

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gandel'. Yu.V. Boundary-Value Problems for the Helmholtz Equation and their Discrete Mathematical Models // J. Math. Sci. - 2010. - v. 171, N1. - P. 74-88.
2. Гандель Ю.В., Душкин В.Д. Математические модели двумерных задач дифракции: Сингулярные интегральные уравнения и численные методы дискретных особенностей. – Х. Акад. ВВ МВД Украины, 2012. – 544с.

**ДИСКРЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ,  
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СТАБИЛЬНОСТЬ  
ЭВТРОФИЦИРОВАННОГО  
ГИДРОБИОЦЕНОЗА**

<sup>1</sup>Жолткевич Г.Н., <sup>1\*</sup>Носов К.В., <sup>1</sup>Беспалов Ю.Г.,  
<sup>2</sup>Высоцкая Е.В., <sup>2</sup>Печерская А.И.

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет  
имени В.Н. Каразина, Украина

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники, Украина

Угрозы биобезопасности, возникающие в условиях глобального потепления в связи с эвтрофикацией водоемов, обуславливают актуальность проблемы стабильности гидробиоценозов. В рамках данной проблемы под стабильностью понимается способность системы сохранять свое состояние, определяемое как нормальное. Речь идет, среди прочего, о состоянии, при котором не происходит чреватого угрозами биобезопасности накопления биомассы, в частности – образования «пятен цветения», возникающих при массовом развитии в водоеме токсических цианобактерий. (Такая угроза, к примеру, имеет место в настоящее время на озере Киннерет, являющемся важнейшим источником питьевого водоснабжения для нескольких ближневосточных стран). Возможность нарушения стабильности может быть связана с действием одного какого-нибудь фактора (в случае эвтрофикации обычно говорят о повышении концентрации биогенных элементов – азота и фосфора) или же с наличием большого количества потенциальных сценариев такого нарушения (дисбаланс продукции и деструкции вследствие изменений температурного и светового режимов, гидродинамики, динамики развития и структуры зоопланктона, насыщающего воду своими метаболитами – питательными веществами для фотоавтотрофов и одновременно выедающего организмы фитопланктона, являющиеся конкурентами не выедаемых в живом виде цианобактерий). В рамках данной работы рассматривается второй случай, конкретно – ситуации, когда потенциальные сценарии нарушения стабильности обусловлены структурой отношений внутри зоопланктонного сообщества.

Необходимый в таком случае системный подход реализуется с помощью нового разработанного в ХНУ [1] класса математических моделей, получившего название дискретные модели динамических

систем (ДМДС), на фактическом литературном материале [2] многолетних наблюдений за зоопланктоном озера Севан (Армения), подвергавшегося с 1937 г. многолетней антропогенной эвтрофикации, следствием которой с 1964 г. стало «цветение» этого высокогорного, ранее олиготрофного озера.

ДМДС позволяет найти для многокомпонентной системы в наибольшей степени соответствующие матрице корреляций (МК) между компонентами: матрицу межкомпонентных и внутрикомпонентных отношений (из перечня: «+,+», «-, -», «+,-», «+,0», «-,0», «0,0»), набор начальных значений компонентов и соответствующую этому набору и матрице отношений (МО) траекторию системы (ТС). Наблюдаются ситуации, когда одной ТС соответствует не одна МО, а класс, включающий несколько матриц. Для дальнейшего рассмотрения принимаем, что показателем стабильности (при относительной слабости нарушающих ее факторов) является сохранение вида ТС – в рамках одного класса МО, наиболее соответствующих МК. Чем меньше МО в одном таком классе, тем меньше число потенциальных сценариев нарушения стабильности. Соответственно, в рамках принятого нами понимания стабильности, она должна быть тем выше, чем меньше количество МО в классе.

Эта гипотеза подтверждается результатами дискретного динамического моделирования структуры севанского зоопланктона на разных этапах его эвтрофикации. Речь идет о структуре отношений следующих групп: циклопид, диаптомид, коловраток и дафний. В качестве дополнительного показателя стабильности использовались корреляции между частотой магнитных бурь в данном месяце данного года, биомассой и численностью отдельных групп зоопланктона в этом же месяце. На «олиготрофном» этапе 1937–57 г.г., в котором не наблюдалось статистически достоверных корреляций между магнитными бурями и количеством зоопланктонов, число МО в классе равно 8, на непосредственно предшествующем «цветению» этапе 1958–62 г.г., в котором статистически достоверная корреляционная связь между магнитными бурями и количественными параметрами зоопланктона наблюдалась, число МО в классе было равно 16.

Полученные результаты, рассматриваемые авторами как предварительные, позволяют надеяться на получение в дальнейшем других – отрывающих новые подходы к решению фундаментальных и прикладных проблем стабильности экосистем.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Беспалов Ю., Gorodnyanskiy I., Zholtkevych G., Zaretskaya I., Nosov K., Bondarenko T., Kalinovskaya K., Carrero Y. Discrete Dynamical Modeling of System Characteristics of a Turtle's Walk in Ordinary Situations and After Slight Stress // Бионика интеллекта. – 2011. – № 3 (77). – С. 54–59.
2. Многолетние показатели развития зоопланктона озер. Сб. статей. М.: Наука, 1973. – 204 с.