spring blooms to be dominated by diatoms (90%) usually found on first ten days of May. Bluegreen algae appear in the phytoplankton in June and their numbers increase very quickly. Bluegreen algae dominate (98%) in phytoplankton till autumn.

Integral estimate of primary production to be made on experimental tests were calculated for seasonal succession periods. Production rates in different region of reservoir were distinguish, but exhibit commonly tendency to annual and seasonal variations. The maximal number seasons were characterized by maximal productivity.