
Вычислительный эксперимент при изучении математической модели экосистемы водоема

Петров Ю. С., Распопов В. Е.

*Институт математики Сибирского федерального университета, Россия,
г. Красноярск, пр. Свободный 83-304, 660041
e-mail: petrovys@mail.ru*

В общем перечне актуальных задач, решаемых с помощью математического моделирования, экологические проблемы занимают особое место. Увеличение антропогенного воздействия на окружающую среду, вызванное интенсивным использованием природных богатств, развитием материального производства, приводит к нарушению экологического равновесия как локально в отдельных районах земного шара, так и глобально в масштабах планеты в целом.

Естественным средством объективного анализа возникающих проблем в области задач гидробиологии являются методы, основанные на построении и исследовании математических моделей водных экосистем. Использование математического моделирования и проведение вычислительного эксперимента позволяют предсказать динамику развития водной экосистемы, а также оценить аспекты и последствия реализации различных проектов, связанных с воздействием на экосистему.

В данной работе представлены некоторые результаты расчетов, проведенных с математической моделью [1], описывающей динамику развития водной экосистемы, в том числе трансформации азота и фосфора, как одних из основных биогенных элементов, определяющих продуктивность и качество воды в водоемах. Особенностью модели является разделение сине-зеленых водорослей на зеленые и сине-зеленые, которое отсутствует во многих моделях, но имеет большое значение для исследования экологии водоемов, поскольку развитие этих водорослей различно.

В математической модели учитываются процессы роста микроорганизмов, смертности, оседания, разложения, выделения продуктов метаболизма, переходов по трофической цепи, а так же лимитирующие факторы (освещенность и температура). Математическая модель содержит 10 динамических переменных. Первая, вторая и третья переменные характеризуют соответственно биомассу зеленых, сине-зеленых и диатомовых водорослей, четвертая — биомассу зоопланктона, пятая и шестая — биомассы соответственно бактерий и детрита, седьмая и восьмая — концентрации фосфора и азота, девятая — биомассу растворенной в воде органики и десятая - концентрацию растворенного в воде кислорода. При описании живых компонент учитываются входящий и исходящий потоки. Входящий — это доля полученных ресурсов (пищи), затрачиваемая на рост и воспроизводство, исходящий - это выедание особей из

данной компоненты хищниками и смертность в силу других всевозможных причин.

В биологических системах, как правило, скорость роста лимитируется концентрацией субстратов. В описании процесса лимитирования мы применили гиперболическую зависимость вида $\frac{ax}{x+x_0}$, предложенную Ж.Моно. Параметр a указывает точную верхнюю границу значений функции, а параметр x_0 называется константой полунасыщения и указывает то значение x , при котором значение функции равно половине наибольшего возможного.

Модель реализована в виде комплекса программ, позволяющего вводить входные данные в интерактивном режиме. Результаты расчетов могут быть получены численно, представлены графически, а также переданы вовне для последующей обработки.

Проведена отладка математической модели и идентифицированы необходимые для её работы коэффициенты. Настройка проводилась на Красноярское водохранилище по литературным [2] и натурным данным (использовались наблюдения, полученные в процессе комплексных исследований Красноярского водохранилища кафедрой гидробиологии и ихтиологии КрасГУ, совместно с лабораторией экспериментальной гидроэкологии ИБФ СО РАН в разные годы). Модель позволяет описывать изменение основных биогенных элементов, а также воспроизводить ситуации возникновения, как одного, так и двух пиков цветения фитопланктона во время вегетационного периода в зависимости от внешних условий.

Первые численные эксперименты с математической моделью были посвящены исследованию общих тенденций сезонного изменения переменных модели. Сезонная динамика диатомовых водорослей демонстрирует качественную картину двух пиков «цветения»: летний с максимальной биомассой 5.9 мг/л и осенний с максимальной биомассой 2.27 мг/л, что хорошо согласуется с данными наблюдений [3]. Суммарная биомасса диатомовых водорослей по наблюдениям в июле и августе снижается до 1,2–2 мг/л. Модельный расчет также выявил падение значений биомассы в указанный период.

Сопоставление модельного сезонного хода зеленых и сине-зеленых водорослей с экспериментальными данными [4] показало, что при общей заниженности модельных концентраций (примерно в 1.5 раза) относительный временной ход был реконструирован верно. Годовой ход биомассы зоопланктона имеет единственный пик и соответствует максимальным значениям биомасс зеленых и сине-зеленых водорослей, что также соответствует теоретическим представлениям.

Для сезонного хода концентраций соединений азота и фосфора расчет показал падение значений концентраций соединений азота в сезоны интенсивного развития планктона и максимальные значения при минимумах биомассы планктона.

Годовой ход концентрации органического вещества имеет два выраженных максимума со значениями 0.29 мг/л в начале лета и 0.54 мг/л осенью. Эти периоды соответствуют максимальным значениям биомассы фито- и зоо-

планктона. Для сезонной динамики бактерий и детрита характерны два пика развития: первый приходился на середину лета, второй - на начало осени. Таким образом, детрит оказывает влияние на рост бактерий и стимулирует их продуктивность, что также соотносится с натурными данными.

Итак, полученные модельные расчеты дают неплохое совпадение с экспериментальными данными, что свидетельствует об адекватности рассмотренной модели. Необходимо, однако, отметить, что построенная математическая модель очень чувствительна к изменению параметров и требует тщательного подбора коэффициентов. Наряду с точечной моделью, проводятся вычислительные эксперименты, учитывающие перенос вещества по длине водоема.

Литература

1. Петров Ю. С. *Программная реализация математической модели экосистемы водоемов*, МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: НАЧАЛО XXI ВЕКА, В 4 ч. Ч.1 (2007), 78–80.
2. Губанов В. Г. *Биотический круговорот и взаимодействие трофических уровней в искусственных и естественных биосистемах*, Диссертация д. ф.-м. н., Красноярск, 2004.
3. Кожевникова Н. А. *Фитопланктон глубоководной части красноярского водохранилища*, Альгология **12**, No. **2** (2002), 39–40.
4. Щур Л. А. *Структура и функциональные характеристики бактерио- и фитопланктона в экосистемах водоемов разного типа*, Диссертация д. б. н., Красноярск, 2006.