

УДК: 51-76; 57.087

## Применение вертикальной модели биомасс для построения интегральных оценок фитопланктона по данным дистанционного зондирования озера Иссык-Куль

*С.Я. Пак, А.И. Абакумов*  
ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток

Озерные системы представляют собой важный компонент территориальной экосистемы. Крупные озера, подобные Иссык-Кулю, часто определяют социально-индустриальную инфраструктуру региона. Задача сохранения экологической целостности и поддержания стабильного функционирования таких водных объектов должна быть неотъемлемой частью регионального управления и природного мониторинга. Для оценки продуктивного потенциала экосистемы озера Иссык-Куль используется модель вертикального распределения фитопланктона по глубине, основанная на концепции функции приспособленности [1].

$$\frac{dy}{dx} = \left[ \frac{d\mu}{dx} - e(y) \right] y, \quad \frac{dz}{dx} = \nu p(y, y_0) z, \quad \frac{dI}{dx} = -k(y, z) I. \quad (1)$$

Поскольку модель стационарная, в уравнениях учитываются только изменения, зависящие от локализации растительных организмов по глубине. Здесь  $y(x)$  – плотность биомассы фитопланктона ( $\text{г}/\text{м}^3$ );  $z(t, x)$  – плотность массы минеральных веществ ( $\text{г}/\text{м}^3$ );  $I(t, x)$  – освещенность поверхности океана и ее распределение по глубине  $x$ . Что касается функции приспособленности, то в данном случае она совпадает с удельной скоростью роста биомассы фитопланктона  $\mu(z, I, \theta) = \mu_0 \cdot \mu_z(z) \cdot \mu_I(I) \cdot \mu_\theta(\theta)$ , интерпретируемой как скорость роста сообщества;  $e(y)$  – удельная скорость элиминации биомассы фитопланктона из-за поедания зоопланктоном и иных причин смертности. Коэффициент  $\mu_0$  – максимально возможная скорость роста фитопланктона,  $\mu_z(z) = z / (z_0 + z)$ , где  $z_0$  – константа полунасыщения по биогенному питанию;  $\mu_I(I) = I / (I_0 + I)$ ,  $I_0$  – константа полунасыщения по освещенности;  $\mu_\theta(\theta) = \exp\left(-\frac{(\theta - \theta_{opt})^2}{2\tau^2}\right)$ ,  $\theta_{opt}$  – оптимальная для роста фитопланктона температура водной среды,  $\tau$  – интервал толерантности.

Будем придерживаться гипотезы об обратном влиянии фитопланктона на пищевой стимул  $z$ , тогда  $p(y, y_0) = \frac{y_0}{y + y_0}$ , где  $y_0$  – константа

полунасыщения по фитопланктону,  $v$  – максимально возможная скорость пополнения минерального вещества [2].

Третье уравнение системы (1) имитирует ослабление освещенности с глубиной, обусловленное преломлением водных слоев, затенением фитопланктоном и взвешенной органикой. Соответствующее распределение описывается функцией  $k(t, z, y, z) = k_0 + k_1y + k_2z$ , где  $k_0$  – коэффициент общей мутности воды,  $k_1$  – коэффициент затенения фитопланктоном,  $k_2$  – коэффициент затенения минеральными веществами [3].

Система уравнений (1) верифицируется в соответствии с данными, полученными контактными методами в пелагиали озера Иссык-Куль. В ходе экспедиций 1998-1999 гг. были составлены вертикальные разрезы удельной биомассы фитопланктона, температуры, освещенности, а также концентрации биогенных соединений по маршруту Тамга-Григорьевка [4]. Распределения соответствующих показателей аппроксимировались методом сплайн-интерполяции с целью последующей минимизации функционала невязки. Полученные значения были использованы в качестве параметров модели (1).

Информацией, которая использовалась в качестве начальных условий для решения системы уравнений (1), послужили данные спутниковых наблюдений о концентрации хлорофилла в поверхностном водном слое, освещенности водной поверхности и температуре. Построение интегральных оценок биомассы фитопланктона в заданном географическом районе состояло в численном решении задачи Коши для вертикальной модели (1) в каждой точке регулярной сетки с шагом 0.0033 градуса или 11,88 угловых секунд по долготе и 0,002448 по широте. Интегрирование производилось согласно карте глубин, построенной путем оцифровки растрового изображения топографической карты масштаба 1:500000. Значения биомассы в точках, где данные не удалось зафиксировать из-за облачности, были получены путем автоматической триангуляции по тем опорным точкам, где корректные данные были успешно зарегистрированы.

Описанным методом удалось сформировать оценки интегральной биомассы в исследуемом районе озера Иссык-Куль в июле-августе 2002 года, представленные на рисунках 1, 2.

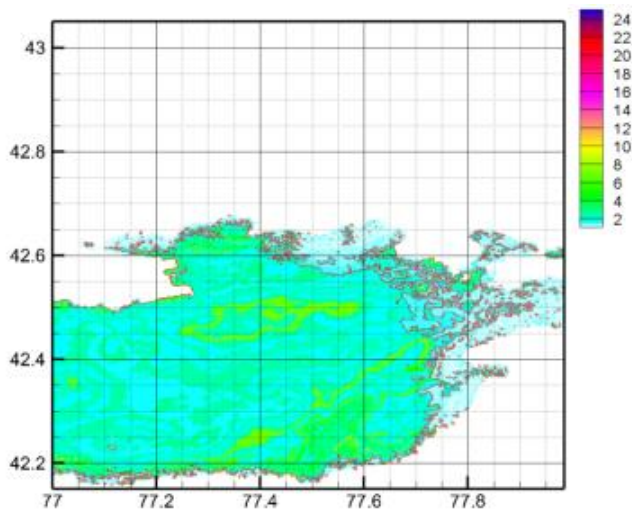


Рисунок 1 – Интегральные оценки биомассы фитопланктона за 30 июля 2002 года

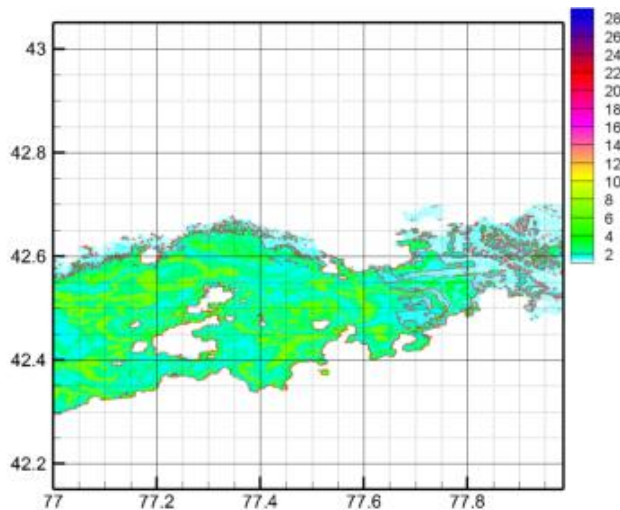


Рисунок 2 – Интегральные оценки биомассы фитопланктона за 26 августа 2002 года

Максимальные оценки интегральной биомассы фитопланктона в июле-августе 2002 года достигают порядка 24–28 мг/м<sup>3</sup>, что вполне согласуется с измерениями, опубликованными в [5]. Распределение

максимальных и минимальных значений совокупной по вертикали биомассы не поддается выраженному районированию, что объяснимо с точки зрения гидрологии озер, где движение водных масс, влекущее за собой перераспределение температуры и биогенного притока, значительно уступает морям. Кроме того, переменный уровень воды, характерный исключительно для Иссык-Куля, вероятно, усиливает хаотичность влияния внешних факторов, что закономерно отражается в случайном характере локализации удельной биомассы.

### **Библиографический список**

1. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А. Динамические модели экологических систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 286 с.
2. Пак С.Я., Абакумов А.И. Модельный способ восстановления состояния фитопланктона в вертикальном столбе воды по спутниковым данным о поверхностном слое // Информатика и системы управления. – 2014. – № 3(41). – С. 23–32.
3. Abakumov A., Izrail'skii Yu., Park S. Functioning of the phytoplankton in seas and estimates of primary production for aquatic ecosystems // Developm. Environment. Modelling. – 2015. – Vol. 27. – P. 339–349.
4. Тыныбеков А.К., Маторин Д.Н. Состояние фитопланктона озера Иссык-Куль. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2009. – 230 с.
5. Тыныбеков А. Математическая модель состояния фитопланктона озера Иссык-Куль // Международный университет Ала-Тоо. – Бишкек, 2016. – № 1. – С. 369–385.

## **УДК 581.6**

### **Прогнозирование актуальной эвапотранспирации на основе моделей скользящей регрессии (на примере сухой степи Алтайского края)**

*Е.В. Понькина<sup>1</sup>, А.А. Бондарович<sup>1</sup>, Г. Шмидт<sup>2</sup>, А. Савиных<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>АлтГУ, г. Барнаул; Россия; <sup>2</sup>Университет Мартина-Лютера Халле-Виттенберг, Хале, Германия

Эвапотранспирация представляет собой суммарный расход влаги в результате испарения из почвы и вегетационных процессов и является необходимой составляющей водного баланса. В соответствии с [1], запас почвенной влаги в момент времени  $t$   $W(t)$  (мм) при обработке данных почвенно-гидрологического мониторинга зависит от запаса