

Розділ 8. Ветеринарна фармакологія та токсикологія. Якість і безпечність продукції тваринництва. Ветеринарно-санітарна експертиза. Екологічна та хімічна безпека

УДК 591:004.832

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАТОРОВ ЗООПЛАНКТОНА НА ДИСТАНЦИОННО ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Григорьев А. Я.

Харьковская государственная зооветеринарная академия, г. Харьков, e-mail: kharkovzoo2010@gmail.com

Проведено математическое моделирование влияния фильтраторов зоопланктона на спектральные характеристики водной экосистемы, которые определяются дистанционно. Определена взаимосвязь между спектральными характеристиками гидробиоценоза и характером протекающих в нем биопродукционных процессов.

Ключевые слова: биобезопасность, водная экосистема, зоопланктон, математическое моделирование.

Для многих аспектов биобезопасности, связанных с риском инфекционных заболеваний животных, имеют важное значение процессы самоочищения водоемов от патогенных микроорганизмов и формирующего благоприятную для них среду мертвого органического вещества [1, 2]. Питание фильтраторов зоопланктона, в результате которого вода освобождается от бактериальной взвеси вместе с другими живыми и неживыми частями sestona, – важная составляющая процессов естественного самоочищения многих используемых для целей животноводства водоемов. С точки зрения биобезопасности, существенно также замещение в рационе рыб фильтраторами (например – дафниями) других представителей зоопланктона, являющихся промежуточными хозяевами паразитов (например, циклопид, играющих такую роль в распространении лигулеза). Процессы формирования санитарного состояния водоемов, непосредственно используемых для целей животноводства, часто происходят не только в них, но и в связанных с ними других водоемах, порой расположенных в труднодоступных местах и находящихся друг от друга на значительных расстояниях.

Оценка состояния фильтраторов зоопланктона в таких водоемах часто имеет серьезное значение, но ее реальное осуществление традиционными способами может быть затруднено. В такой ситуации перспективными становятся относительно дешевые дистанционные методы – такие как цифровая фотосъемка с легких беспилотных летательных аппаратов. Размеры организмов зоопланктона весьма существенно усложняют задачу их непосредственной регистрации указанным способом. Более реальной представляется косвенная оценка степени развития зоопланктона – по его воздействию на фитопланктон. При таком подходе цифровая фотосъемка позволяет получить информацию о спектральных параметрах гидробиоценоза, обусловленных содержанием хлорофилла и других пигментов в живых и мертвых клетках планктонных микроводорослей.

Целью работы является построение математической модели, позволяющей истолковать то, как фильтраторы зоопланктона влияют на системные аспекты динамики указанных параметров.

Материалы и методы. Фиксация спектральных параметров гидробиоценоза осуществлялась с начала июня по конец августа 2013 года путем цифрового фотографирования при естественном солнечном освещении белого диска диаметром 100 мм, погруженного на глубину 200 мм в воду прудов Харьковского зоопарка – пруда N1, в котором зоопланктон не получил заметного развития вследствие выедания его рыбами, и пруда N2, где рыбы выедались пеликанами и в зоопланктоне доминировала *Daphnia magna*, достигавшая численности 100 экз/л и более. Полученные цифровые фотографии обрабатывались с помощью пакета MATLAB (осуществлялся анализ соотношений компонентов цифровой шкалы R, G, B в каждом пикселе изображений).

Для описания системных аспектов динамики спектральных параметров экосистем указанных прудов использовались дискретные модели динамических систем (ДМДС), позволяющие на основании матрицы корреляций описать структуру отношений, основанных на попарных влияниях, между компонентами системы и симметричных внутрикомпонентных, из следующего перечня: "+, +", "-, -", "+, -",

"+,0", "-,0", "0,0". Исходя из структуры отношений и начальных дискретных (выражаемых в условных баллах) значений компонент может быть построена траектория системы, отражающая цикл изменений значений компонент в течение определенного, соответствующего условной длительности цикла, числа условных шагов по времени, при этом изменение значений компонент от предыдущего шага к текущему определяется структурой отношений и значениями компонент на предыдущем шаге. При построении ДМДС использовался подход, основанный на законе Либиха [5].

С учетом используемой в ДМДС дискретной балльной оценки значений компонент вводилось некоторое округление при интерпретации результатов цифровой фотографии: принималось, что отношение G/B отражает количество хлорофилла (КХ), отношение (G+R)/B отражает суммарное количество хлорофилла и других растительных пигментов (СП), соотношению которых (ОХП) соответствует значение выражения R/G. Соответственно принималось, что КХ отражает количество активно фотосинтезирующих водорослевых клеток, ОХП – отношение старых и мертвых клеток к активно фотосинтезирующим, СП – суммарное количество тех и других. Этот перечень дополнялся латентной компонентой (ЛК), значение корреляции которой с КХ, СП и ОХП принималось равным нулю; предполагалось, что в ряде случаев этим нулевым корреляциям соответствуют, непосредственные или опосредованные отношения типа "+,-", обеспечивающие поддержание динамического равновесия в гидробиоценозе.

Результаты исследования. Для обоих прудов было получено несколько моделей. Структура отношений модели для каждого пруда имела ряд существенных общих черт. Полученные матрицы отношений позволили интерпретировать ЛК как выражение количества доступных для фитопланктона форм биогенных элементов, питательных веществ. Следующие из таких матриц отношений траектории системы, представлены в таблицах 1 и 2.

Как видно из таблицы 1, в пруду N1 изменения КХ, ОХП и СП происходят в одной фазе, максимумы значений этих компонент почти полностью совпадают.

Таблица 1 – Траектория системы, следующая из ДМДС гидробиоценоза пруда N1; значения компонент даны в баллах (1 балл – низкое, 2 – среднее, 3 – высокое), максимумы выделены жирным шрифтом

Компоненты	Значения компонент в баллах							
	1	1	1	2	3	3	3	2
КХ	1	1	1	2	3	3	3	2
ОХП	1	1	1	2	2	2	2	1
СП	1	1	1	2	3	3	3	2
ЛК	1	2	3	3	3	2	1	1
Номера условных шагов по времени	1	2	3	4	5	6	7	8

Изменения значений ОХП происходит более плавно, чем КХ и СП. Это может быть объяснено тем, что выедание зоопланктона рыбами существенно снижает его влияние на бактериопланктон, жизнедеятельность которого в значительной степени обеспечивает функционирование трофических цепей разложения. Это, в свою очередь, за счет постоянной элиминации мертвых клеток планктонных микроводорослей, сдерживает рост значений ОХП, отражающего отношение количества желтых и красных растительных пигментов к количеству хлорофилла. К максимумам КХ, ОХП и СП непосредственно примыкает максимум ЛК, начало которого совпадает с началом роста значений КХ, ОХП и СП. С достижением максимумов КХ и СП начинается снижение значений ЛК. Такая динамика позволила интерпретировать ЛК как выражение количества питательных веществ фитопланктона.

Таблица 2 – Траектория системы, следующая из ДМДС гидробиоценоза пруда N2; значения компонент аналогичны приведенным в таблице 1

Компоненты	Значения компонент в баллах							
	1	1	1	2	3	3	3	2
КХ	1	1	1	2	3	3	3	2
ОХП	1	1	1	2	3	3	3	2
СП	1	1	1	2	3	3	3	2
ЛК	1	2	3	3	3	2	1	1
Номера условных шагов по времени	1	2	3	4	5	6	7	8

Данные таблицы 2 иллюстрируют значительные черты сходства динамики значений компонент в моделях обоих прудов. Это касается, в частности, отношений ЛК с другими компонентами, что как и в модели пруда N1, позволяет интерпретировать ЛК как выражение количества питательных веществ фитопланктона.

Вместе с тем в траектории, представленной в таблице 2, наблюдается более полное, чем в таблице 1, совпадение по фазе динамики изменения КХ, ОХП и СП. Большей, в сравнении с КХ и СП, пологости изменений значений ОХП не наблюдается. Это может быть объяснено функционированием в гидробиоценозе пруда N2, обусловленных высокими значениями численности дафний, высокоэффективных трофических цепей выедания. Вследствие чего элиминация живых и мертвых клеток планктонных микроводорослей происходит более или менее одинаково.

Поскольку значения ОХП, СП и КХ по разному обусловлены наличием в фитопланктоне хлорофилла и других растительных пигментов, результаты моделирования позволяют надеяться на возможность разработки дистанционных, основанных на определении динамики спектральных параметров гидробиоценоза, способов оценки в нем степени развития фильтраторов зоопланктона.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Результаты моделирования соответствуют современным представлениям о возможных механизмах влияния фильтраторов зоопланктона на спектральные параметры гидробиоценоза, связанные с характером протекающих в нем биопродукционных процессов. На основе анализа полученных в результате моделирования траекторий систем в дальнейшем возможно нахождение динамических характеристик спектральных параметров фитопланктона, которые могут быть использованы для разработки дистанционных способов диагностики состояний водной экосистемы, обусловленных функционированием зоопланктона.

Список литературы

1. Kuzyakov, Y. Interactions between living and dead organic matter [Текст] / Y. Kuzyakov // Soil Biology and Biochemistry. - 2010. - V. 42. - Issue 9. P. 1363-1371.
2. Wipfli, M. S., Richardson, J. S., Naiman, R. J. Ecological Linkages Between Headwaters and Downstream Ecosystems: Transport of Organic Matter, Invertebrates, and Wood Down Headwater Channels [Текст] / M. S. Wipfli, J. S. Richardson, R. J. Naiman // Journal of the American Water Resources Association. - 2007. - V. 43. - Issue 1. - P. 72-85.
3. Zholtkevych, G.N., Bepalov, G.Yu., Nosov, K.V., Mahalakshmi, Abhishek. Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Anthropogeneous Eutrophication [Текст] / G. N. Zholtkevych, G. Yu. Bepalov, K. V. Nosov, Abhishek Mahalakshmi // Acta Biotheoretica. - 2013. - V. 61. - Issue 4. - P. 449-465.
4. Беспалов Ю.Г., Дереча Л. Н., Жолткевич Г. Н., Носов К. В. Дискретная модель системы с отрицательными обратными связями // Вестник Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Серия "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизация систем управления", 2008. – № 833. – С. 27 – 38.
5. Bepalov Yu., 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.

MATHEMATICAL MODELING OF INFLUENCE OF ZOOPLANKTON FILTRATORS ON REMOTELY DETERMINED SPECTRAL PARAMETERS OF WATER ECOLOGICAL

Grigoryev A.Ya.

Kharkov State Zooveterinary Academy, Kharkov

The work aims to construct a mathematical model allowing to interpret the influence of zooplankton filtrators on systemic aspects of dynamics of spectral parameters.

*Materials and methods. As initial data of the study the spectral parameters of hydrobiocenosis obtained in two Kharkov Zoo's ponds by digital photography. In one ponds zooplankton has not been developed significantly due to its predation by fishes, in the other one – fishes have been eaten by pelicans and the species *Daphnia magna* has been dominated in zooplankton. The obtained digital images were processed using the MATLAB software.*

For describing the systemic aspects of dynamics of the spectral parameters of ponds ecosystem the discrete models of dynamic systems were used, that allow on the bases of correlation matrices to obtain the structure of relationships of pairwise influences "+, +", "-", "-", "+, -", "+, 0", "-", 0", "0, 0". On the bases of original data with use of this method a structure of relationships and trajectory of the dynamical system reflecting the cycle of component values changes can be obtained.

The built dynamical system has the following components: the ratio G / B (it was assumed that it reflects the number of active photosynthetic algal cells), the ratio of $(G+R) / B$ (reflects the ratio of old and dead cells to actively photosynthetic cells), R / G (total number of dead and actively photosynthetic cells). A latent component having zero correlation with others ones was added to that list.

Results of research. The structure of relationships of a model for each pond had a number of significant common properties. Thus, the structures allowed to interpret the latent component as a manifestation of amount of nutrient forms available to phytoplankton.

From the properties of systems trajectories follow the conclusion on presence of high-efficient trophic food chains in the second pond. It results in more or less uniform elimination of living and dead cells of planktonic microalgae.

Conclusions. The results of modeling correspond to a modern concept on possible mechanisms of influence of zooplankton filtrators on spectral parameters of hydrobiocenosis related with the nature bioproduction processes in hydrobiocenosis. Using analysis of systems trajectories obtained by modeling, it is possible in the future to find out dynamical characteristics of phytoplankton's spectral parameters, which can be used to develop remote sensing methods of an aquatic ecosystem, determined by activity of zooplankton.

Keywords: biosafety, water ecosystem, zooplankton, mathematical modeling.

УДК 591:004.832

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМНЫХ ЭФФЕКТОВ ДИНАМИКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАВЯНОГО ПОКРОВА, ДЕМАСКИРУЮЩИХ СКОПЛЕНИЯ САРАНЧИ

Григорьев А.Я.

Харьковская государственная зооветеринарная академия, г. Харьков, e-mail: kharkovzoo2010@gmail.com

Жолткевич Г.Н., Носов К.В., Беспалов Ю.Г.

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, г. Харьков

Печерская А.И.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков

Целью исследования является создание математической модели демаскирующих скопления саранчи системных эффектов динамики дистанционно измеряемых спектральных характеристик травяного покрова. Методика исследований предусматривала использование нового класса математических моделей, получившего название дискретных моделей динамических систем, для математического моделирования использовался фактический материал, полученный путем цифрового фотографирования скоплений саранчи.

По результатам моделирования получено формализованное описание демаскирующих скопления саранчи системных эффектов динамики дистанционно измеряемых спектральных характеристик травяного покрова.

Ключевые слова: дискретное моделирование динамических систем, дистанционное зондирование, цифровая фотография, саранча.

Экстремальные изменения климата, наблюдающиеся в последнее время дают определенные основания для сомнений в приложимости ко всем ситуациям известного «закона» Коммонера: «Природа знает лучше». Возникает вопрос: «Лучше для кого?». Лучше ли для человека? Лучше ли для включенных в человеческий мир (в зоопарках, живых уголках, на фермах и т.д.) животных. Лучше ли для культурных растений? Такого рода вопросы приобретают особую остроту в связи с участвовавшими в последнее время такими нарушениями стабильности экосистем как вспышки численности саранчи, которые создают серьезные проблемы биобезопасности, связанные с ущербом аграрному сектору экономики в различных регионах [1, 2]. Такой ущерб может быть связан, в частности, с катастрофическим ухудшением условий выпаса скота. Решение этих проблем требует разработки современных высокотехнологичных наукоемких методов контроля и коррекции состояния экосистем. В случаях, когда проблемы биобезопасности создают вспышки численности саранчи приобретает большое практическое значение задача обнаружения скоплений саранчи на обширных участках местности. В ряде случаев речь может идти о труднодоступной местности. В такой ситуации возрастает роль дистанционных методов [3] с использованием таких относительно дешевых способов регистрации наличия на местности скоплений саранчи, как, например, цифровое фотографирование с легких беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Актуальность работы обусловлена сложностью решаемой задачи, а именно – наличием у саранчи защитной окраски, маскирующей ее скопления на наземной растительности, требует специального математического аппарата и информационных технологий для нахождения системных эффектов, демаскирующих скопления этих насекомых. Эта задача может быть решена, в частности, с помощью информационных технологий, использующих новый, разработанный в Харьковском национальном университете имени В.Н. Каразина класс математических моделей [3, 5, 6], получивший название дискретных моделей динамических систем (ДМДС).

Целью настоящей работы является формализованное описание, с помощью ДМДС, системных эффектов, характеризующих динамику спектральных характеристик сообществ травянистой растительности. Наличие или отсутствие этих системных эффектов может указывать на наличие или отсутствие на траве скоплений саранчи, обладающей защитной окраской, демаскировать и обнаружить эти скопления с последующим их уничтожением.