

# МЕТОД РАСЧЕТА ОБЪЕМА КЛЕТОК ФИТОПЛАНКТОНА

**А.К.Тыныбеков**

Институт биотехнологии НАН КР, г. Бишкек

Предлагается унифицированный список видов водорослей фитопланктона озера Иссык-Куль с указанием соответствующих им геометрических фигур и формулы расчета объема клеток. Объем клеток вычисляли по формулам, учитывающим как простые, так и сложные формы. Методика разработана для использования банка данных по видам фитопланктона озера Иссык-Куль по аналогичной методике для банка данных по черноморскому фитопланктону.

**Ключевые слова:** озеро Иссык-Куль, фитопланктон, биогенные вещества.

Для вычисления объема одноклеточных водорослей используют общепринятый метод «истинного объема», предложенный И.А.Киселевым [1956]. Суть метода заключается в том, что клетку приравнивают к близкой ей по форме геометрической фигуре или к комбинации фигур, а затем рассчитывают ее объем по известным формулам.

Работ, в которых приводятся списки видов и соответствующие им геометрические фигуры, немного, а по иссык-кульским видам вообще нет.

При составлении алгоритма программы для расчетов различных параметров фитопланктона банка данных по иссык-кульским видам возникла необходимость систематизировать имеющиеся литературные данные, а также собственные исследования для создания унифицированного списка.

В результате был создан список, включающий 10 наименований водорослей (диатомовых – 72, перидиниевых – 8).

Для расчетов истинного объема клетки используются 12 формул, учитывающих все встретившиеся нам формы (таблица). Математические формулы объемных фигур были преобразованы путем подстановки:

$$R = 1/2 D; r = 1/2 d; r' = 1/2 L \text{ и } \pi = 3,136.$$

Коэффициент уплощения в формулах 1-9 ( $\kappa$ ) введен для тех случаев, когда клетка имеет уплощенную форму, например, полушаровидная, тогда коэффициент равен 0,5. У вида *Ceratium furca* этот коэффициент равен 0,6b7, т.к. клетка уплощена и составляет 2/3 от объема конуса.

У клеток эллиптической формы и цилиндрической с эллиптическим основанием D и H будут соответствовать I и II осям, а L – максимальному размеру клетки.

В случае, когда клетки имеют сложную форму, приходится прибегать к приближенному представлению их объема в виде суммы объемов нескольких относительно простых фигур: половина шара и конус с общим основанием (7) (например, представители рода *Rhomonas*), половина шара и усеченный конус с общим основанием (8) (*Peridinium trochoideum*) (рисунок). Усеченный конус и два равных или неравных конуса с общим основанием, например *Ceratium furca* (9). Мы допускаем, что диаметры оснований малых конусов равны между собой и составляют половину от общей ширины клетки, т.е.  $d_1=d_2=1/2 D$ . Если же основания рогов значительно различаются, тогда необходимо найти

среднюю арифметическую величину диаметров их оснований. Это допущение принято нами с целью упрощения формулы и сокращения числа необходимых измерений линейных размеров клетки. Для вычисления объема клеток вида *Ceratium tripos* (а также подобных им) рассчитываются по формуле, принятой в работе [5]: клетку приравнивают к двум усеченным конусам, у которых нижнее основание I конуса является верхним основанием II, а два боковых рога считают как двойной конус с общим основанием [1].

Программа, созданная совместно с В.А. Никольским, позволяет учитывать отличные от указанных в списке значения в случае вариативности формы клеток одного и того же вида.

Известно, что фитопланктон представляет собой одно из первичных звеньев в трофической цепи, является первопродуцентом вещества, определяя в конечном итоге биологическую продуктивность водоема.

Вода озера Иссык-Куль солоноватая и относится к хлоридно-сульфатно-натриево-магниевому типу. Характерно повышенное содержание кислорода, что имеет большое значение для жизнедеятельности водных организмов.

Важная роль в развитии планктона принадлежит биогенным элементам, недостаточное содержание которых ограничивает величину первичной продукции. Биогенных элементов в некоторых затонах Туюнского залива содержится очень мало: фосфатов 2-5 мг/м<sup>3</sup>, нитратов 0,5-1,6, аммонийного азота 4,8-7,8 мг/м<sup>3</sup>.

Всего в составе фитопланктона озера Иссык-Куль обнаружено 82 формы водорослей, распределяющиеся по систематическим группам следующим образом [5]:

- Сyanophyta-32 – сине-зеленые водоросли
- Chryzophyta-1 – золотистые водоросли
- Bacillariophyta-16 – диатомовые водоросли
- Rytrrophyta- 2 – пиррофитовые водоросли
- Protococcales-31 – протококковые водоросли.

Наибольшее видовое разнообразие приходится на группу сине-зеленых водорослей, занимающих 39% от общего числа обнаруженных видов. Массовыми видами из этой группы являются: *Gloeocapsa minor* (Kutz.) Hollerb. ampl., *G.minima* (Keissl.) Hollerb. ampl., *Lyngbia contorta* Lemm. и виды родов *Mikrocystis* и *Coelosphaeria*. Чаше других регистрируются представители родов *Gloeocapsa*, *Mikrocystis* и *Merismopedia*.

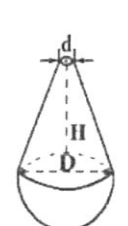
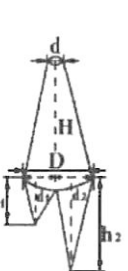
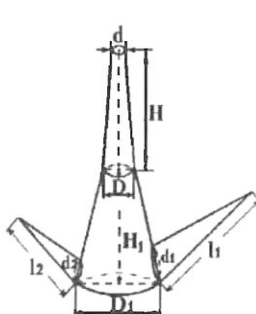
|                                                                                    |                                                                                    | Формула | Обозначения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |   | 8       | D – диаметр большого основания усеченного конуса,<br>H – высота конуса,<br>d – диаметр меньшего основания усеченного конуса.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                                    |   | 9       | D – диаметр основания усеченного конуса большего,<br>d – диаметр меньшего основания усеченного конуса,<br>d <sub>1</sub> , d <sub>2</sub> – диаметры конусов,<br>H – высота конуса,<br>h <sub>1</sub> , h <sub>2</sub> – высоты 1 и 2 конусов<br>D=d <sub>1</sub> +d <sub>2</sub> ; d <sub>1</sub> =d <sub>2</sub> ; h <sub>1</sub> +h <sub>2</sub> =L.                                                                                                                                                                          |
|                                                                                    |  | 10      | D – диаметр большого основания 1 усеченного конуса, а также диаметр меньшего основания 2 усеченного конуса,<br>D <sub>1</sub> – диаметр большого основания 2 усеченного конуса,<br>d – диаметр меньшего основания 1 усеченного конуса,<br>d <sub>1</sub> , d <sub>2</sub> – диаметры оснований двух конусов,<br>H – высота 1 усеченного конуса,<br>H <sub>1</sub> – высота 2 усеченного конуса,<br>l <sub>1</sub> , l <sub>2</sub> – высоты 1 и 2 конусов<br>d <sub>1</sub> =d <sub>2</sub> ; l <sub>1</sub> +l <sub>2</sub> =L. |

Рис.1.Примеры сложных форм клеток фитопланктона видов а) *Peridinium trochoideum*; б) *Ceratium furca*; в) *Ceratium tripos* и соответствующие им фигуры

| Расчет объема водорослей |                 |                                                                                         |                                                                                                                            |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M                        | Название фигур  | Формулы объема:<br>1 – справочная, 2 – преобразованная                                  | Обозначения данных                                                                                                         |
| 1                        | Шар             | $V=4/3 \cdot \pi R^3$<br>$V=0,5236 \cdot D^3 \cdot k$                                   | <b>R=1/2D</b><br>D – диаметр<br>k – коэфф. уплощения                                                                       |
| 2                        | Конус           | $V=1/3 \cdot \pi R^2 \cdot H$<br>$V=0,2618 \cdot D^2 \cdot l \cdot k$                   | То же, что и в 1<br>H – высота                                                                                             |
| 3                        | Цилиндр         | $V=\pi R^2 l$<br>$V=0,7854 \cdot D^2 \cdot H \cdot k$                                   | То же, что и в 2                                                                                                           |
| 4                        | Цилиндр с       | $V=\pi R^2 H$                                                                           | R=1/2 D; r=1/2 L                                                                                                           |
| 5                        | Эллипсоид       | $V=0,5236 \cdot D \cdot H \cdot L \cdot k$                                              | эллип. основанием D, L - оси эллипса<br>$V=3/4 \cdot \pi r^2 H$<br>То же, что и в 4<br>r=1/2 H                             |
| 6                        | Усеченный конус | $V=1/3 \cdot \pi H \cdot (R^2 + Rr + r^2)$<br>$V=0,2618 \cdot H \cdot (D^2 + Dd + d^2)$ | H - третья ось эллипсоида<br>R=1/2 D; r=1/2 L<br>H - высота ус. Конуса<br>D - диаметр I основания d – диаметр II основания |
| 7                        | 1/2 шара +      | $V=1/2 \cdot (4/3 \cdot \pi R^3) + 1/3 \cdot \pi R^2 \cdot H$                           | То же, что и в 1 и 2                                                                                                       |

Таблица 1. Динамика численности и биомассы фитопланктона озера Иссык-Куль /4/

| Месяц          | Глубина, м | Численность фитопланктона, кл/л, 1972-1975 | Биомасса фитопланктона, Мг/м <sup>3</sup> , 1972-1975*) | Среднегодовые величины численности фитопланктона, Кл/л**) |
|----------------|------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Январь         | 0-25       | -                                          | -                                                       | 26-20                                                     |
|                | 0-50       | 136                                        | 33                                                      | -                                                         |
| Февраль        | 0-25       | 30                                         | -                                                       | 18-115                                                    |
|                | 0-50       | 88                                         | 16                                                      | -                                                         |
| Март           | 0-25       | -                                          | -                                                       | 125-200                                                   |
|                | 0-50       | 463                                        | 95,1                                                    | -                                                         |
| Апрель         | 0-25       | -                                          | -                                                       | 250-370                                                   |
|                | 0-50       | 656                                        | 86                                                      | -                                                         |
| Май            | 0-25       | -                                          | -                                                       | 320-455                                                   |
|                | 0-50       | 2976                                       | 237                                                     | -                                                         |
| Июнь           | 0-25       | 127-209                                    | 23-67                                                   | 325-270                                                   |
|                | 25-50      | 2797-3151                                  | 235-284                                                 | -                                                         |
| Июль           | 0-25       | 166-968<br>1313-2553                       | 47-165<br>91-172                                        | 325-250                                                   |
|                | 15-50      |                                            |                                                         | -                                                         |
| Август         | 0-25       |                                            |                                                         | 250-125                                                   |
|                | 15-50      |                                            |                                                         | -                                                         |
| Сентябрь       | 0-50       | 800-1000                                   | -                                                       | 125-118                                                   |
|                | 100        | 96                                         | -                                                       | -                                                         |
|                | >100       | 15-16                                      | 9-12                                                    | -                                                         |
| Октябрь        | 0-25<br>50 | 947-1736<br>505-696                        | 151-219<br>76-86                                        | 117-120                                                   |
| Ноябрь         | 0-25<br>50 |                                            |                                                         | -                                                         |
| Декабрь        | 0-25<br>50 |                                            |                                                         | 120-130                                                   |
| Средняя за год | 0-50       |                                            | 111-114                                                 | 128-133                                                   |
|                |            |                                            |                                                         | -                                                         |

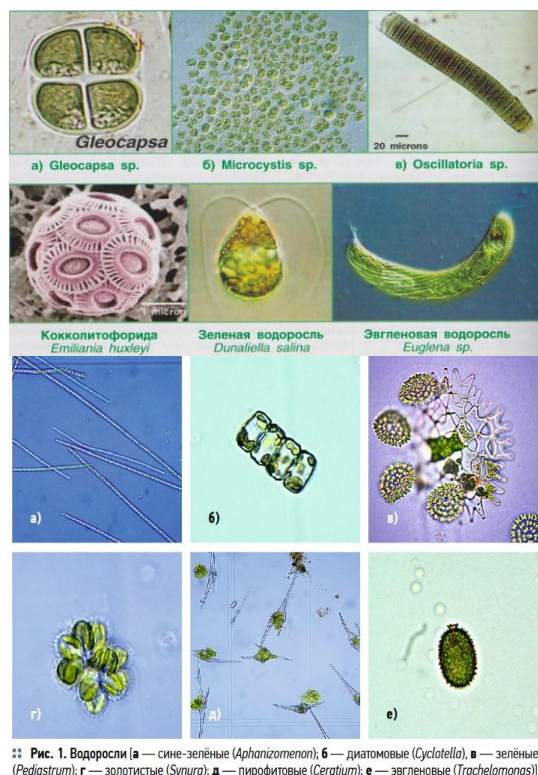


Рис. 1. Водоросли а — сине-зелёные (*Arhanizomenon*), б — диатомовые (*Cyclotella*), в — зелёные (*Pediastrum*), г — золотистые (*Synura*), д — пиррофитовые (*Ceratium*), е — эвгленовые (*Trachelomonas*)

Рис.2. Разные виды фитопланктона [5]

На долю зеленых, преимущественно протококковых, водорослей приходится тоже 39% всех обнаруженных форм, но в количественном развитии они уступают сине-зеленым. Чаще всего из этой группы встречаются виды рода *Oocystis*: *O.borgei* Snow, *O. pseydocoronata* Korschik, *O.submarina* Lagern., *O.pelagika* Lemm., *O. solitaria* Wittrok., *O. crassa* var.*marssonii* (Lemm.) Printz., *O. lacustris* Chod., *O. parva* W. et W., *O. pusilla* Hansg., *O.sp.*, а также *Sphaerocystis schroeteri* Chod., *Dictyocophphaerium pulchellum* var. *ovatum* Korschik., *Elacototrix lacustris* Korschik. Такие виды, как *Kirchneriella obesa* var. *aperta* (Triling.) Brunnth, *Tetradron minutissimum* Korschik., отмечаются в планктоне постоянно, но численность их невелика.

Планктонные диатомовые водоросли в пелагиали озера Иссык-Куль по сравнению с указанными группами имеют подчиненное значение. Наиболее массовым видом является *Cyclotella caspia* Grun. В небольшом количестве встречаются *Cyclotella meneghiniana* Kutz., *C. stelligera* Cl. et. Grun., *Synedra pulchella* (Ralfs.) Kutz., *S. ulna* (Ninzhch.). Следует, однако, отметить, что наряду с типично планктонными видами часто в пелагиали озера встречаются бентосные представители флоры: *Cocconeis*, *Achnantes*, *Navikula* и *Rhoicosphaenia cur-*

*vata* ( Kutz.) Grun. *Amphiprora palidosa* var. *issykku-lensis* .

Роль других групп планктона незначительна. Из золотистых в небольшом количестве присутствуют *Kephirion spirale* (Lack.) Conr. Перидиниевые водоросли представлены видами родов *Peridinium* и *Glenodinium*. Очень редко встречается *Peridinium borgei* в открытой части озера.

#### Литература

1. Тыныбеков А.К., Маторин Д.Н. Исследование природного фитопланктона на озере Иссык-Куль с использованием погружного флуориметра // Вестник Московского Государственного Университета, изд.№16, биология, 2002, №1. – С.22-23.
2. Тыныбеков А.К. Сезонная динамика численности и биомассы в пелагиали озера Иссык-Куль // Известия ВУЗов. 2007, №3-4. – С. 72-79.

3. Тыныбеков А.К. Использование погружного зонда - флуориметра при определении фитопланктона озера Иссык-Куль // Вестник КРСУ, 2007, Т. 7, №6. – С. 127-132.
4. Тыныбеков А.К. Состояние фитопланктона озера Иссык Куль, КРСУ, 2009. – 230с.
5. Tynybekov A.K. Environmental Issues and Safety of Kyrgyz Republic, Institute Biotechnology NAN KR, 2020. – 247p.