

УДК 574.5(282.65) (575.2) (04)

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ И ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

А.К. Тыныбеков

Сезонная динамика хлорофилла определяется в летний период в основном двумя факторами – температурой воды и количеством биогенных элементов, которое зависит от интенсивности вертикального перемешивания. В исследованиях был использован новый прибор, созданный учеными МГУ, который был применен для исследования фитопланктона озера Иссык-Куль, а также общепринятые гидробиологические методы.

Ключевые слова: фитопланктон; температура; водообмен.

А.П. Скабичевский в формулу Осфальда ввел фактор движения воды, поместив его в знаменатель, так как между скоростью погружения и движением водной массы наблюдается обратная зависимость [1]. Активность водорослей А. П. Скабичевский связывает со способностью их реагировать на свет. Эту точку зрения подтверждает Ю.А. Сорокин [2].

Г.И. Семина считает, что распределение водорослей по глубинам связано с концентрацией биогенных веществ и с глубиной положения основного термоклина [3]. И.А. Киселев отмечает, что в основе вертикального расселения планктонных водорослей лежат многие факторы – вся сложная гидродинамика водной массы, а также морфологические и физиологические приспособления организмов [4].

В настоящее время практически отсутствуют работы по вертикальному распределению фитопланктона в озере Иссык-Куль. И.А. Киселев описывает характер распределения двух основных форм водорослей открытой части озера [5]. Он отмечает, что *Volvox saccus braunii* приурочен к поверхностным горизонтам, а *Amphirogona paludosa* var. *Issykkulensis* – к более глубоким.

Подробно вертикальное распределение фитопланктона в пелагиали Иссык-Куля была рассмотрена в 1973 году в работе [6] на примере глубоководной станции на глубине 655 м (рис. 1). В январе-феврале температура воды в верхнем 100-метровом слое наименьшая. Фитопланктон характеризуется самой низкой в году численностью и состоит из небольшого количества *Gloeocapsa minor*, *G. minima*, *Lyngbya contorta*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Cyclotella caspia* и видов *Oocystis*. Несколько повышенные

концентрации водорослей планктона отмечаются на глубине 5 м. С глубиной количество фитопланктона уменьшается. На глубинах свыше 100 м водоросли чаще всего встречаются единичными экземплярами.

В марте наблюдается почти полная гомотермия. Б. Орлова отмечает, что минимум тепла в Иссык-Куле приходится на февраль-март [7]. Значительно увеличивается количество фитопланктона во всем столбе воды. В верхнем 50-метровом слое численность водорослей составляет 275–572 тыс. кл./л, биомасса – от 51 до 107 мг/м³. Заметные концентрации растительного планктона наблюдаются и на больших глубинах.

Так, значительное количество фитопланктона, находящегося на глубинах свыше 100 м, объясняется попаданием его из верхнего продуцирующего слоя в нижние горизонты в результате интенсивного водообмена. В придонных слоях водорослей мало. Численность растительного планктона здесь не превышает 14 тыс. кл./л, среди них наибольшее значение принадлежит *Lyngbya contorta* (до 45%).

Для апреля характерно наличие двух температурных слоев – верхнего, до глубины 25 м, и нижнего; температура воды в верхнем слое поднимается до 7,4–7,6°, в нижнем – около 4°. Состав доминирующего комплекса и характер распределения водорослей в общих чертах такой же, как и в марте. Значительная численность водорослей отмечается в слое 50–100 м, с максимальными концентрациями на глубине 50 м (численность 878 тыс. кл./л, биомасса – 75 мг/м³). На глубинах более 300 м водорослей очень мало, в незначительном количестве здесь регистрируются *Gloeocapsa minor* и *Lyngbya contorta*.

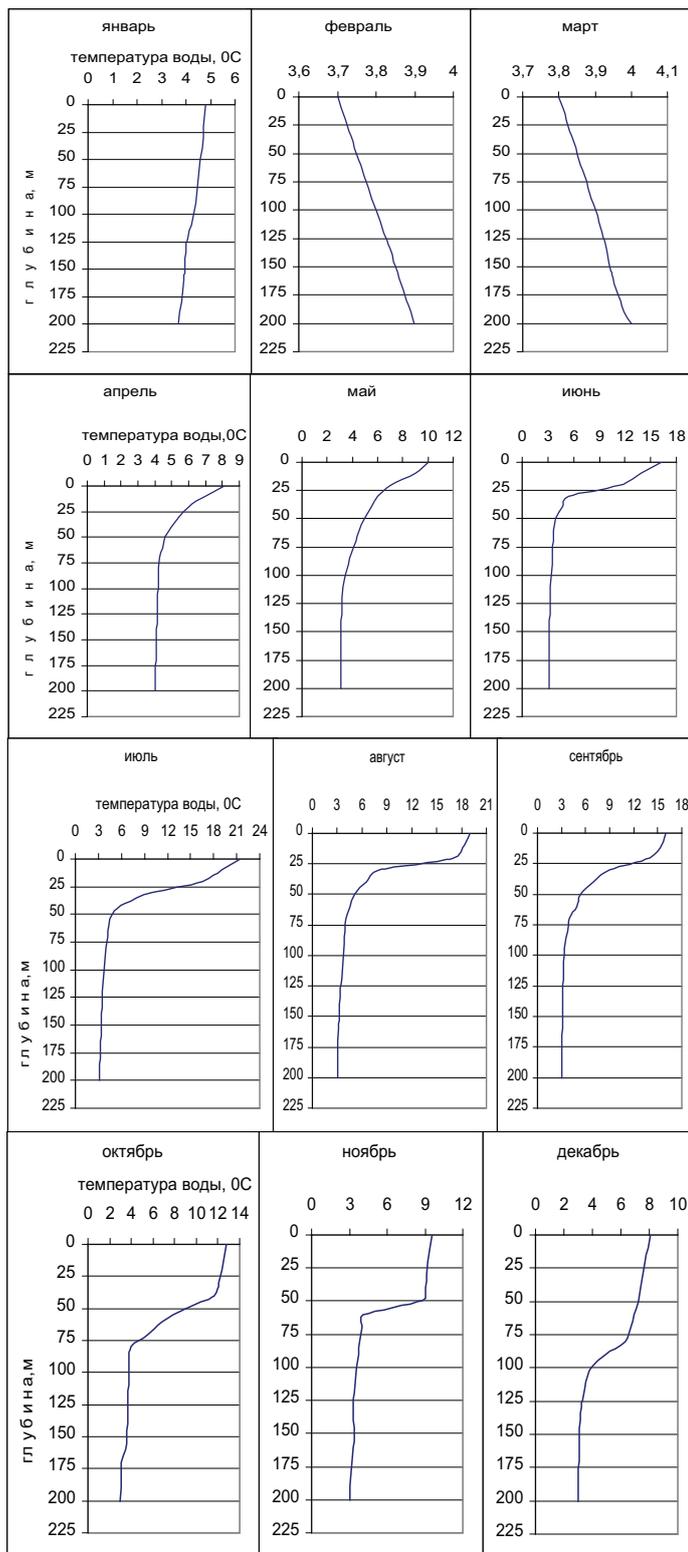


Рис. 1. Показание температуры по глубине 1973 года по месяцам.

Таблица 1

Вертикальное распределение растворенного в воде кислорода (мг/л) в рН на глубоководной станции (655 м) в оз. Иссык-Куль по разрезу Чолпон-Ата – Тон 1973 г. (данные Биологической станции НАН Кыргызской Республики)

| Глубина, м | Месяц | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| 0 | 6,64 - | 6,56* 8,79 | 6,69 8,84 | 6,66 8,71 | 6,46 8,81 | 5,77 8,82 | 5,12 7,77 | 6,21 8,79 | 6,02 8,68 | - - | 6,45 8,74 | 6,63 8,71 |
| 5 | 6,59 - | 6,57 8,79 | 6,69 8,82 | 6,62 8,71 | 6,74 8,81 | 6,81 8,80 | 5,16 7,78 | 6,42 8,76 | 6,10 8,68 | 6,06 8,76 | 6,58 6,77 | 6,49 8,75 |
| 15 | 6,59 - | 6,54 8,78 | 6,65 8,89 | 6,79 8,72 | 6,75 8,89 | 6,58 8,84 | 6,53 7,77 | 7,15 8,81 | 6,51 8,68 | 6,15 8,78 | - 8,77 | 6,54 8,76 |
| 25 | 6,61 - | 6,51 8,71 | 6,67 8,82 | 6,81 8,71 | 6,95 8,77 | 7,00 8,85 | 7,18 7,78 | 7,19 8,80 | 7,27 8,71 | 6,59 8,79 | 6,73 8,75 | 6,69 8,79 |
| 50 | 6,58 - | 6,50 8,80 | 6,63 8,82 | 6,66 8,70 | 6,90 8,77 | 6,95 8,81 | 7,06 7,79 | 7,20 8,80 | 6,92 8,67 | 6,93 8,77 | 7,15 8,75 | 6,71 8,75 |
| 100 | 6,79 - | 6,87 8,82 | 6,59 8,81 | 6,53 8,74 | 6,63 8,89 | 6,55 8,80 | 6,75 7,82 | 6,47 8,76 | 6,52 8,68 | 6,52 8,82 | 6,75 8,75 | 6,47 8,66 |
| 150 | 6,27 - | 6,35 8,84 | 6,67 8,84 | 6,49 8,80 | 6,55 8,85 | 6,54 8,87 | 6,57 7,80 | 6,39 8,80 | 6,40 8,65 | 6,46 8,74 | - 8,80 | 6,46 8,74 |
| 300 | 6,97 - | 6,15 8,78 | 6,32 8,82 | 6,37 8,76 | 6,35 8,75 | 6,34 8,89 | 6,46 7,77 | 6,14 8,77 | 6,14 8,64 | 6,19 8,75 | - 8,84 | 6,07 8,73 |
| 600 | 5,55 - | 6,76 8,76 | 5,91 8,80 | 6,02 8,80 | 6,94 8,84 | 6,88 8,80 | 6,05 7,80 | 5,86 8,75 | 5,69 8,61 | 5,76 8,69 | 6,12 8,71 | 6,01 8,75 |

*В числителе содержание кислорода, в знаменателе – рН.

В мае происходит дальнейшее повышение температуры воды в верхних слоях. В этом месяце отмечается первый пик в развитии фитопланктона. Доминирующим видом является *Gloeocapsa minor*. Высокие концентрации водорослей сосредоточены в верхнем 50-метровом слое воды. При этом, как и в другие месяцы, на поверхности водорослей несколько меньше, чем на остальных горизонтах верхнего 50-метрового слоя. Максимум численности (3151 тыс. кл./л) и биомассы (235 мг/м³) регистрируется на глубине 25 м. Интересно отметить, что в местах максимального количества фитопланктона отмечается наиболее высокое содержание растворенного в воде кислорода (табл. 1). Значительные концентрации водорослей прослеживаются до глубины 300 м, где численность фитопланктона равна 146 тыс. кл./л. В придонных слоях водорослей по-прежнему мало.

В летние месяцы отмечается хорошо выраженный температурный скачок. Наибольшие величины численности и биомассы регистрируются не на поверхности, а значительно глубже, на глубине 25 и 50. Максимум растворенного в воде кислорода по-прежнему находятся в местах

наибольшей концентрации водорослей. В июне-июле значительные концентрации водорослей отмечаются до глубины 100–150 м.

В августе слой, насыщенный фитопланктоном, значительно сокращается. В нижележащей толще воды численность водорослей относительно невелика и не превышает 65 тыс. кл./л, в придонном слое – 16 тыс. кл./л.

В сентябре верхняя граница слоя несколько опускается (рис. 1). Фитопланктона по сравнению с предыдущими месяцами становится меньше, видимо, это связано с более интенсивным поеданием его зоопланктоном. Вертикальное распределение в верхних слоях не испытывает больших колебаний (466–630 тыс. кл./л).

На глубине 100 м происходит резкое уменьшение количества водорослей, и на горизонте 150 м численность их не превышает 24 тыс. кл./л. В придонных слоях наибольшее значение по-прежнему принадлежит *Lyngbya contorta*.

В октябре-ноябре происходит постоянное понижение температуры воды (рис. 1). Уровень развития фитопланктона в осенние месяцы не испытывает больших изменений. Повышается значение диатомовых водорослей, роль которых

Вертикальное распределение численности (тыс. кл./л) *Gloeocapsa minor* в пелагиали оз. Иссык-Куль в 1973 г.

| Глубина, м | Месяц | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| 0 | 3,4 | 5,9 | 10,0 | 1,0 | 0,3 | - | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 6,4 | 13,4 | 10,3 | 0,7 | 0,5 | - | - | - | - | - | - | - |
| 15 | 5,2 | 8,4 | 9,3 | 0,6 | 0,4 | 6,1 | - | - | - | - | - | - |
| 25 | 6,7 | 8,0 | 2,8 | 1,0 | 1,2 | 0,3 | - | - | 0,2 | - | - | - |
| 50 | 4,5 | 3,3 | 7,1 | 0,8 | 2,6 | 2,3 | 0,4 | - | 0,2 | - | 5,3 | 10,6 |
| 100 | 8,3 | 7,2 | 3,2 | 8,7 | 4,3 | 7,4 | 0,1 | 3,3 | 2,3 | 2,8 | 9,0 | 15,1 |
| 150 | 13,2 | 12,5 | 9,5 | 6,2 | 23,5 | 12,5 | 0,1 | 5,4 | 10,3 | 57,6 | 41,5 | 25,3 |

в другие месяцы незначительна. Численность фитопланктона в верхнем 50-метровом слое в октябре-декабре изменяется от 488 до 1736 тыс. кл./л, биомасса – от 76 до 287 мг/м³. В отличие от летних месяцев слой, насыщенный большим количеством водорослей, небольшой и простирается в основном до глубины 50 м, с максимальными концентрациями на глубине 25 м. Глубже фитопланктона очень мало.

Весьма интересно вертикальное распределение *Lyngbya contorta* в Иссык-Куле. Эта водо-

росль постоянно, хотя и в небольших количествах, присутствует во всем столбе воды с января по июнь. Начиная с июня этот вид исчезает из верхних слоев, но постоянно регистрируется в слое 100 – 600 м. Материалы и методика исследования представлены в работе А.А. Кулумбаевой [8].

Новый прибор создан учеными из МГУ и был использован для исследования фитопланктона оз. Иссык-Куль в 1999 г. (рис. 2) [9].

Спецификация прибора:

Вес: флуорометр – 10 кг, бортовой блок правления + кабель – 10 кг

Размер: проба – 250×250×300 мм, бортовой блок правления – 300×300×100 мм.

Погружаемая глубина – 50 м (максимально до 200 м).

Диапазон измерения: хлорофилл “а” 0,02÷20 мг/л, температура – 2÷35°C, освещенность 0,01÷500 Вт/м². Управляется с помощью IBM-PC переносного компьютера (ноутбук). Эл. напряжение: 220/110 вольт от сети или 24/12 вольт от аккумулятора.

Принципы двойной вспышки флуорометра. Погружной PC- управляемый флуорометр хлорофилла PrimProd 1.08 разработан для быстрого и удобного измерения концентрации хлорофилла и фотосинтетической активности фитопланктона. При использовании способа двойной вспышки для измерения интенсивности постоянной и переменной флуоресценции хлорофилла можно рассчитать концентрацию фитопланктона и квантовую эффективность фотосинтеза фитопланктона.

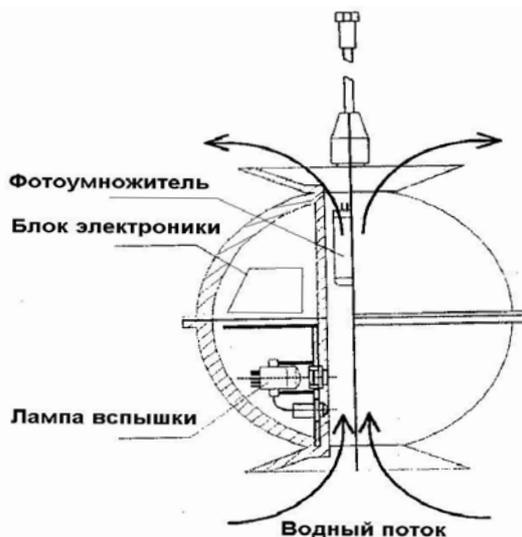


Рис. 2. Модификация PrimProd 1.08 – измерение концентрации хлорофилла и фотосинтетической активности и первичной продукции фитопланктона.

Значение концентрации хлорофилла и фотосинтетической активности одновременно отражается на дисплее компьютера в цифровой форме и в виде графика с временными значениями или погружаемая глубина (тип абсциссы определяется заранее пользователем). Подводная освещенность и температура также отражается на графике. Температура воды оз. Иссык-Куль измерялась на различных глубинах до 100 м наряду с другими показателями.

Водообмен в озере. Растворенные вещества могут переноситься от поверхности к глубокой воде вертикальной турбулентной диффузией и адвективными процессами. Вертикальная турбулентная диффузия всегда приводит к движению тепла в направлении от высоких к низким температурам и, следовательно, ведет к градуированному непрерывному нагреванию областей холодной глубинной воды. В оз. Иссык-Куль температуры обычно снижаются с увеличением глубины в течение всех сезонов, достигая минимальных значений в зоне самых больших глубин, что указывает на то, что адвективные процессы, переносящие холодную воду с поверхности на глубину, должны играть существенную роль в оз. Иссык-Куль.

Зимой на мелководных участках на западе и востоке озера при температуре максимальной плотности иссык-кульской воды 2,6°C формируется термический бар. Он представляет собой подвижную штору максимально плотной воды, проходящую от поверхности до дна озера, образующуюся за счет активного конвективного смешивания. С одной стороны термобара температура выше температуры максимальной плотности, а по другую – ниже. Такое распределение температур определяет наклон уровня поверхности к термобару. Благодаря этому в области термобара образуется зона конвергенции вод, и он хорошо прослеживается в тихую погоду по полосе спокойной воды и скоплению плавающего мусора.

На востоке озера в Тюпском заливе термобар появляется в середине – конце ноября [9]. В конце февраля – начале марта годовые теплозапасы озера характеризуются минимумом, а термический бар отсекает на западе и востоке озера максимальные площади прибрежных мелководий. В это время термический бар простирается по 20-метровой изобате вдоль северного побережья от бухты Чон-Аксу до траверза села Ойтал. Далее он поворачивает на юг, пересекая каньоны рек Тюп и Джергалан, а на западе озера отсекает мелководную часть залива Рыбачий с глубинами до 20–30 м.

В открытом озере температура воды всегда выше температуры максимальной плотности, а в прибрежных участках озера, отсекаемых термическим баром, наблюдаются температуры ниже 2,6°C и ледовые явления.

Летом горизонтальное распространение температуры на поперечном разрезе Чолпон-Ата – Кольцовка характеризуется наличием купола холодных вод. Такая термическая структура температуры объясняется эффектом спирали, управляемой циклоническим ветровым полем, что приводит к апвеллингу в центре озера [10, 11]. Апвеллинг может также объяснить, почему поверхностный слой высоких температур тоньше в центральной части озера, чем в мелководной прибрежной зоне. Кроме этого, градиенты горизонтальных температур возле поверхности могли быть усилены дифференциальным нагреванием.

Если в 1980-х годах температурные изменения внутри года происходили до глубины 100 м, то теперь они охватывают поверхностный слой до 300 м. Августовские температуры воды выше 5°C на станции 9 на глубине 200 м и повышенные величины солености у южного берега указывают на то, что летом у южного берега озера имеет место явление даунвеллинга с опусканием поверхностных теплых вод.

Известно [12], что при ветре, дующем вдоль берега, на мелководных участках направление ветра и течения практически совпадают, однако когда глубина больше глубины трения, происходит заметное отклонение поверхностного течения по часовой стрелке, причем, если течение отклоняется в сторону берега, возникает вертикальный ток, направленный вниз.

Применительно к оз. Иссык-Куль, где западный ветер улан дует вдоль южного берега, а восточный ветер санташ – вдоль северного течения, возбуждаемые ветром, отклоняются в сторону южного и северного берегов, у которых возникают вертикальные токи, направленные вниз.

Долговременное повышение февральских поверхностных температур в оз. Иссык-Куль также может быть обусловлено глобальным потеплением [13]. В любом случае, из-за того, что в оз. Иссык-Куль температура и плотностная стратификация тесно связаны, условия смешивания и относительная значимость адвективного и диффузионного смешивания в прошлом, возможно, были не такими, как сейчас.

Температура воды озера по глубине (табл. 3) [14] дает хорошую информацию о вертикальном водообмене Иссык-Куля. Уменьшение темпера-

Температура воды по глубинам

| Глубина, м | Февраль 2003 г. | ΔT | Май 2003 г. | ΔT | Август 2003 г. | ΔT | Ноябрь 2003 г. | ΔT |
|------------|--------------------|------------|----------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| 0 | 5,39 | 6,12 | 11,51 | 7,41 | 18,92 | -6,03 | 12,89 | -7,83 |
| 10 | 5,09 | 4,42 | 9,51 | 8,63 | 18,14 | -5,34 | 12,80 | -7,86 |
| 20 | 5,08 | 2,78 | 7,86 | 6,54 | 14,40 | -2,20 | 12,20 | -7,28 |
| 30 | 5,07 | 1,97 | 7,04 | 2,56 | 9,60 | 1,60 | 11,20 | -6,26 |
| 50 | 5,06 | 0,69 | 5,75 | 0,57 | 6,32 | 1,28 | 7,60 | -2,62 |
| 100 | 5,08 | -0,14 | 4,94 | 0,09 | 5,03 | 0,12 | 5,15 | -0,24 |
| 200 | 4,84 | -0,10 | 4,74 | 0,15 | 4,89 | -0,03 | 4,86 | -0,16 |
| 300 | 4,74 | -0,13 | 4,61 | 0,00 | 4,61 | -0,01 | 4,60 | 0,01 |
| 400 | 4,52 | 0,01 | 4,53 | 0,01 | 4,54 | 0,00 | 4,54 | 0,02 |
| 500 | 4,54 | -0,08 | 4,46 | 0,05 | 4,51 | -0,01 | 4,50 | 0,01 |
| 600 | 4,49 | -0,06 | 4,43 | -0,01 | 4,42 | 0,03 | 4,45 | 0,01 |
| 650 | 4,38 | 0,02 | 4,40 | 0,02 | 4,42 | 0,02 | 4,44 | -0,02 |
| Глубина, м | Февраль 2004 г. | ΔT | Май 2004 г. | ΔT | Август 2004 г. | ΔT | Ноябрь 2004 г. | ΔT |
| 0 | 5,06 | 5,42 | 10,48 | 9,23 | 19,71 | -8,54 | 11,17 | -5,95 |
| 10 | 4,94 | 4,17 | 9,11 | 9,53 | 18,64 | -7,47 | 11,17 | -5,97 |
| 20 | 4,92 | 3,00 | 7,92 | 8,14 | 16,06 | -4,95 | 11,11 | -5,94 |
| 30 | 4,94 | 2,27 | 7,21 | 4,78 | 11,99 | -1,00 | 10,99 | -5,83 |
| 50 | 4,98 | 0,67 | 5,65 | 1,19 | 6,84 | 3,35 | 10,19 | -5,08 |
| 100 | 4,91 | 0,05 | 4,96 | 0,19 | 5,15 | 0,40 | 5,55 | -0,52 |
| 200 | 4,70 | 0,13 | 4,83 | -0,04 | 4,79 | 0,03 | 4,82 | -0,07 |
| 300 | 4,61 | 0,02 | 4,63 | 0,00 | 4,63 | 0,01 | 4,64 | 0,05 |
| 400 | 4,56 | 0,01 | 4,57 | -0,04 | 4,53 | 0,03 | 4,56 | 0,06 |
| 500 | 4,51 | -0,02 | 4,49 | 0,02 | 4,51 | 0,04 | 4,55 | -0,01 |
| 600 | 4,46 | 0,00 | 4,46 | 0,00 | 4,46 | 0,04 | 4,50 | -0,02 |
| 650 | 4,42 | -0,02 | 4,40 | -0,01 | 4,39 | 0,08 | 4,47 | 0,00 |

туры в слое 100–600 м в мае 2003 г. по сравнению с февралем 2003 г. свидетельствует о том, что после февральских измерений произошло значительное выхолаживание озера и конвективное перемешивание произошло до максимальных глубин. В феврале 2004 и 2005 гг. перемешивание водной массы озера происходило, соответственно, до 200 и 400 м. Интересен факт значительного увеличения температуры в слое 100–650 м в ноябре 2004 г. по сравнению с августом 2004 г. При этом отмечается самое значительное увеличение на глубине 650 м, которое постепенно уменьшается вверх до глубины 300 м. Механизм увеличения температуры в зоне максимальных глубин в ноябре, когда конвекцией был охвачен только верхний 30-метровый слой, остается не выясненным. В ноябре наблю-

дали увеличение температуры воды на глубинах 500, 600 и 650 м.

Современное потепление климата в Иссык-Кульской котловине происходит за счет потепления холодного периода – с ноября по март включительно. Особенно оно велико в феврале.

В связи с сокращением продолжительности и потеплением холодного периода при конвективном перемешивании тепло из верхних слоев озера поступает на большие глубины.

Самое большое изменение температуры воды в 2004 г. по сравнению с 1983 г. произошло в слое термического скачка – 20–50 м. В поверхностном слое 0 – 300 м увеличение температуры составило 0,49°C, а в слое 300–668 м – 0,54°C. В среднем температура воды в оз. Иссык-Куль увеличилась в 2004 г. по сравнению с 1983 г. на 0,51°C.

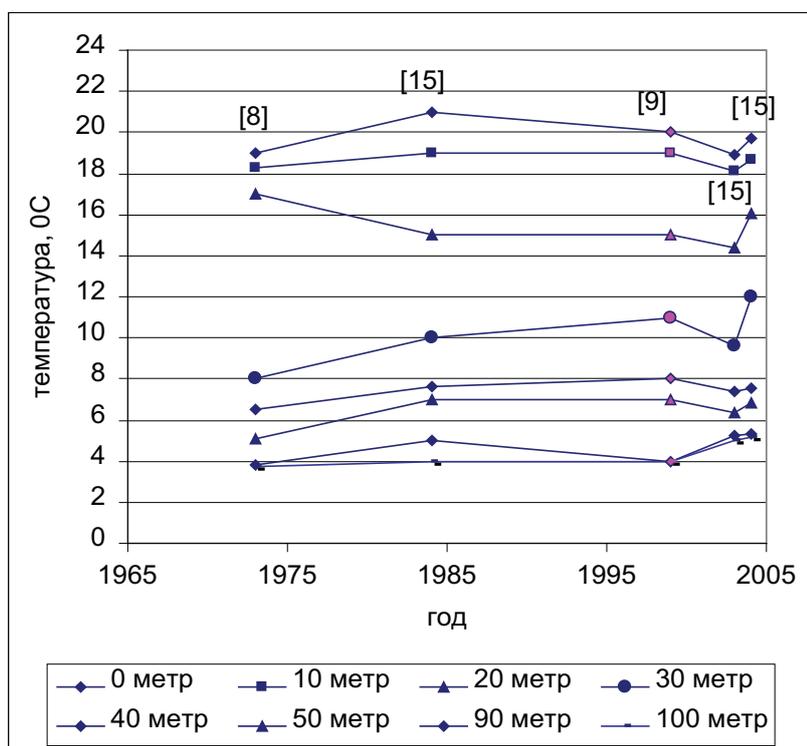


Рис. 3. Динамика изменения температуры по глубинам до 100 м в августе с 1973 по 2004 г.

На станции №5 поперечного разреза Чолпон-Ата – Кольцовка, расположенной вблизи циклонического вихря, температура воды на глубине 650 м составила в 2003 г. $4,39^{\circ}$, в 2004 г. $4,44^{\circ}$ (рис. 3).

По динамике изменения температуры по глубинам до 100 м в августе месяце с 1973 по 2004 г. видно, что температура со временем на глубине 40 м и ниже имеет тенденцию к ее повышению, но на глубинах 30 м и выше в среднем тенденция схожая.

Таким образом, для вертикального распределения фитопланктона в оз. Иссык-Куль характерно то, что большую часть года (март–июль) значительные концентрации водорослей отмечаются не только в верхнем продуцирующем слое, но и на большей глубине порядка 100–150 м.

Сезонная динамика хлорофилла а определяется в летний период в основном двумя факторами – температурой воды и количеством биогенных элементов, которое зависит от интенсивности вертикального перемешивания.

Отмечено, что максимум численности и биомассы водорослей обычно приурочен не к поверхности, а к глубинам 25 – 50 м. Следует здесь же отметить, что вся водная толща озера, вплоть до максимальных глубин (600 м) содержит фитопланктон, хотя и в очень небольших концентрациях. Водоросли глубинных слоев Иссык-Куля находятся в хорошей сохранности. Если рассматривать биомассу водорослей в верхнем 50-метровом слое, то ее величина в течение года меняется от 1,0 до $10,5 \text{ г/м}^3$, во всем столбе воды (0–600 м) биомасса фитопланктона намного больше и составляет $6\text{--}41 \text{ г/м}^2$.

Г.И. Поповская (1976) указывает, что в Байкале высокие концентрации фитопланктона, находящиеся за зоной фотосинтеза на больших глубинах в летне-осенние месяцы, служат пастбищем для питания зоопланктона. В полной мере это применимо и к такому глубоководному озеру, как Иссык-Куль.

Важнейшую роль в водообмене глубинных вод озера играет термический бар. Сформированная в нем водная масса с температурой,

близкой к температуре максимальной плотности (2,6°), поступает от прибрежной зоны к наиболее глубоким горизонтам в центре озера.

В результате климатических изменений температура водной массы озера за период с 1983 по 2004 г. повысилась на 0,51°С [15].

Уникальность результата в том, что используемый прибор позволяет одновременно измерить температуру воды и состояние фитопланктона.

Литература

1. Скабичевский А. П. О парении растительных планктонных организмов. – М.: ДАН СССР. – 1948а, 59, 4.
2. Сорокин Ю. И. О применении радиоуглерода для изучения первичной продукции водоемов // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. – 1956. – №VII.
3. Семин Г. И. Факторы, влияющие на вертикальное распределение фитопланктона в море // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва, 1957. – № 8.
4. Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. Вводные и общие вопросы планктонологии. – М.: Наука, 1969. – №1.
5. Киселев И. А. Данные о фитопланктоне оз. Иссык-Куль // Зап. Гос. гидрол. ин-та. – 1932. – №VII.
6. Кулумбаева А. А. К флоре водорослей пелагиали оз. Иссык-Куль // Проблемы географии Киргизии. Мат-лы к II съезду Киргиз, географ, о-ва. – Фрунзе: Илим, 1975а.
7. Орлова Т. Б. К термике озера Иссык-Куль // Мат-лы по геоморфол. и гидрол. Иссык-Кульской котловины. – Фрунзе: Илим, 1967.
8. Кулумбаева А.А., Фитопланктон озера Иссык-Куль. – Фрунзе: Илим, 1982.
9. Романовский В.В. Озеро Иссык-Куль как природный комплекс. – Фрунзе: Илим, 1990. – 168 с.
10. Romanovsky V.V., Shabunin G.D. Currents and vertical water exchange in Lake Issyk-Kul: Lake Issyk-Kul: Its Natural Environment. IV. Earth and Environmental Sciences. – 2002. – Vol. 13. – P. 77–87.
11. Романовский В.В., Шабунин Г.Д. Апвеллинг в озере Иссык-Куль // Динамика современных береговых процессов озера Иссык-Куль. – Фрунзе: Илим, 1981. – С. 160–169.
12. Хатчинсон Д. Лимнология. – М.: Прогресс, 1969. – 591 с.
13. Lake Issyk-Kul: Its Natural Environment. IV. Earth and Environmental Sciences. – 2002. – Vol. 13. – 302 с.
14. Шабунин А.Г. Гидродинамические процессы озера Иссык-Куль и их роль в формировании экологической обстановки в его бассейне: Дис. ... канд. техн. наук. – 2002. – С. 62–63.