

УДК 581.526.325.(282.65) (575.2) (04)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОГРУЖНОГО ЗОНДА-ФЛУОРИМЕТРА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

*А.К. Тыныбеков* – канд. физ.-мат. наук,

*Ж.Э. Куленбеков* – инженер,

*М.С. Алиев* – аспирант

---

It is for the first time when water temperature, underwater irradiance, concentration and photochemical activity of phytoplankton have been investigated using the submersible fluorimeter in south-western part of the Issyk-Kul lake. Profile of depth, water temperature, distribution and activity of phytoplankton community were mapped.

Озеро Иссык-Куль представляет собой крупный незамерзающий слабосоленый глубоководный водоем площадью 6200 км, расположенный на высоте около 1608 м, по величине занимает 23-е место среди озер мира. Озеро является изолированным бассейном, имеющим особый гидрологический режим. Основная масса первичного органического вещества, определяющего биологическую продуктивность водоема, синтезируется фитопланктоном, поэтому изучение экологического состояния фотосинтеза фитопланктона оз. Иссык-Куль представляет большой научный и практический интерес. Действие различных экологических факторов и антропогенных загрязнений может приводить к изменению концентрации и фотосинтетической активности водорослей. Вследствие этого регистрация продукционных характеристик фитопланктона позволяет оценивать состояние водной среды в целом.

Лучшего развития фитопланктон достигает в мелководных, особенно опресненных заливах (Тюпском, Каракольском, Покровском, Рыбачинском).

В составе фитопланктона озера обнаружено более 100 видов водорослей, среди которых наибольшее видовое разнообразие приходится на группу сине-зеленых (Cyanophyta), диато-

мовых (Bacillariophyta) и зеленых (Chlorophyta) водорослей (рис. 1). Из сине-зеленых массовыми видами являются *Merismopedia punctata* Megeen, *M. tenuissima* Lemm., *Yloecapsa varia* (A.Br.) Hollerb., *Y. Minor* (Kütz.) Hollerb., *Microcystis pulverea* (Wood.) Forti. и др. (табл. 1), из диатомовых *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *C. caspia* Yrun., *C. ocellata* Pant. и др., из зеленых преобладают представители протокочковых водорослей (*Oocystis issykkulica* Kullumb, *O. Borgei* Snow., *O. Pelgica* Lemm., *O. Solitaria* wittarock, *O. Parva* W.et.W., *Dictiosphaerium pulchellum* Wood. var *pulchellum* и др. Эти группы водорослей составляют свыше 95% от видового состава и биомассы фитопланктона. По количеству видов и биомассы основная часть фитопланктона в оз. Иссык-Куль сосредоточена в верхнем слое воды (0–50 м), а наибольшая концентрация отмечается на глубине около 25 м [1, 2]. До глубин 100–120 м численность и биомасса фитопланктона сильно уменьшается, а глубже идет резкое снижение его концентрации, хотя живой планктон регистрируется до максимальных глубин [1, 2]. На глубинах 300–600 м определены в основном *Yloecapsa minor* и *Lyngbya contorta*. Наличие фитопланктона на больших глубинах связано, вероятнее всего, с активной циркуляцией водных масс Иссык-Куля.

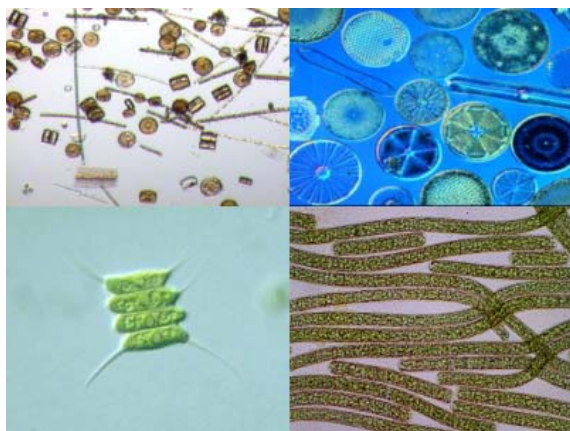


Рис. 1. Виды озерных планктонных водорослей.

В последнее время большое распространение получили методы измерения флуоресценции хлорофилла, обладающие высокой чувствительностью и позволяющие быстро оценивать ряд характеристик фитопланктона без воздействия на его физиологическое состояние. Известно, что выход флуоресценции при низкой освещенности ( $F_0$ ) коррелирует с концентрацией хлорофилла и биомассой микроводорослей в водоемах. Этот параметр зависит, прежде всего, от концентрации всех светособирающих пигментов в клетках водорослей и может служить показателем обилия фитопланктона.

Для оценки фотосинтетической активности водорослей можно использовать методы измерения переменной флуоресценции ( $F_v$ ). Фотосинтетическая активность фитопланктона в значительной степени зависит от протекания первичных реакций преобразования световой энергии в энергию химических связей в реакционных центрах экосистемы II (РЦ ФС II), разлагающей воду. Величина  $F_v$  определяется как разность между максимальным выходом флуоресценции  $F_m$  при закрытых (фотохимически неактивных) реакционных центрах, когда вся световая энергия, поглощенная пигментами фотосинтетического аппарата, высвечивается в виде флуоресценции и диссипирует в тепло, и выходом флуоресценции  $F_0$  при открытых РЦ ФС II, когда большая часть поглощенной энергии используется в реакциях фотосинтеза, а ее

диссипация минимальна. Таким образом, переменная флуоресценция ( $F_v = F_m - F_0$ ) служит мерой той доли энергии, которая используется при фотохимическом преобразовании энергии в ФС II и расходуется на разложение  $H_2O$  и выделение  $O_2$ . На рис. 2 показана карта станций в юго-восточном районе оз. Иссык-Куль, где были сняты пробы.

Показано, что отношение  $F_v/F_m$  отражает эффективность фотохимического преобразования световой энергии в ФС II (в дальнейшем именуется фотохимической активностью водорослей) и коррелирует со значениями фотосинтеза, определенными по скорости выделения  $O_2$  или по фиксации  $CO_2$ .

Для определения продукционных характеристик фитопланктона *in situ* в режиме реального времени на кафедре биофизики биологического факультета МГУ был разработан компактный погружной двухлучевой импульсный зонд-флуориметр [3]. Прибор измеряет вертикальное распределение таких продукционных характеристик фитопланктона, как обилие (по  $F_0$ ) и фотохимическая активность (по отношению  $F_v/F_m$ ), а также подводную освещенность и температуру воды.

Нами впервые исследовано *in situ* экологическое состояние природного фитопланктона оз. Иссык-Куль и его заливов [4].

**Методика исследования.** Объектом исследований послужили природные популяции фитопланктона юго-восточной части оз. Иссык-Куль (рис. 2). Для измерений использовали погружной импульсный флуориметр, флуоресценцию определяли методом *pump-and-probe*. Флуориметр состоял из погружного зонда, бортового блока питания, соединенного с зондом и с компьютером, управлявшим процессом измерений по программе, заданной пользователем (рис. 3).

На станциях юго-восточной части озера погружным зондом измерены *in situ* вертикальные профили температуры, подводной освещенности, обилия (по  $F_0$ ) и фотохимическая активность РЦ ФС II (по  $F_v/F_m$ ), по которым строили пространственные разрезы указанных характеристик, проанализировано горизонтальное распределение параметров флуорес-

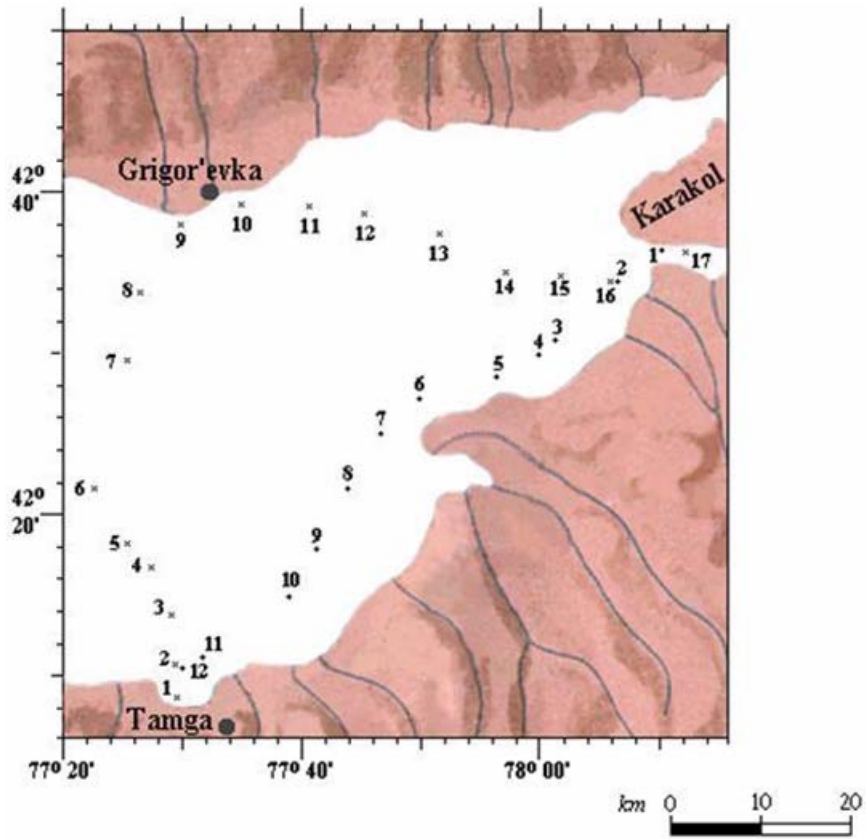


Рис. 2. Карта станций юго-восточного района оз. Иссык-Куль.

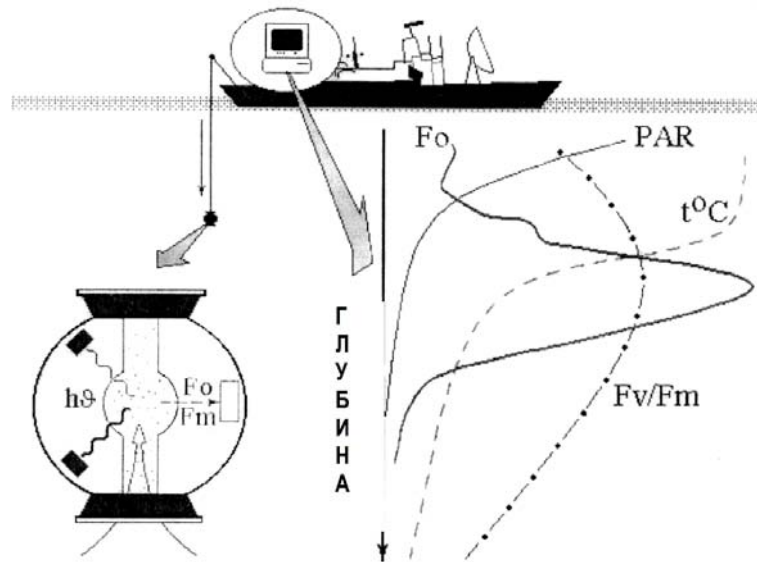


Рис. 3. Погружной импульсный флуориметр.

ценции фитопланктона в верхнем перемешиваемом слое оз. Иссык-Куль и в заливах. Параллельно с зондированием фитопланктона с поверхности проводили отбор проб для определения химических параметров воды.

Обилие фитопланктона выражали в единицах концентрации хлорофилла ( $X_{л*}$ ), предварительно откалибровав в лабораторных условиях выход сигнала  $F_0$  по концентрации хлорофилла "А".

**Результаты и обсуждение.** Методы мониторинга, основанные на регистрации люминесценции хлорофилла в растительной клетке, на кафедре биофизики МГУ аппаратурно реализованы автоматизированным погружным зондом-флуориметром, позволяющим снимать информацию с отдельных водорослевых клеток. Важным преимуществом этого метода является его экспрессность и высокая чувствительность, что позволяет быстро диагностировать состояние объектов непосредственно в среде его обитания.

При исследовании распределения флуоресценции по акватории оз. Иссык-Куль наглядно прослеживалась связь между параметрами флуоресценции фитопланктона и концентрацией биогенов. Построенные карты горизонтального распределения значений  $F_0(X_{л*})$ ,  $F_v/F_m$  и концентрации неорганического азота в восточной части оз. Иссык-Куль показали, что распределение показателей флуоресценции, в целом, коррелировало с содержанием неорганического азота в воде, который является одним из наиболее важных компонентов минерального питания. Наибольшая концентрация этого элемента приходилась на прибрежные районы вдоль линии Каракол-Тамга, что связано с менее гористой местностью в этом районе и соответственно большим обогащением притоков почвенными частицами. Вдоль этой линии побережья мы также обнаружили связь между содержанием минеральных веществ и интенсивностью флуоресценции фитопланктона. Наибольшие значения обоих параметров флуоресценции приходились на залив Каракол, где наблюдалась повышенная концентрация минеральных веществ.

Исследование заливов оз. Иссык-Куль позволило изучить изменения флуоресценции

фитопланктона непосредственно вблизи устьев рек на малой площади, где существовал выраженный горизонтальный градиент концентрации минеральных веществ. Средние значения флуоресценции в заливах Тамга и Тон в период измерений составили  $X_{л*}=0,16$  мг м<sup>-3</sup> и  $F_v/F_m=0,32$ , что превышало средние значения по верхнему перемешиваемому слою исследованной части озера, которые равнялись 0,12 и 0,26 соответственно. Повышенное обилие и фотохимическая активность РЦ водорослей в заливах являлось следствием большего содержания солей азота и фосфора. Горизонтальные изменения величин  $F_0(X_{л*})$  и  $F_v/F_m$  в заливах Тамга и Тон имели общий характер и были линейно связаны (рис. 4). Так, наибольшие значения параметров флуоресценции наблюдались вблизи устьев рек и уменьшались по мере удаления от них.

Необходимо отметить, что в речной воде содержались очень низкие концентрации микроводорослей, которые не могли значительно влиять на характер распределения фитопланктона в заливах. Из представленных данных следует, что наибольшие величины обилия и фотохимической активности центров фитопланктона наблюдались в районах, более богатых терригенными элементами, принесенными, как правило, притоками.

Одновременное снижение как обилия, так и эффективности первичных процессов фотосинтеза в районах озера, обедненных основными биогенными элементами, скорее всего, было обусловлено снижением фонда свободных аминокислот в клетках водорослей, вследствие чего уменьшалась интегральная скорость синтеза клеточных белков, в том числе ДІ белка, входящего в состав РЦ ФС II и наиболее подверженного фотоокислительной деградации.

Из этого следует, что уменьшение обилия фитопланктона в районах с пониженным содержанием минерального питания могло происходить в результате снижения скорости развития популяции, а уменьшение фотохимической активности реакционных центров было обусловлено накоплением фотоокисленных центров ФС II из-за низкой скорости их репарации. Можно полагать, что продуктивность фитопланктона в верхнем перемешиваемом

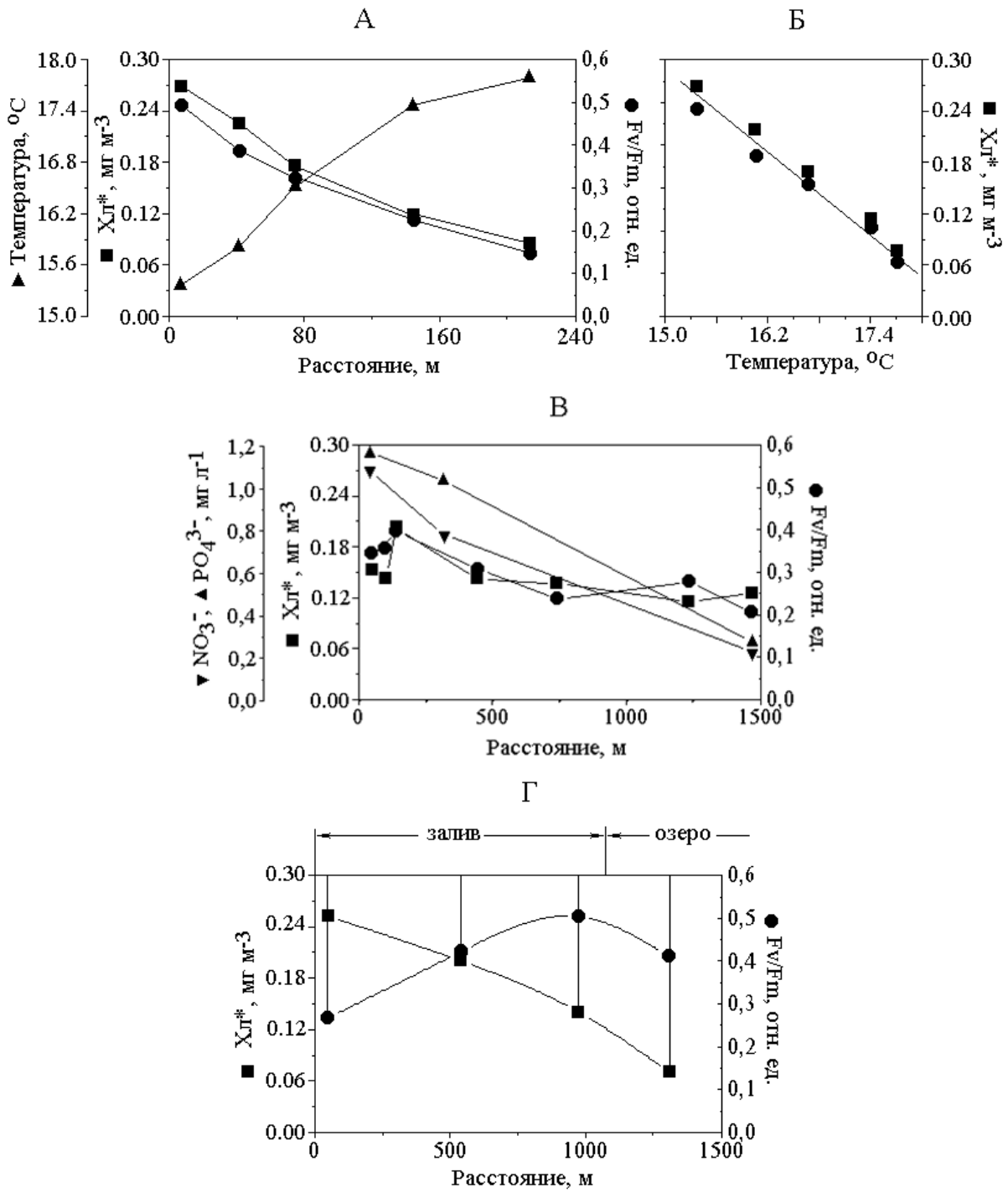


Рис. 4. Зависимость величины Fo(Xchl\*) и Fv/Fm, температуры (А) и концентрации нитратов и фосфатов (В) от расстояния до устья притока в заливах Тамга (А), Тон (В) и Барсун (Г) оз. Иссык-Куль. Б – Линейная регрессия зависимостей Fo(Xchl\*) и Fv/Fm от температуры в заливе Тамга.

слое оз. Иссык-Куль характеризуется высокой чувствительностью к концентрации основных биогенных элементов, что следует из наличия положительной корреляции между интенсивностью  $F_0$  и  $F_v/F_m$  и содержанием минеральных веществ.

Таким образом, измерение фитопланктона *in situ* с использованием погружного флуориметра позволило изучить характер распределения на станциях Иссык-Куля продукционных параметров водорослей, их обилие и фотохимическую активность, на которые влияют факторы среды, в том числе и загрязнения. Сравнение этих параметров с освещенностью, температурой и концентрацией солей азота и фосфора в пелагической и литеральной зонах озера показало, что наибольшее значение для обилия и фотосинтетической активности фитопланктона имеет концентрация биогенов и стратификация вод. Эти данные доказывают олиготрофный характер вод оз. Иссык-Куль и подтверждают тем, что оптимальные условия для роста и развития фитопланктона были на глубине 25–55 м. Клетки фитопланктона в поверхностных слоях имеют высокую чувствительность к появлению биогенов.

Высокое количество и активность реакционных центров фотосинтеза установлены в районах, где происходит принос с речной водой терригенных частиц. Таким образом, фитопланктон может служить индикатором чистоты воды в оз. Иссык-Куль, которое имеет

важное значения для индустрии туризма и рекреации.

Наши исследования свидетельствуют о том, что использование погружного флуориметра перспективно для изучения продукционных характеристик природного фитопланктона.

Использование ГИС технологий для исследования различных биологических параметров озера является самым перспективным в последнее время.

#### Литература

1. Кулумбаева А.А. Первые данные о численности и биомассе фитопланктона пелагиали озера Иссык-Куль // Изв. АН Кирг. ССР. – 1975. – №2. – С. 71–76.
2. Кулумбаева А.А. Современное состояние фитопланктона открытой части озера Иссык-Куль // Изв. АН, Кирг. ССР, 1989. – №4. – С. 40–46.
3. Тыныбеков А.К., Маторин В.М. Биомониторинг природного фитопланктона озера Иссык-Куль с использованием погружного флуориметра // Междунар. конф. “Человеческое здоровье и стратегия окружающей среды”, Программа “Новое тысячелетие”, INTAS, Advanced Monitoring Conference Grants. – Бишкек, 2001. – С. 57–63.
4. Тыныбеков А.К., Маторин В.М. Исследование природного фитопланктона на озере Иссык-Куль с использованием погружного флуориметра // Вестн. МГУ. – Изд. №16: Биология. – 2002. – №1. – С. 22–23.