

# Прогноз весеннего цветения фитопланктона в Учинском водохранилище

**М.Н. Корсак**, доцент, канд. биол. наук<sup>1</sup>

**С.А. Мошаров**, доцент, канд. биол. наук<sup>1,2</sup>

**К.О. Юсупова**, студентка<sup>1</sup>

**М.И. Кроленко**, старший преподаватель<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

e-mail: mosharov@ocean.ru

## Ключевые слова:

поверхностный источник водоснабжения, качество воды, фитопланктон, весеннее цветение микроводорослей, солнечная радиация.

*Повышение эффективности водоподготовки в системах водоснабжения в весенний период напрямую зависит от точности прогноза массового цветения фитопланктона в водоемах питьевого назначения. Объект исследования — Учинское водохранилище — водоем питьевого назначения, имеющий незначительную собственную площадь водосбора и питаемый водой канала им. Москвы. В работе использованы данные о сезонной динамике фитопланктона, полученные в Лаборатории Акуловского гидроузла МГУП «Мосводоканал» для двух станций: Пестово (верховье водохранилища) и Листвянка (нижняя часть водохранилища), а также актинометрические данные непрерывных наблюдений за период с 1998 по 2003 гг. Метеорологической Обсерватории Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (МОМГУ). Представлены результаты математического моделирования зависимости даты начала и пиковых значений весеннего цветения фитопланктона в Учинском водохранилище в зависимости от интенсивности суммарной солнечной радиации в период, предшествующий цветению фитопланктона. Установлено, что чем больше величины потоков солнечной энергии в диапазоне ФАР получит поверхность водоема в середине февраля, тем позднее будут наблюдаться пики весеннего цветения фитопланктона. Результаты исследований представляют несомненный интерес для анализа влияния светового фактора в водоеме на сезонную динамику фитопланктона, а также для точного прогноза начала весеннего цветения фитопланктона в водоемах питьевого назначения при планировании проведения водоочистных мероприятий.*

## 1. Введение

Массовое развитие фитопланктона в водоемах питьевого назначения значительно ухудшает качество питьевой воды и требует определенных технологических приемов по ее улучшению при водоподготовке. Наиболее интенсивное развитие фитопланктона («цветение») происходит в весенний период вскоре после вскрытия льда в водоемах. При этом резко возрастает численность микроводорослей в воде, изменяется ее цвет и запах в результате прижизненного выделения органических продуктов жизнедеятельности и отмирания планктона.

Именно для решения этой проблемы существует водоочистка — процесс удаления из воды нежелательных химических и биологических загрязнителей, взвешенных твердых частиц и газов. Эффективность таких мероприятий возрастает в случае своевременного применения специальных дорогостоящих реагентов и напрямую зависит от точности прогноза периодов «цветения» фитопланктона. Окончательным результатом процесса очистки является получение питьевой воды, соответствующей нормативным документам.

Обычно сезонные изменения численности фитопланктона характеризуются интенсивным и быстрым

весенним «цветением» и более продолжительным по времени и менее выраженным по масштабам летне-осенним «цветением» [1, 2]. Многие авторы считают световой фактор (уровень солнечной радиации, попадающей в толщу водоема) ключевым для начала весеннего развития фитопланктона [3–11].

Это обусловлено значимостью солнечной радиации как единственного источника энергии для фотосинтеза фитопланктона, а также тем обстоятельством, что в ранне-весенний период содержание биогенных элементов в воде, как правило, не лимитирует развитие микроводорослей [10].

Целью данной работы была разработка прогностической модели, описывающей зависимость даты начала и пиковых значений весеннего «цветения» фитопланктона от интенсивности суммарной солнечной радиации в предшествующий период времени в пресноводном водоеме средней полосы России.

## 2. Материалы и методы

Объектом исследования было выбрано достаточно хорошо изученное Учинское водохранилище — водоем питьевого назначения, имеющий незначительную собственную площадь водосбора и питаемый водой канала им. Москвы.

Учинское водохранилище имеет ширину от 0,1 до 3 км, протяженность около 12 км, глубину до 21,5 м (средняя — 7,5 м). Полезный объем водохранилища около 50 млн м<sup>3</sup>, полный — 146 млн м<sup>3</sup>, площадь — 19,3 км<sup>2</sup>. Регулирование стока сезонное, колебания уровня до 2 метров. Замерзает в конце ноября, вскрывается в середине апреля.

Анализ сезонной динамики общей численности микроводорослей в Учинском водохранилище,

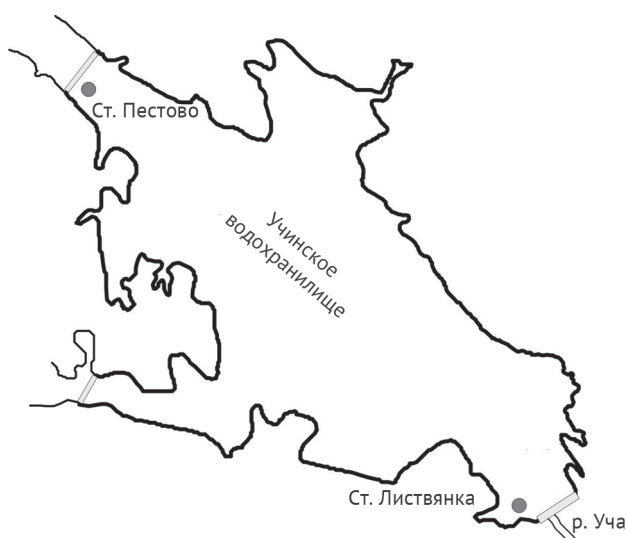


Рис. 1. Схема расположения точек пробоотбора (ст. Пестово и Ст. Листвянка) на акватории Учинского водохранилища

включая основные группы фитопланктона (диатомовые, зеленые, синезеленые и прочие водоросли), проводили по данным, полученным в Лаборатории Акуловского гидроузла МГУП «Мосводоканал» для двух станций: Пестово (верховье водохранилища) и Листвянка (нижняя часть водохранилища) (рис. 1).

Пробы воды из поверхностного горизонта 0,5 м отбирали еженедельно в течение 1998–2003 гг.

В работе использованы актинометрические данные непрерывных наблюдений за период с 1998 по 2003 гг. Метеорологической Обсерватории Географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова (МОМГУ). Значения приходящей к земной поверхности суммарной интегральной солнечной радиации (ИР) и фотосинтетически активной радиации (ФАР) измеряли с помощью прибора LI-190SA американской фирмы LI-COR [12]. ИР определялась как сумма прямой и рассеянной интегральной радиации, как это принято на сетевых актинометрических станциях Росгидромета [13].

## 3. Результаты и обсуждение

Ранее [14] нами было обнаружено, что дата весеннего пика «цветения» в Учинском водохранилище положительно коррелирует (коэффициент корреляции  $r > 0,6$ ) с суммой ФАР за период с 35 по 40 календарные сутки года на ст. Пестово и за период с 44 по 49 календарные сутки на ст. Листвянка. Обнаруженная положительная корреляционная связь между рассматриваемыми параметрами (датой весеннего пика «цветения» фитопланктона и пентадной суммой ФАР) означает, что более высокий уровень значений ФАР в период, предшествующий весеннему «цветению» водорослей, сдвигает момент его наступления на более поздний срок. Это обстоятельство свидетельствует о том, что суммарная солнечная радиация в феврале, когда водоем еще покрыт льдом (35–49-е календарные сутки), влияет на последующее весеннее развитие фитопланктона.

В табл. 1 представлены зафиксированные даты весеннего пика «цветения» фитопланктона в Учинском водохранилище за 1998–2003 гг.

Для исследования зависимости дат пиков весеннего «цветения» фитопланктона Учинского водохранилища для ст. Пестово и ст. Листвянка для периода 1998–2003 гг. от суммарной солнечной радиации выполнен регрессионный анализ.

Обозначим для удобства массив значений соответствующих максимумов весеннего «цветения» микроводорослей за  $x$  (календарные сутки с 1 января текущего года), а за  $y$  — соответствующие величины пентадных сумм ФАР за период 35–40-х, 44–49-х календарных суток (МДж/м<sup>2</sup>). Величины, необходимые для расчета коэффициентов регрессии, представлены в табл.1.

Таблица 1

Отдельные параметры весеннего «цветения» фитопланктона Учинского водохранилища (ст. Пестово и Листвянка) в 1998–2003 гг., используемые для корреляционного анализа

Год	ст. Пестово			ст. Листвянка		
	$^{(p)}x_{\max}$	$^{(p)}A_{\max}$	$\sum E_{35-40}$	$^{(l)}x_{\max}$	$^{(l)}A_{\max}$	$\sum E_{44-49}$
1998	131	16800	6,48	131	26700	9,57
1999	131	8600	8,23	124	31600	9,50
2000	114	91000	5,14	123	24000	7,60
2001	122	10700	6,47	122	8470	7,34
2002	111	7000	6,24	98	24200	5,30
2003	124	80000	7,300	131	47200	6,80

$x_{\max}$  – дата весеннего пика «цветения» фитопланктона (календарные сутки с 1 января текущего года).

$A_{\max}$  – максимальная численность весеннего фитопланктона (тыс. кл./л).

$\sum E_{35-40}, \sum E_{44-49}$  – суммарная величина солнечной радиации за период 35–40-е календарных суток для ст. Пестово и 44–49-е календарных суток для ст. Листвянка (МДж/м<sup>2</sup>).

После выравнивания  $x$  по  $y$  мы получим уравнение регрессии для двух мест водозабора водохранилища (ст. Пестово и Листвянка, соответственно):

$$x = B_{x/y}(y - \bar{y}) + \bar{x}, \quad (1)$$

где  $B_{x/y}$  – коэффициент регрессии, а  $\bar{y}$  и  $\bar{x}$  – средние значения  $y$  и  $x$  соответственно.

Для ст. Пестово выполнен расчет значения коэффициента регрессии и получено уравнение регрессии:

$$^{(p)}B_{x/y} = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}} = \frac{4900,15 - \frac{733 \cdot 39,86}{6}}{270,23 - \frac{39,86 \cdot 39,86}{6}} \approx 5,6.$$

$$x = 5,6(y - \bar{y}) + \bar{x}$$

$$x = 5,6(y - 6,64) + 122,18,$$

$$x = 5,6y + 85,$$

Уравнение регрессии для ст. Пестово будет иметь вид:

$$^{(p)}x_{\max} = 85 + 5,6 \sum E_{35-40} \quad (2)$$

где  $^{(p)}x_{\max}$  – дата пика весеннего «цветения» на ст. Пестово;  $\sum E_{35-40}$  – пентадная сумма ФАР за период 35–40-х календарных суток.

Расчет значений коэффициента регрессии, выполненный для ст. Листвянка, приведен ниже и полученное уравнение регрессии:

Таблица 2

Результат оценки погрешностей вычисления даты пика «цветения» фитопланктона с помощью уравнений регрессии (2) для ст. Пестово и (3) для ст. Листвянка

Год	ст. Пестово			ст. Листвянка		
	$x_{\text{практ.}}$	$x_{\text{теор.}}$	$\sigma$ , относительная погрешность	$x_{\text{практ.}}$	$x_{\text{теор.}}$	$\sigma$ , относительная погрешность
1998	131	121,3	8,0%	131	130,8	0,2 %
1999	131	131,1	0%	124	130,4	4,9%
2000	114	113,8	0,2%	123	120,8	1,8%
2001	122	121,2	0,7%	122	119,2	2,3%
2002	111	120,0	7,5%	98	108,6	9,8%
2003	124	125,9	1,5%	131	116,4	12,5%
	$\sigma_{\text{ср}}$		3%	$\sigma_{\text{ср}}$		5%

$$^{(l)}B_{x/y} = \frac{5679,53 - \frac{729 \cdot 46,17}{6}}{368,72 - \frac{46,17 \cdot 46,17}{6}} \approx 5,2,$$

$$x = 5,2(y - \bar{y}) + \bar{x}$$

$$x = 5,2(y - 7,70) + 121,50,$$

$$x = 5,2y + 81.$$

Уравнение регрессии для ст. Листвянка будет иметь вид:

$$^{(l)}x_{\max} = 81 + 5,2 \sum E_{44-49} \quad (3)$$

где  $x_{\max}$  – дата пика весеннего «цветения» на ст. Листвянка;  $\sum E_{44-49}$  – пентадные суммы ФАР за период 44–49-х календарных суток.

Средние величины оценки погрешностей, приведенные в табл. 2, для уравнений регрессии (2) и (3) составили  $\sigma_{\text{ср}} \approx 3\%$  для ст. Пестово и  $\sigma_{\text{ср}} \approx 5\%$  для ст. Листвянка.

Из полученных уравнений регрессии (2) и (3) следует, что чем большие величины потоков солнечной энергии в диапазоне ФАР получит поверхность водоема в середине февраля, тем позднее будут наблюдаться пики весеннего «цветения» фитопланктона. Эти уравнения прогнозируют дату пика «цветения» фитопланктона в водоеме на основании параметра февральской пятидневной солнечной радиации с удовлетворительной погрешностью.

Ранее в [14] было установлено, что в качестве модели весеннего «цветения» фитопланктона может служить функция Гаусса, т.е. этот процесс можно задать функцией, которая при вводе в неё параметра солнечной радиации позволит определить значение календарных суток в году, когда будет наблюдаться пик весеннего «цветения» фитопланктона.

При таком описании «цветения» фитопланктона в качестве медианы в данном случае выступают значения календарных суток пика «цветения» фитопланктона (обозначенные как  $x_{\max}$ ) при определенной дисперсии. Отметим, что значения  $x_{\max}$  для ст. Пестово и ст. Листвянка рассчитываются по разным формулам, так как реакции фитопланктона на световой фактор в нижней и верхней частях Учинского водохранилища различаются [14].

Подставляя значения медианы и дисперсии в функцию Гаусса, получаем выражение, характеризующее процесс «цветения» фитопланктона для различных мест водозабора Учинского водохранилища. График функции  $f(x)$  — описывает закономерность изменения численности фитопланктона (тыс. кл./л) во времени,  $\sigma^2$  — дисперсия,  $\sum E_{35-40}$ ,  $\sum E_{44-49}$  — суммарная величина потоков солнечной радиации за 5 дней:

$${}^{(p)} f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-{}^{(p)}x_{\max})^2}{2\sigma^2}},$$

$${}^{(l)} f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-{}^{(l)}x_{\max})^2}{2\sigma^2}}.$$

Или

$${}^{(p)} f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-85-5,6\sum E_{35-40})^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

$${}^{(l)} f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-81-5,2\sum E_{44-49})^2}{2\sigma^2}}. \quad (5)$$

Процесс «цветения» фитопланктона на ст. Пестово и Листвянка демонстрируется графиками на рис. 2 и 3, соответственно. Для удобства представления адекватности полученных выражений (4) и (5) были использованы данные для тех лет на каждой станции, для которых погрешность вычислений оказалась минимальной. Так, для ст. Пестово были использованы данные за 1999 год, а для ст. Листвянка — за 1998 год.

Используя полученное значение календарных суток пика весеннего «цветения», можно рассчитать момент начала весеннего роста популяции фитопланктона ( $x_{ref}$ ) в Учинском водохранилище (рис. 4):

$$x_{ref} = x_{\max} - 12. \quad (6)$$

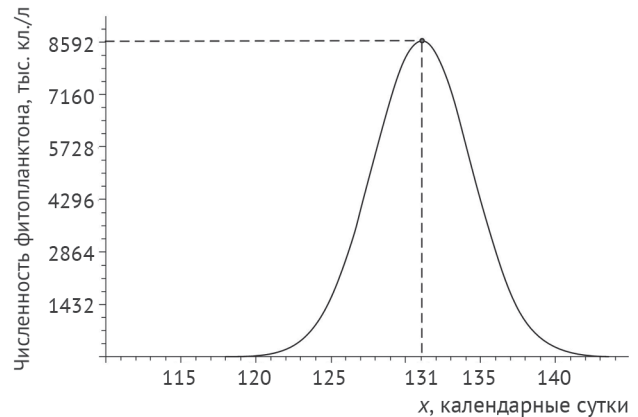


Рис. 2. Динамика численности фитопланктона на ст. Пестово в весенний период

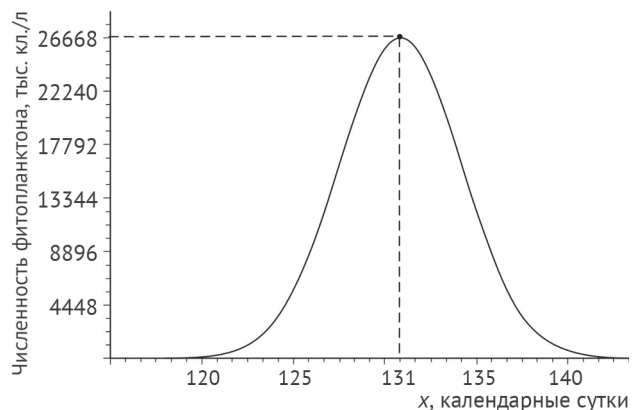


Рис. 3. Динамика численности фитопланктона на ст. Листвянка в весенний период

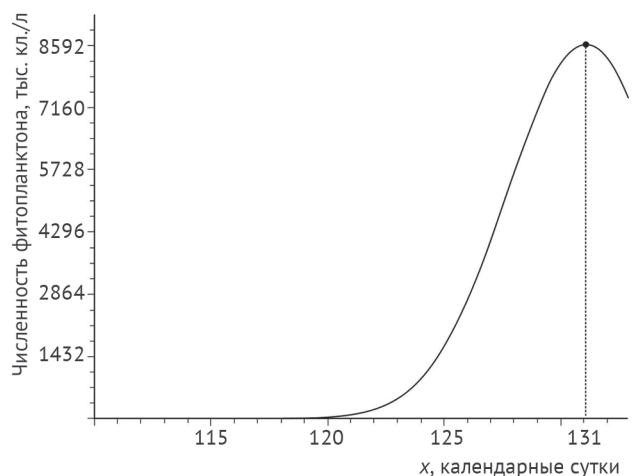


Рис. 4. Начало роста численности фитопланктона на ст. Пестово

#### 4. Заключение

В ходе исследования было установлено, что в нижней части Учинского водохранилища фитопланктон сильнее реагирует на изменение светового режима, чем в верховьях водоема, вследствие этого динамику развития фитопланктона в водохранилище необходимо изучать, как минимум, для двух мест водозабора по отдельности.

Из полученных уравнений регрессии (2) и (3) следует, что чем больше величины потоков солнечной энергии в диапазоне ФАР получит поверхность водоема в середине февраля, тем позднее будут наблюдаться пики весеннего «цветения» фитопланктона. Данный факт свидетельствует, по-видимому, о процессах фотоингибирования популяции фитопланктона в этот период времени. Календарные сутки момента пика весеннего «цветения» можно рассчитать с достаточной точностью, используя пентадные значения ФАР

в периоды 35–40-х календарных суток для ст. Пестово и 44–49-х календарных суток для ст. Листвянка. Суммарные значения приходящей к земной поверхности солнечной радиации именно за эти дни для каждого из двух мест водозабора водохранилища являются аргументами выражений по вычислению календарных суток, на которые приходится весенний пик численности фитопланктона в водоеме.

Выражения для верхней и нижней частей водохранилища характеризуют некоторые временные отличия процессов весеннего развития фитопланктона в водоеме. Результаты исследований представляются несомненным интересом для анализа влияния светового фактора в водоеме на сезонную динамику фитопланктона, а также для точного прогноза начала весеннего «цветения» фитопланктона в водохранилищах питьевого назначения при планировании проведения водоочистных мероприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Корсак М.Н., Мошаров С.А., Даллакян Г.А. и др. Динамика фитопланктона Учинского водохранилища и биогенных элементов в 1998–1999 гг. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. 2003; 2: 34–39.  
(1. Korsak M.N., Mosharov S.A., Dallakyan G.A., Belov A.Yu., Mitin A.V. The dynamic of phytoplankton and nutrients in the Uchinskoe reservoir during 1998–1999. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Biologia* [Moscow University Biological Sciences Bulletin], 2003, no 2, pp. 34–39. [in Russian].)
2. Корсак М.Н., Мошаров С.А., Даллакян Г.А. и др. Особенности сезонной динамики, структуры и продуктивности фитопланктона Учинского водохранилища в 1998–2001 гг. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. 2005; 1: 33–38.  
(2. Korsak M.N., Mosharov S.A., Dallakyan G.A., Belov A.Yu. Properties of season dynamics, community structure and productivity of phytoplankton in Uchinskoe reservoir in 1998–2001. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Biologia* [Moscow University Biological Sciences Bulletin], 2005; 1: 33–38. [in Russian].)
3. Talling J.F. The underwater light climate as a controlling factor in the production ecology of freshwater phytoplankton // *Mitt. Int. Verein. Limnol.* 1971. Vol. 19. P. 214–243.
4. Hitchcock G.L., Smayda T.J. The importance of light in the initiation of the 1972–73 winter-spring bloom in Narragansett Bay // *Limnol. Oceanogr.* 1977. Vol. 22. P. 126–131.
5. Ramberg L. Relations between phytoplankton and light climate in two Swedish lakes // *Int. Revue ges. Hyrobiol.* 1979. Vol. 64. P. 749–782.
6. Horn H., Paul L. Interactions between light situation, depth of mixing and phytoplankton growth during the spring period of full circulation // *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 1984. Vol. 69. P. 507–519.
7. Bleiker W., Schanz F. Influence of environmental factors on the phytoplankton spring bloom in Lake Zürich // *Aquatic Sciences.* 1989. Vol. 51. P. 47–58.
8. Bleiker W., Schanz F. Light climate as the key factor controlling the spring dynamics of phytoplankton in Lake Zurich // *Aquatic Sciences.* 1997. Vol. 59. P. 135–157.
10. Sommer U. Plankton ecology: Succession in plankton communities. Berlin, Springer Verlag, 1989. 369 p.
11. Legendre L. The significance of microalgal blooms for fisheries and for the export of particulate organic carbon in oceans // *J. Plankton Res.* 1990. Vol. 12. P. 681–699.
12. Shilovtseva O.A. The experience of the visual solar radiation measurements in the Moscow State University Meteorological Observatory // *IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation*, W. L. Smith and Yu. M. Timofeyev (Eds.). Hampton, Virginia: Deepak Publishing, 2001. P. 1117–1120.
13. Руководящий документ. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 5. Актинометрические наблюдения. Ч. 1, Актинометрические наблюдения на станциях. Росгидромет, Москва, 1997. 222 с.  
(13. Official Document. Instructions to Hydrometeorological Stations and Posts, No. 5. Actinometrical Observations. Part 1. Actinometrical Observations at Stations (Rosgidromet, Moscow, 1997) [in Russian].)
14. Корсак М.Н., Мошаров С.А., Skorobogatov A.M., Шиловецова О.А., Белов А.Ю., Даллакян Г.А. Влияние суммарной солнечной радиации на весеннее «цветение» фитопланктона в Учинском водохранилище // Вестник Моск. ун-та, сер. 16. Биология. 2009; 1: 41–47.  
(14. Korsak M.N., Mosharov S.A., Skorobogatov A.M., Belov A.Yu., Dallakyan G.A. Influence of the summarized solar radiation on the spring bloom of phytoplankton in Uchinskoe reservoir. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Biologia* [Moscow University Biological Sciences Bulletin], 2009; 1: 41–47. DOI: 10.3103/S0096392509010088 [in Russian].)

## The Forecast of Phytoplankton Spring Blossoming in the Uchinsky Reservoir

**M.N. Korsak**, Associate Professor, Ph.D. in Biology, Bauman Moscow State Technical University

**S.A. Mosharov**, Associate Professor, Ph.D. in Biology, Bauman Moscow State Technical University; P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

**K.O. Yusupova**, Student, Bauman Moscow State Technical University

**M.I. Krolenko**, Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University

*Increase of water treatment efficiency in water supply systems during the spring period directly depends on the forecast accuracy related to mass blossoming of phytoplankton in drinking reservoirs. Object of research is the Uchinsky reservoir – the drinking reservoir having insignificant its own water collection area, and fed by water of Moscow Canal. The data on seasonal phytoplankton dynamics received in Akulovsky Hydrosite Laboratory of the MCUE "Mosvodokanal" for two stations: Pestovo (reservoir's headwater) and Listvyanka (reservoir's lower part), and also actinometric data of continuous supervision from 1998 to 2003 performed by Lomonosov Moscow State University's Geographical faculty Meteorological Observatory (MOMGU) have been used in this work. Results of mathematical modeling for dependence of start date and peak values of phytoplankton's spring blossoming in the Uchinsky reservoir depending on intensity of total solar radiation during the period preceding the phytoplankton blossoming have been presented. It has been established that the more solar energy streams' values in the range of photosynthetic active radiation (PhAR) will be received by the reservoir surface in the middle of February, the later peaks of phytoplankton's spring blossoming will be observed. Research results represent undoubted interest for the analysis of reservoir's light factor influence on phytoplankton's seasonal dynamics, and also for the exact forecast related to beginning of phytoplankton's spring blossoming in drinking reservoirs when planning water treatment actions.*

**Keywords:** water supply surface source, water quality, phytoplankton, microalgae' spring blossoming, solar radiation.

### Показатели журнала «Безопасность в техносфере» за 2014 г. в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ — 0,523.** Число цитирований в текущем году статей, опубликованных в журнале за предыдущие два года, поделенное на число этих статей. Учитывается в том числе самоцитирование (ссылки из журнала на статьи в этом же журнале).

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования — 0,348.** Число ссылок в текущем году из других журналов на статьи в данном журнале, опубликованные за предыдущие два года, поделенное на число этих статей.

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ с учетом цитирования из всех источников — 0,568.** Число цитирований в текущем году статей, опубликованных в журнале за предыдущие два года, поделенное на число этих статей. Учитывается в том числе самоцитирование (ссылки из журнала на статьи в этом же журнале), а также цитирование из монографий, сборников статей, трудов конференций и т.д.

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ — 0,401.** Число цитирований в текущем году статей, опубликованных в журнале за предыдущие пять лет, поделенное на число этих статей. Учитывается в том числе самоцитирование (ссылки из журнала на статьи в этом же журнале).

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования — 0,275.** Число ссылок в текущем году из других журналов на статьи в данном журнале, опубликованные за предыдущие пять лет, поделенное на число этих статей.

**Пятилетний индекс Херфиндаля по цитирующим журналам — 1122.** Индекс Херфиндаля–Хиршмана рассчитывается как сумма квадратов процентных долей журналов, цитирующих данный, по отношению к общему количеству цитирований. При расчете учитываются ссылки из текущего года на предыдущие 5 лет, в том числе самоцитирования. Чем больше количество цитирующих журналов и чем равномернее распределены по ним ссылки на данный журнал, тем меньше величина этого показателя. Максимальное значение равно 10000 и достигается, когда все ссылки сделаны из одного журнала.

**Индекс Херфиндаля по организациям авторов — 822.** Индекс Херфиндаля–Хиршмана рассчитывается как сумма квадратов процентных долей количества статей, опубликованных различными организациями, по отношению к общему количеству статей в журнале в текущем году, в которых организация идентифицирована. Чем больше различных организаций, авторы из которых публикуются в журнале, и чем равномернее распределены между ними публикации, тем меньше величина этого показателя. Максимальное значение равно 10000 и достигается, когда в журнале публикуются авторы только из одной организации.

**Десятилетний индекс Хирша — 8.** Индекс Хирша вычисляется на основе распределения цитирований статей и имеет значение  $N$ , если в журнале опубликовано  $N$  статей, на каждую из которых сослались как минимум  $N$  раз, а остальные статьи имеют число цитирований не более  $N$ . Учитываются все статьи, опубликованные в журнале за 10 лет, и цитирования за этот же период.

*Примечание.* Журнал издается 8,5 лет.