

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Тыныбеков А.К., Жунушов А.Т., Шибков Е., Кыдыралиев И.М., Азаматов Н.А.

Аннотация

В данной работе представлены результаты натурных исследований и результаты численных расчетов, изменяющихся биогенных параметров озера Иссык-Куль. Разработанные математические модели динамики биомасс фитопланктона построены способы оценки содержания хлорофилла с учетом его распределения по глубине в зависимости от различных случаев проникновения света. На основе обработки спутниковых снимков озера Иссык-Куль в различных диапазонах впервые получены данные об увеличении площадей биогенных материалов на поверхности озера Иссык-Куль.

Ключевые слова: озеро Иссык-Куль, фитопланктон, биогенные вещества, ГИС-технологии, хлорофилл, абсорбция света.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF PHYTOPLANKTON OF LAKE ISSYK-KUL

Abstract

The results of experimental research of variable parameters of Issyk-Kul are presented in this paper. This paper presents the results of field studies and the results of numerical calculations of the changing biogenic parameters of lake Issyk-Kul. The developed mathematical model of the dynamics of the biomass of phytoplankton in built methods for evaluation of chlorophyll content, given its distribution and depth depending on the different cases of light penetration. Based on the processing of satellite images of lake Issyk Kul in different ranges, data on the increase in the area of biogenic materials on the surface of lake Issyk Kul were obtained for the first time.

Key word: Issyk-kul lake, phytoplankton, biogenic substance, GIS-technologies, chlorophyll, light absorption.

Озеро Иссык-Куль одно из крупнейших горных озер мира. Расположено оно в Иссык-кульской котловине в Северном Тянь-Шане между $76^{\circ}05'$ и $79^{\circ}12'$ восточной долготы и $41^{\circ}51'$ и $42^{\circ}56'$ северной широты. Уровень озера лежит на высоте 1606,9 м над уровнем моря. Длина озера – 178 км, максимальная ширина 60,1 км, площадь 6236 км², максимальная глубина 668 м, средняя глубина – 278,4 м [1], объем воды – 1738 км³. Озеро вытянуто в широтном направлении и со всех сторон окружено высокими горными хребтами: с юга Терской Ала-Тоо (максимальная высота 5280 м, средняя – 4290 м), с севера – Кунгей Ала-Тоо (максимальная высота 4770 м, средняя – 4200 м).

Озеро незамерзающее, температура верхних слоев воды в январе – $4-6^{\circ}$, феврале – $3-5^{\circ}$, в марте – $4-5^{\circ}$, в апреле – $7,5-8,5^{\circ}$, в мае – $9-11^{\circ}$, в июне – $14-17^{\circ}$, в июле – $18-22^{\circ}$ (до 24°), в августе $17-19^{\circ}$, в сентябре – $13-15^{\circ}$, а октябре – $11-13^{\circ}$, ноябре – $7-9^{\circ}$, декабре – $6-8^{\circ}$ [2]. На глубине 25 метров в августе температура воды в центральной (наиболее глубокой части озера) около $+8^{\circ}$, ближе к побережью – $12-14^{\circ}$. На глубинах выше 500 метров температура воды круглый год держится в пределах $3,6-4,2^{\circ}\text{C}$.

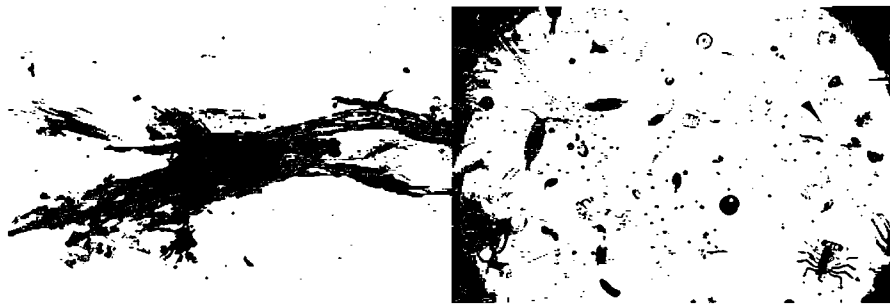


Рис.1.Различные виды фитопланктона/2/.

Экспериментальные исследования состояния фитопланктона озера Иссык-Куль проводилась начиная с 1996 года и результаты исследований опубликованы в различных публикациях, например/2-7/.

В составе фитопланктона озера обнаружено более 100 видов водорослей, среди которых наибольшее видовое разнообразие приходится на группу сине-зеленых (Cyanophyta), диатомовых (Bacillariophyta) и зеленых (Chlorophyta) водорослей. Из сине-зеленых массовыми видами являются *Merismopedia punctata* Megen, *M.tenuissima* Lemm., *Yloecapsa varia* (A.Br.) Hollerb., *Y. Minor* (Kütz.) Hollerb., *Microcystis pulverea* (Wood.) Forti. и др.(табл1), из диатомовых *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *C. caspia* Yrun., *C. ocellata* Pant. и др., из зеленых преобладают представители протококковых водорослей (*Oocystis issykkulica* Kulumb, *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% видового состава и биомасса фитопланктона. Наличие фитопланктона на больших глубинах связано с активной циркуляцией водных масс Иссык-Куля.

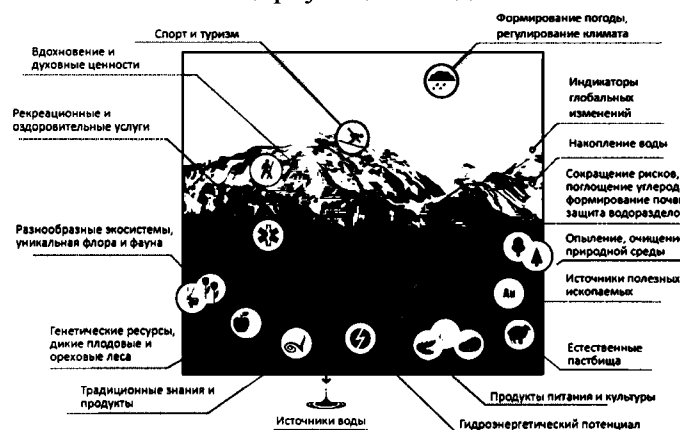


Рис.2.Схема природных, экологических и антропогенных рисков/1,2 /.

Прозрачность в центральной части озера зимой в среднем 24-25 м, летом 14-16 м; в прибрежной зоне соответственно 11-18 м и 3-8 м. Максимальная прозрачность воды до 40-45 метров отмечается зимой в центре озера. В заливах и мелководьях она уменьшается за счет фито- и зоопланктона и минеральных частиц, особенно в устьях крупных рек до 0,5-1 метр.

Вода Иссык-Куля слабосоленая, общая минерализация воды около 5,97 мг/л, что в 5,5 раза меньше солености морской воды. В зоне впадения крупных рек минерализация воды снижается до 2-2,5 мг/л. Иссык-Куль имеет хлоридно-сульфатно-натриево-магниевый тип минерализации: содержание Cl 0,63-1,60 г/л, Ca – 0,08-0,12 г/л, N (+K) – 0,65-1,54 г/л, Mg – 0,11-0,29 г/л, SO₄²⁻ - 0,83-2,10 г/л [1-5]. Несмотря на большие глубины минерализация воды по вертикали и горизонтали весьма неоднородна, что объясняется водными течениями и хорошей перемешиваемостью водной массы. Вода Иссык-Куля обладает щелочной реакцией – pH - 8,0-8,6. Содержание кислорода в верхних слоях воды 6-6,5 мл/л, на глубине 50 метров – до 7 мл/л, в спокойных затоках и заливах содержание кислорода может достигать 10-14 мл/л. Биогенных элементов, необходимых для развития фитопланктона и водной растительности, в воде Иссык-Куля весьма мало. Больше их содержится в поверхностных водах заливов и затонов: фосфора до 2-5 мг/м³, нитратов 0,5-1,6 мг/м³,

аммонийного азота – 4,8-7,8 мг/м³. Содержание микроэлементов в воде мг/л: Fe-11,00; Br-1,74; J-0,04; Mo-0,05; Ag-0,002; Cu-0,0023; Zn-0,0475; Ni-0,001 [1,2].

В связи с недостатком биогенных элементов фитопланктон озера Иссык-Куль развит значительно слабее, чем, к примеру, в таких крупных озерах как Ладожское, Онежское, Байкал и др.

Несмотря на сравнительно высокую численность фитопланктона, биомасса его относительно невелика, что объясняется мелкими размерами водорослей. Наибольшая биомасса фитопланктона в слое воды до 50 м отмечается в январе-феврале (16-33 мг/м³) и наибольшая в мае-июне (273-284 мг/м³), затем идет ее снижение [2,5].

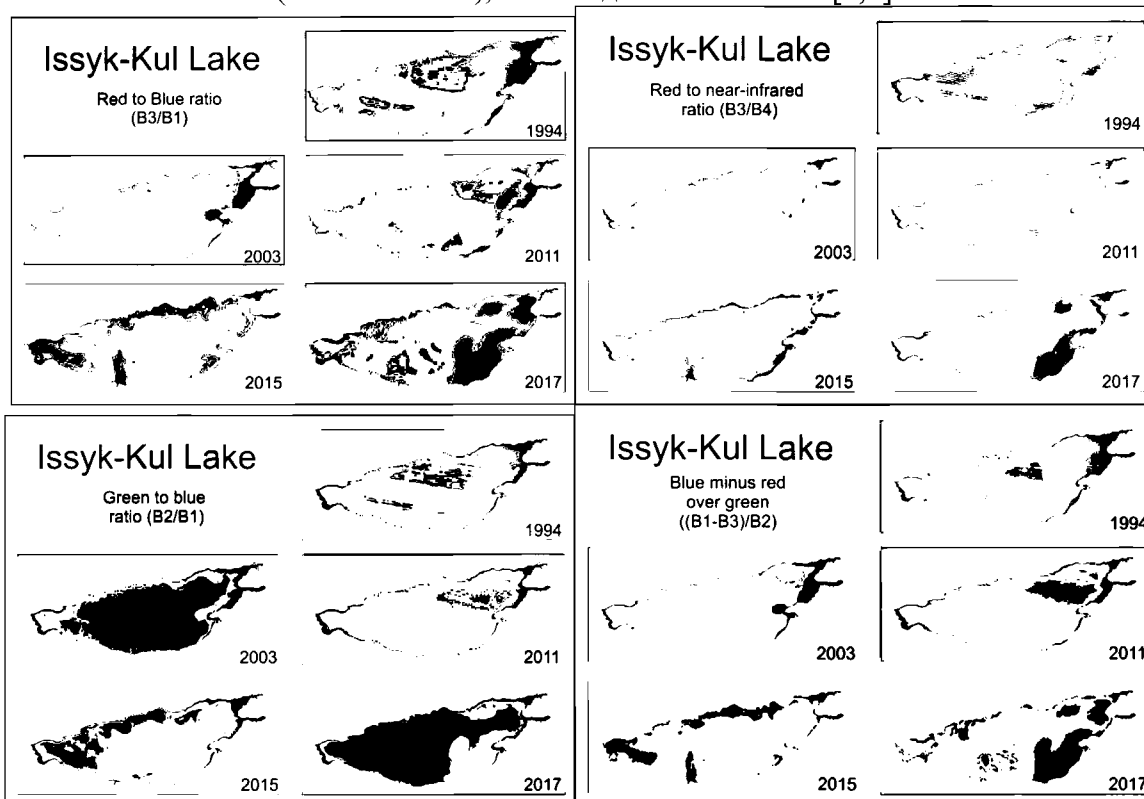


Рис.3. Спутниковые снимки озера Иссык-Куль в различных диапазонах /5 /.

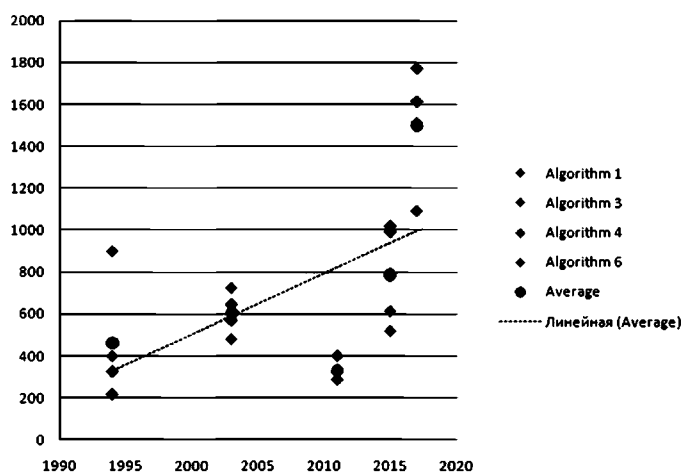


Рис.4. Увеличение биогенных площадей/4/.

На основе рассмотренных снимков можно сделать вывод о том, что основные процессы переноса взвешенного материала и его максимальные концентрации тяготеют к прибрежной части озера, центральная часть озера незначительно затронута этими процессами. Впервые получены данные об увеличении со временем величины занимаемых площадей биогенных материалов.

Применение математических моделей позволяет наиболее полно использовать доступную информацию о фитопланктоне. Распределение хлорофилла мы восстанавливаем с помощью математической модели функционирования фитопланктона в вертикальном столбе воды водоема. Хлорофилл содержится в фитопланктоне, обеспечивает процессы фотосинтеза и продуцирование биомассы.

Полученные оценки содержания хлорофилла в водоеме можно использовать для оценки первичной продукции водной экосистемы, которая определяет биопродуктивность всей экосистемы, а также для решения других задач.

Свойства модели системы математических уравнений о функционировании фитопланктона в вертикальном столбе воды исследованы в работе [4].

Концентрация хлорофилла в целом снижается в направлении от побережья. Это происходит синхронно с изменением температуры поверхности. Эти данные использовались для анализа динамики содержания хлорофилла. Используемые численные значения большинства параметров матмодели из литературных источников. Настройка модели [2,5] производилась на основе экспериментальных данных [2-3].

Для работы с моделью изначально проводились тесты математического метода, а именно двухстадийного метода Рунге-Кутты. Тестировалось решение уравнения Колмогорова-Петровского-Пискунова которое похоже на уравнение рассматриваемой модели. Был сделан вывод, что в данном случае двухстадийный метод Рунге-Кутты дает лучшую аппроксимацию в сравнении с явной схемой. Этот метод был использован в алгоритме решения системы уравнений рассматриваемой модели. Для получения предварительных численных расчетов был написан компьютерный код. Увеличение площадей биогенных веществ, приводит к изменению состояния фитопланктона и хлорофилла, как показали предварительные результаты численных расчетов(рис. 5,6).

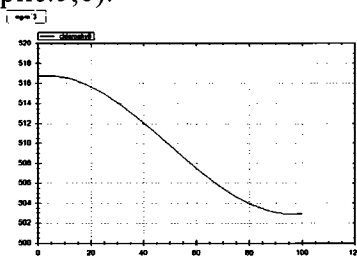


Рис.5. Расчетные значения хлорофилла (без влияния биогенных материалов).

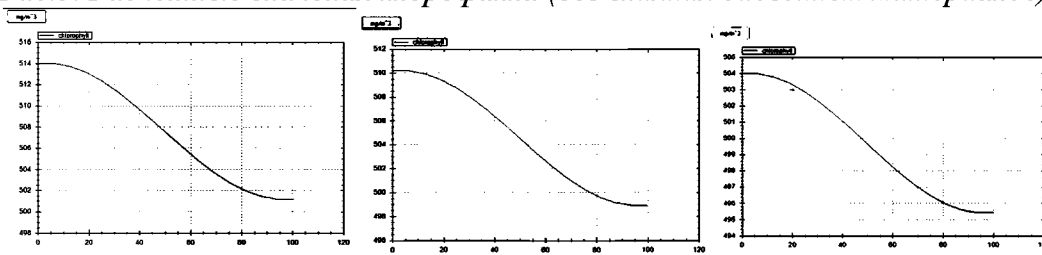


Рис.6. Расчетные значения хлорофилла при освещенности 75%,50% и 25%

Т.о., анализ космических снимков, выполненных в определенные годы, позволяет выявить такие особенности процессов циркуляции озерной воды и переноса взвешенного и соответственно растворенного вещества, которые не могут быть установлены другими методами с достаточно высокой точностью. Очевидно, что на основе анализа космических снимков за различные периоды времени можно построить объективную модель циркуляции и переноса, учитывающую вероятностный характер этих процессов в локальном масштабе на фоне регионального детерминированного процесса. Это так же позволяет более точно прогнозировать возможные траектории переноса взвешенного и растворенного вещества в озерных водах и участки аккумуляции загрязняющих веществ в озере.

Литература:

1. Tynybekov A.K. Method zoning environmental risks, The scientific journal "Proceedings of the universities." №1-2. 2007, p.191-197.
2. Тыныбеков А.К. Использование погружного зонда - флуориметра при определении фитопланктона озера Иссык-Куль, Вестник КРСУ, Том 7, №6, 2007, с. 127-132.
3. Тыныбеков А.К. Состояние фитопланктона озера Иссык-Куль, КРСУ, 2009, 230с.
4. Тыныбеков А.К., Маторин Д.Н. Исследование природного фитопланктона на озере Иссык-Куль с использованием погружного флуориметра. Вестник Московского Государственного Университета, изд. №16, биология, №1, 2002, с.22-23.
5. Тыныбеков А.К. Экспериментальное измерение фитопланктона оз. Иссык-Куль. Известия КГТУ, №9, 2006, с. 89-93.
6. Тыныбеков А.К. Сезонная динамика численности и биомассы в пелагиали озера Иссык-Куль. Известия ВУЗов. №3-4, 2007, с. 72-79.
7. Тыныбеков А.К., Азаматов Н.А., Кыдыралиев И.М. Определение биомассы озера Иссык-Куль, Известия НАН КР, №5, 2018, с.271-278.
8. Тыныбеков А.К., Кыдыралиев И.М. Численные моделирования состояния озера Иссык-Куль, Научный и информационный журнал Материаловедение, №1, 2018(14), Бишкек, с.47-57.
9. Тыныбеков А.К., Жунушов А.Е., Шибков Е., Семетей у.Э., Азаматов Н.А. Динамические параметры загрязнения озера Иссык-Куль, Научный и информационный журнал Материаловедение, №1, 2018(14), Бишкек, с.57-63.

Рецензент: Шукуров Э.Дж., профессор